دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ویکم، شماره‌ی ۷۳
بهار ۱۴۰۰، صفحات ۸۵-۷۳

*قاسم رنود[۱]
مریم پورعظیمی[۲]
قوام‌الدین زاهدی امیری[۳]

کارایی روش‌های کریجینگ معمولی و عکس فاصله وزنی در تهیه نقشه مشخصه تعداد در هکتار درختان اُرس رویشگاه چهار باغ گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰٤/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

چکیده

با توجه به اهمیت رویشگاه‌های گونه اُرس، به‌منظور بررسی ساختار مکانی و برآورد مشخصه تعداد در هکتار در این رویشگاه‌ها با استفاده از روش‌های زمین‌آماری، این مطالعه در بخشی از رویشگاه اُرس منطقه چهار باغ استان گلستان در مساحتی حدود ٦۰ هکتار انجام شد. آماربرداری در این تحقیق به‌صورت آماربرداری صددرصد بوده و یک شبکه آماربرداری ۲۰×۱۵ قطعه نمونه‌ای (در مجموع ۳۰۰ قطعه نمونه) طراحی و پیاده شد. ابعاد هر قطعه نمونه ٤٥×٤٥ متر (۲۰۲۵ مترمربع) بوده و تعداد درختان با قطر برابرسینه بیش‌تر از ۷/۵ سانتی متر شمارش شد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل واریوگرام نشان داد که متغیر تعداد در هکتار در این منطقه از ساختار مکانی بسیار قوی برخوردار است. در این تحقیق ابتدا مدل کروی بر روی واریوگرام برازش داده شد. سپس برآوردها و تهیه نقشه به دو روش کریجینگ معمولی و روش IDW صورت گرفت. نتایج اعتبارسنجی متقابل روش‌ها نشان داد که برآورد این متغیر ناریب بوده و می‌توان از این دو روش برای تهیه نقشه توزیع مکانی متغیر تعداد در هکتار با دقتی مناسب استفاده کرد. روش کریجینگ با مقادیر نسبی میانگین خطای نسبی و جذر میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ٦/۸ و ۸/۷ درصد

*۱-گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: ronoud.q@gmail.com
۲- گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

نسبت به روش IDW با مقادیر نسبی میانگین خطای نسبی و جذر میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۷/۵ و ۹/۵ درصد صحت بیش‌تری داشته و روش زمین‌آماری کریجینگ برای تهیه نقشه تعداد در هکتار جنگل‌های اُرس منطقه چهارباغ در استان گلستان قابل استفاده است.

کلید واژه‌ها: برآورد، تراکم درختی، درون‌یابی، عکس فاصله وزنی، کریجینگ.

مقدمه

گونه‌های مختلف جنس اُرس به‌دلیل نیازهای رویشگاهی اندک، امکان استقرار در مناطق با شیب‌های تند و خاک کم عمق را دارند. با توجه به نقش توده‌های اُرس در حفاظت از خاک، منابع آبی و حفاظت از عرصه‌های فرسایش‌پذیر در مقابل عوامل فرساینده و حفاظت از تنوع زیستی گونه‌ها، حفظ و توسعه این توده‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Ali Ahmad Korori et al., 2011: 119). رویشگاه اُرس منطقه چهار باغ گرگان که در دامنه جنوبی کوه‌های البرز قرار دارد، یکی از مناطقی است که این گونه با وضعیت نسبتا خوبی استقرار یافته ولی از گذشته تاکنون مورد بهره‌برداری برای مصارف روستائیان این منطقه قرار گرفته است و قطع بی‌رویه و غیرمجاز آن در سال‌های اخیر شدت یافته است. داشتن اطلاعات دقیق و با صحت بالا در این رویشگاه‌ها لازمه برنامه‌ریزی جهت مدیریت اصولی و حفاظت از این مناطق است. روش برآورد مشخصه‌های کمی و کیفی جنگلی مبتنی بر اندازه-گیری‌های میدانی دارای بیش‌ترین صحت هستند، اما جمع‌آوری داده از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی بسیار زمان‌بر و پرزحمت است و آماربرداری در سطوح وسیع جغرافیایی عملا امکان‌پذیر نیست (Seidel et al., 2011: 231; Ronoud and Darvishsefat, 2018: 118). لذا استفاده از روش‌های زمین‌آماری می‌توان استفاده کرد. تعداد درختان در هکتار (تراکم)، یکی از مشخصه‌های کمی با ارزش برای ارزیابی وضعیت موجود منابع جنگلی، پایش و مدیریت مستمر این منابع محسوب می‌شود. از سوی دیگر آگاهی از وضعیت تعداد درختان در هکتار، یکی از اولویت‌هایی است که مدیران و برنامه‌ریزان منابع جنگلی، باید به آن دست پیدا کنند و در ارزیابی تغییرات توده‌های جنگلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mohammadi et al., 2008: 14). در بسیاری از داده‌های علوم زمین پیوستگی مکانی وجود دارد. به این معنی که نمونه‌هایی که در فاصله نزدیک‌تری به هم قرار دارند نسبت به نمونه‌های دورتر، به یکدیگر شبیه‌تر هستند که در این حالت گفته می‌شود نمونه‌ها دارای خودهمبستگی هستند (Zahedi Amiri, 2016: 80). زمین‌آمار (Geostatistics) شامل دو بخش واریوگرافی و کریجینگ است که ابزاری مناسب برای تحلیل تغییرات مکانی و برآورد متغیرهایی است که دارای همبستگی مکانی هستند (Akhavan et al., 2006: 92; Gholami et al., 2020: 6). امروزه استفاده از روش‌های زمین‌آماری برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل و تهیه نقشه آن‌ها مرسوم شده است. در داخل کشور، اولین مطالعه را Akhavan et al (2006) در زمینه استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای برآورد موجودی جنگل‌های شمال کشور انجام دادند و دریافتند که به‌علت تغییرپذیری زیاد در فواصل کوتاه و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

همچنین تناوبی بودن تغییرات در جنگل‌های مورد مطالعه، استفاده از زمین‌آمار برای برآورد موجودی حجمی مناسب نیست. (Akhavan and Kleinn, 2009: 303) کارایی روش کریجینگ را در برآورد و نقشه‌سازی موجودی جنگل-کاری بنشکی رامسر مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که در میان مشخصه‌های بررسی شده، مشخصه تراکم درختان ساختار مکانی مناسبی از خود نشان نداده و به همین دلیل خطای برآورد کریجینگ آن زیاد بوده است که دلیل آن حفظ نظم کاشت این جنگل‌کاری در طول زمان بیان شده است که باعث عدم تبعیت این متغیر از متغیر ناحیه‌ای شده است. (Mohammadi et al 2008) دو روش سنجش از دور (ترکیب خطی باندهای ETM4 و ETM5 به عنوان متغیرهای مستقل) و زمین‌آمار (به روش کریجینگ معمولی) را برای برآورد تعداد درختان در هکتار جنگل-های بلوط لوه گرگان مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که در مقیاس محلی این دو روش با یکدیگر تفاوت زیادی ندارند ولی در مقیاس وسیع استفاده از سنجش از دور نسبت به زمین‌آمار برتری دارد و به‌صرفه‌تر است. (Akhavan et al (2012: 306، در پژوهشی کارایی دو روش کریجینگ و IDW (Inverse Distance Weighting) را در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط منطقه کاکارضای خرم آباد لرستان را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که در این منطقه، برآوردها نااریب بوده و برای برآورد تاج پوشش جنگل، دقت روش IDW بهتر از روش کریجینگ است و در برآورد تراکم جنگل، روش کریجینگ بهتر عمل می‌کند. (Fakhire and Najafi Zilaie 2014)، در مقایسه روش‌های مختلف کریجینگ برای برآورد تراکم درختان حاشیه رودخانه کرخه خوزستان دریافتند که کوکریجینگ با کم‌ترین مقدار خطای برآورد کارایی بهتری در مقایسه با کریجینگ دارد. (Mahdavi et al (2016 استفاده از تصاویر ماهواره Worldview-2 موجود در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث برای پهنه‌بندی تراکم درختی جنگل‌های بلوط زاگرس روش کریجینگ را مناسب ارزیابی نمود. (Ahadi et al (2017، با استفاده از دو روش کریجینگ و عکس فاصله وزنی به تهیه نقشه توان تولید رویشگاه راش شرقی جنگل پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس پرداختند و نشان دادند که روش کریجینگ عملکرد بهتری دارد و قادر به تبیین تغییرهای مکانی توان تولید در منطقه تحقیق است و می‌تواند نقشه پهنه‌بندی آن را با صحت مناسب تولید کند. مطالعات زیادی در خارج از کشور برای برآورد و تهیه نقشه در اکوسیستم‌های جنگلی انجام شده است. برای نخستین بار Guibal (1973) در جنگل‌های گرمسیری کشور گابن برای برآورد موجودی حجمی از روش کریجینگ استفاده نمود و نتیجه گرفت که دقت زمین‌آمار در مقایسه با روش کلاسیک بیش‌تر است. Gunnarsson et al (1998) کارایی کریجینگ را برای برآورد موجودی حجمی در سطح توده‌های دست کاشت جنگلی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که برآورد این مشخصه در توده‌های همسال سوزنی‌برگ به‌خوبی انجام شده ولی در توده‌های همسال پهن‌برگ این روش مناسب نیست. Nanos and Montero (2001) در پژوهشی مدل‌های پراکنش قطری را با استفاده از زمین‌آمار مورد بررسی قرار دادند و Nanos et al (2004)، به بررسی تعداد درختان در هکتار با استفاده از زمین‌آمار پرداختند که نتایج این تحقیق نشان داد کریجینگ معمولی کارایی پیش‌بینی مکانی فاکتورهای تعداد در هکتاردرختان را با دقت مناسبی دارد. Marcio et al (2007) به بررسی روش‌های زمین‌آماری برای برآورد زیست توده جنگل‌های برزیل

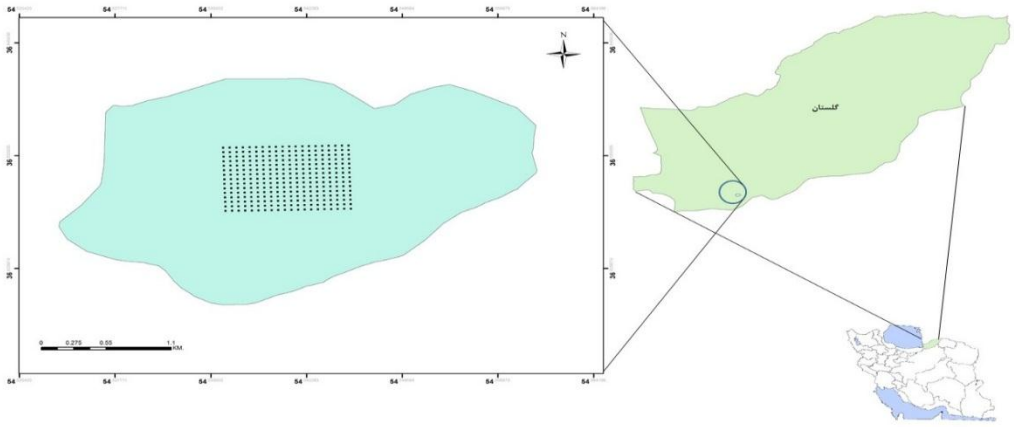
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

پرداختند و نتیجه گرفتند که زمین‌آمار توانایی برآورد و تهیه نقشه زیست‌توده در منطقه مورد مطالعه دارد. از آنجایی-که روش‌های زمین‌آماری برای برآورد و تهیه نقشه تعداد در هکتار رویشگاه‌های اُرس برای مدیریت‌شان از اهمیت زیادی برخوردار بوده و تاکنون تحقیقی در این زمینه در این رویشگاه‌ها انجام نشده است، هدف از پژوهش حاضر مقایسه دو روش کریجینگ معمولی و IDW برای برآورد مشخصه تعداد در هکتار درختان رویشگاه اُرس در منطقه چهارباغ گرگان می‌باشد.

- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش با مساحت ۶۰/۷۵ هکتار و در طول جغرافیایی "۵۴°۳۲′۰۸/۴۵ تا "۵۴°۳۲′۴۴/۶۷ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۶°۳۷′۵۰/۳۰ تا "۳۶°۳۸′۱۲/۹۴ شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در نزدیکی روستای چهارباغ گرگان قرار دارد. پایه‌های اُرس محدوده مورد مطالعه گونه درختیJuniperus excelsa است. حداکثر ارتفاع از سطح دریا منطقه ۳۰۰۰ متر بوده و منطقه مورد آماربرداری دارای یال‌ها و دره‌های با اختلاف ارتفاع متوسطی می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان گلستان و شهرستان گرگان

Figure 1: The location of study area in Iran, Golestan Province, Gorgan city

مواد و روش ها

- نمونه‌برداری

به‌منظور نمونه‌برداری برای این مطالعه یک شبکه آماربرداری ۲۰×۱۵ قطعه نمونه مربعی شکل (۳۰۰ قطعه نمونه) هر کدام به ابعاد ۴۵×۴۵متر(مساحت هر قطعه نمونه ۲۰۲۵ مترمربع) طراحی شد. موقعیت مکانی مرکز قطعات نمونه وارد دستگاه GPS دستی و در منطقه یافت و قطعات مورد نظر پیاده شد. در تمام ۳۰۰ قطعه نمونه تشکیل‌دهنده این شبکه تعداد درختان اُرس قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر مورد شمارش قرار گرفتند. از آنجایی که اصول زمین‌آمار بر مبنای همبستگی مکانی بین نمونه ها به‌ویژه در فواصل کوتاه است ابعاد قطعات نمونه ۴۵×۴۵ متر در نظر گرفته شد. به-

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

منظور فراهم‌سازی امکان مقایسه دقیق نتایج برآورد دو روش کریجینگ و IDW با یکدیگر در کل شبکه پیاده شده آماربرداری صد در صد انجام شد.

- تجزیه و تحلیل زمین‌آماری

- واریوگرافی

در این تحقیق برای تجزیه‌وتحلیل‌های مکانی از نرم افزار GS^+ نسخه ۱۰ استفاده شد. از واریوگرام برای تعیین و تشریح ساختار مکانی داده‌ها استفاده شد. واریوگرافی نخستین مرحله برای مدل‌سازی ساختار مکانی جهت استفاده در کریجینگ است. محاسبه واریوگرام بر اساس رابطه ۱ است (Hasani Pak, 1998: 207):

رابطه (۱)
$$\gamma(h)=\frac{1}{2N}\sum_{i=1}^{N}\{Z(x)-Z(x+h)\}^2$$

که $\gamma(h)$ مقدار واریوگرام برای تعداد N جفت نمونه است که با فاصله h (گام) از یکدیگر جدا شده‌اند، z (x) و z (x+h) نیز مقادیر متغیر ناحیه‌ای x در نقاط i و i+h هستند. 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 نشان‌دهده ساختار ضعیف متغیر مورد بررسی است (Cambardella et al., 1994). در تحقیق حاضر، مدل بر مبنای تفسیر چشمی و روش خودکار (حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها) به واریوگرام‌های تجربی برازش شد. بر این اساس و با توجه به مشخصه نیکویی برازش برای برازش تمامی واریوگرام‌های محاسبه شده، مدل کروی انتخاب و در همه آن‌ها اثر قطعه‌ای در نظر گرفته شد.

- کریجینگ

کریجینگ، روش درونیابی و برآورد زمین‌آماری است که بر اساس مدل برازش شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند. عمومی‌ترین روشی که برای مطالعات زیست‌محیطی استفاده شده است روش کریجینگ معمولی است. کریجینگ بهترین برآوردکننده خطی نااریب (Best Linear Unbiased Estimator) (BLUE)، عاری از خطای سیستماتیک و دارای حداقل میزان واریانس برآورد می‌باشد. تابع کریجینگ به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود (Webster and Oliver, 2000):

رابطه (۲)
$$\hat{Z}(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\, z(x_i)$$

که در آن λ_i وزن مرتبط با ارزش متغیر ناحیه‌ای x در نقطه‌ی i است؛ در شرایطی که $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1$ است. کریجینگ را هم می‌توان به‌صورت نقطه‌ای و هم به‌صورت بلوکی انجام داد. در این تحقیق از کریجینگ معمولی به شکل بلوکی استفاده شد.

- روش وزن‌دهی بر اساسی عکس فاصله (IDW):

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

روش IDW یا روش عکس فاصله وزنی یکی از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی است، فرض اساسی در این روش آن است که با افزایش فاصله، مقدار تاثیر مشخصه‌ها کاهش می‌یابد. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطه برآورد، شباهت بیش‌تری به آن نقطه دارند تا نقاط دورتر (Akhavan et al., 2012: 309). رابطهٔ کلی درون‌یابی دوبعدی به روش IDW به‌صورت رابطه‌های ۳ و ٤ است (Webster and Oliver, 2000):

رابطه (۳)
$$W(x,y) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i w_i$$

رابطه (٤)
$$\lambda_i = \frac{(\frac{1}{d_i})^P}{\sum_{k=1}^{N}(\frac{1}{d_k})^P}$$

که در آن $W(x,y)$ مقادیر برآورد شده در موقعیت (x,y)، N تعداد نقاط معلوم مجاور (x,y)، λ_i وزن اختصاص داده شده به هریک از مقادیر معلوم w_i در موقعیت (xi,yi)، d_i فاصله اقلیدوسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت‌های (x,y) و (xi,yi) و p مقدار توان است که متاثر از وزن w_i بر w است.

– اعتبارسنجی

در این تحقیق از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. با محاسبه مقادیر مطلق و نسبی دو آماره میانگین خطا (MSE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) درباره کیفیت برآورد مورد نظر قضاوت شد. اگر برآوردها صحیح و بدون اشتباه باشند، مقدار دو آماره باید برابر با صفر شود (Akhavan et al., 2012: 310)

یافته‌ها و بحث

با اجرای آماربرداری صددرصد در ۳۰۰ قطعه نمونه مربعی شکل (متر٤٥×٤٥ متر) در شبکه ۱۵×۲۰، تعداد در هکتار درختان اُرس شمارش شد. جدول (۱) نتایج کمی‌اندازه‌گیری مشخصه تعداد در هکتار قبل و بعد از تبدیل لگاریتمی در جدول را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج کمی مشخصه تعداد درختان در هکتار در منطقه مورد مطالعه

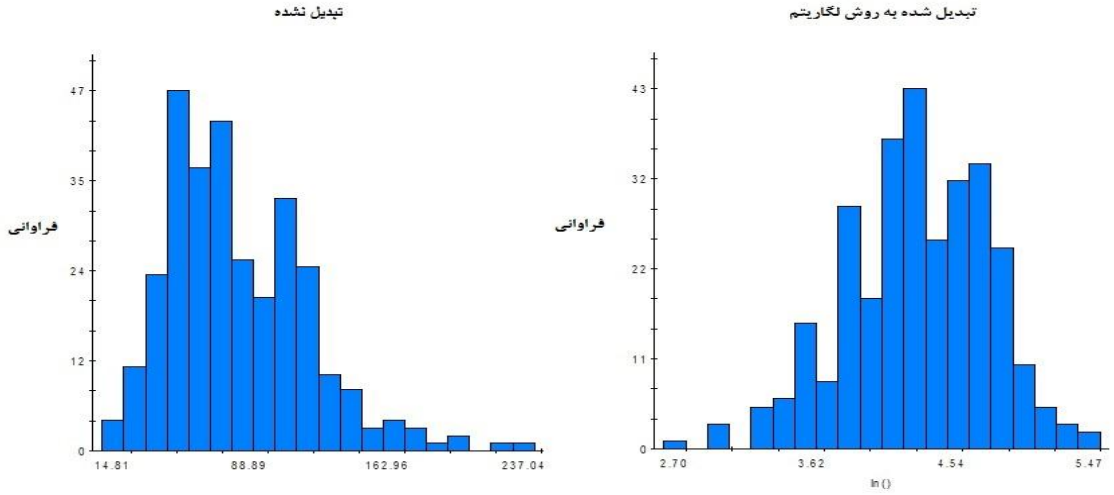
Table 1- The quantitative results of the tree density feature in the study area

مشخصه feature	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف معیار Standard Deviation	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (percent)	ضریب چولگی Skewness	ضریب کشیدگی Kurtosis
تعداد در هکتار قبل از تبدیل لگاریتمی	١٤/٨١	٢٣٧/٠٤	٨٢/٣٥	٣٨/٣٥	٤٦/٥	٠/٨٨	١/٠٤
تعداد در هکتار بعد از تبدیل لگاریتمی	٢/٧	٥/٤٧	٤/٣	٠/٤٩	١١/٣٩	−٠/٣٨	−٠/٠٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

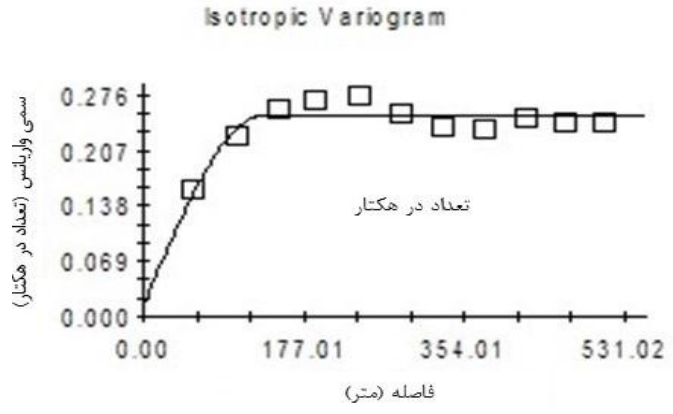
داده‌های مورد استفاده در مطالعات زمین‌آماری باید دارای توزیع نرمال باشند. لذا با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌های تحقیق مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد که این داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، بنابراین با استفاده از روش لگاریتم نرمال شدند و سپس در تجزیه‌وتحلیل‌ها به‌کار برده شد (جدول ۱ و شکل ۲).



شکل ۲: داده‌های میدانی تبدیل نشده و تبدیل شده به روش لگاریتم

Figure 2: The non-transformed and transformed field data by Logarithmic method

در محاسبه واریوگرام‌های متغیر مورد بررسی هیچ‌گونه نشانه‌ایی از ناهمسانگردی چه از نوع هندسی و چه منطقه‌ای مشاهده نشد. همان‌طور که در واریوگرام سطحی متغیر مورد مطالعه دیده می‌شود، مقدار واریوگرام‌ها در جهت‌های شمال-جنوب و شرق-غرب تقریبا یکسان و مستقل از جهت می‌باشند. بنابراین کلیه واریوگرام‌ها به‌صورت چندجهته محاسبه شده و با استفاده از مدل کروی برازش شدند (شکل ۳). واریوگرام تجربی مشخصه مورد مطالعه این تحقیق نشان می‌دهد که همبستگی مکانی بین تعداد در هکتار وجود داشته و دارای روند نیست.



شکل ۳: واریوگرام تجربی و مدل برازش شده به آن مشخصه تعداد در هکتار

Figure 3: Experimental variogram and fitted model to tree density

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

مشخصه‌های واریوگرام برازش شده برای متغیر تعداد در هکتار با مدل‌های مختلف در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- مشخصات واریوگرام و مدلهای برازش داده شده

Table 2- Variogram feature and fitted models

مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget effect	حد آستانه Sill	دامنه تاثیر (متر) Range (m)	ساختارمکانی (درصد) Spatial structure (Percent)
کروی	۰/۰۱۳۹	۰/۲۵۰۸	۱۳۳	۹٤/٤٦
نمایی	۰/۰۳۵٦	۰/۲٦	۱۳۳	۸٦/۳
گوسین	۰/۱۰۱۲	۰/۲۹	۱۳۳	٦٥/۱
خطی	۰/۲۲۸	۰/۲۲۸	۳٥۹	۰

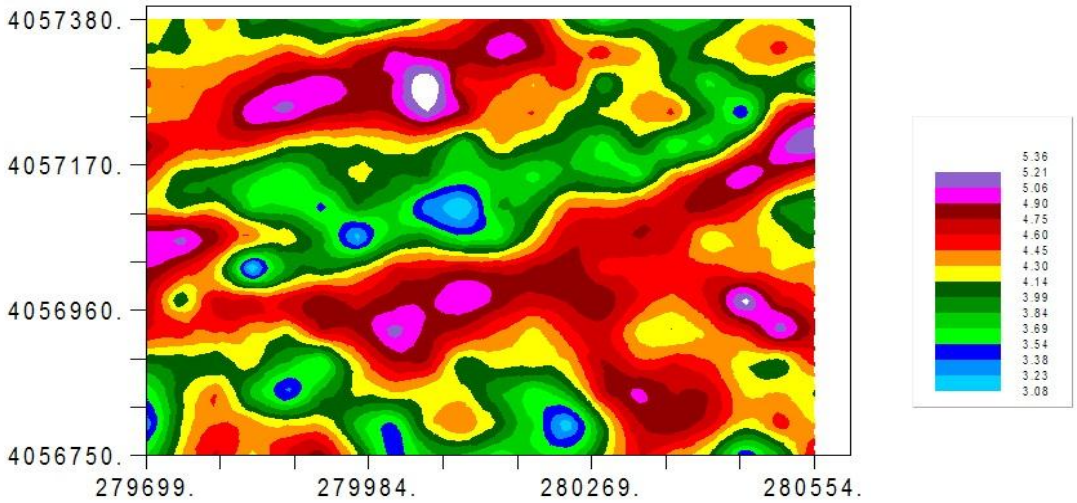
در جدول (۳) نتایج کمی درون‌یابی به دو روش کریجینگ و IDW آورده شده است.

جدول ۳- نتایج کمی درون‌یابی به دو روش کریجینگ و IDW

Table 3- The quantitative results of interpolation by kriging and IDW methods

روش درون‌یابی Interpolation method	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف معیار Standard Deviation	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (percent)
کریجینگ Kriging	۲۹/۳۷	۱۷۹/٤۷	۷۸/٥۳	۲٤/۷۸	۳٥
IDW	٤۳/۸۹	۱۱٥/٥۸	۷٦/۰۳	۱٦/۰٥	۲۱/۱۱

شکل‌های (٤ و ٥) به‌ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی دو بعدی مشخصه تعداد در هکتار با دو روش کریجینگ و IDW را نشان می‌دهند که در آن محور عمودی عرض جغرافیایی و محور افقی طول جغرافیایی در سیستم مختصات UTM است.

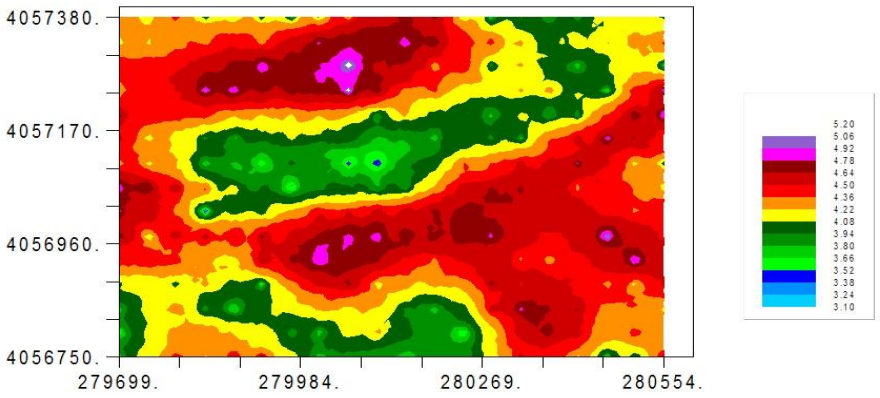


شکل ٤: نقشه دوبعدی توزیع مکانی مشخصه تعداد در هکتار به روش کریجینگ

Figure 4: Two-dimensional spatial distribution map of tree density feature by kriging method

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]



شکل ۵: نقشه دوبعدی توزیع مکانی مشخصه تعداد در هکتار به روش IDW

Figure 5: Two-dimensional spatial distribution map of tree density feature by IDW method

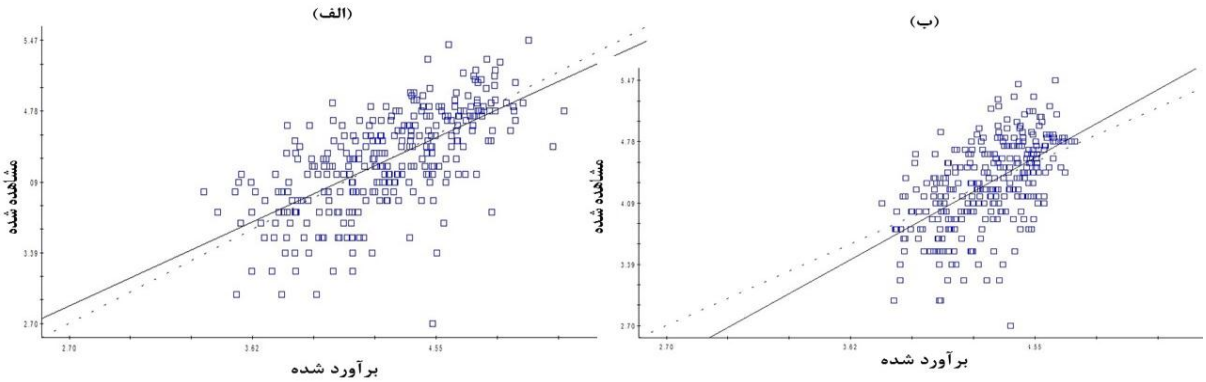
برای مقایسه‌ی دو روش کریجینگ و IDW، مقادیر مطلق و نسبی خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای هر دو روش محاسبه شد که نتایج آن در جدول (٤) آورده شده است.

جدول ٤- نتایج ارزیابی صحت دو روش درون‌یابی تحقیق برای مشخصه تعداد در هکتار

Table 4- The validation results of interpolation methods for the tree density feature in study area

روش Method	MSE (تعداد در هکتار)	MSEr (درصد)	RMSE (تعداد در هکتار)	RMSEr (درصد)
کریجینگ	۰/۲۹۲	٦/۸	۰/۳۷٤	۸/۷
IDW	۰/۳۲۲	۷/٤۸	۰/٤۱	۹/٥۳

شکل (٦) (الف و ب) پراکنش ابر نقاط اعتبارسنجی متقابل را برای متغیر مورد بررسی به روش‌های کریجینگ و IDW نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، مقادیر مشاهده شده (محور عمودی) در برابر مقادیر برآورد شده (محور افقی) تقابل داده شده‌اند. هر چه انطباق خط ممتد بر خط چین (با زوایه ٤٥ درجه) بیش‌تر باشد، برآوردها نااریب‌تر و صحت آنها بیش‌تر است.



شکل ٦: ابر نقاط ارزیابی متقابل برآورد مشخصه تعداد درهکتار با روش‌های کریجینگ (الف) و IDW (ب)

Figure 6: Scatterplot caused by cross validation of tree density feature by kriging (a) and IDW (b) methods

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کارایی دو روش درون‌یابی کریجینگ و IDW در برآورد و تهیه نقشه مشخصه تعداد در هکتار درختان اُرس رویشگاه چهارباغ در استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج واریوگرافی نشان داد که متغیر تعداد در هکتار از ساختار مکانی قوی برخوردار است (جدول ۲) و تغییرات این مشخصه در رویشگاه اُرس چهارباغ کاملا به فاصله وابسته است و یا به‌عبارت دیگر یک متغیر ناحیه‌ای محسوب می‌شود (شکل ۲). از این‌رو امکان برآورد و تهیه نقشه مشخصه تعداد در هکتار در این منطقه با روش‌های آمار مکانی وجود دارد (شکل‌های ٤ و٥). با توجه به مشخصات واریوگرام (جدول ۲) می‌توان بیان کرد که هر قدر مقدار سقف واریوگرام بیش‌تر باشد، تغییرپذیری نیز بیش‌تر خواهد بود و هر اندازه اثر قطعه‌ای کم‌تر باشد، ساختار مکانی ویژگی مشخصه مورد بررسی بیش‌تر و نتایج دقیق‌تری ارائه می‌شود. نتایج واریوگرافی و مدل برازش شده برای مشخصه مورد مطالعه این تحقیق نیز این موضوع رو تایید می‌کند.

نتایج ارزیابی صحت دو روش درون‌یابی به‌کار گرفته شده در این تحقیق (جدول ٤) نشان می‌دهد که مقدار میانگین خطای نسبی و جذر میانگین مربعات خطا در هر دو روش قابل قبول بوده و می‌توان بیان کرد استفاده از دو روش درون‌یابی کریجینگ و IDW در منطقه مورد مطالعه دارای خطای برآورد کمی است. بر اساس جدول (٥)، مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطای روش کریجینگ کم‌تر از روش IDW بوده و دقت این روش در مقایسه با روش IDW برای برآورد متغیر تعداد در هکتار اُرسستان‌های منطقه چهارباغ بیش‌تر است. روش کریجینگ در مقایسه با روش IDW دارای مزایایی همچون خوشه‌زدایی، کاهش واریانس برآورد و تولید نقشه خطای برآورد است و این تحقیق نیز اهمیت این مزایا را آشکارتر می‌سازد. روش IDW نیز دارای مزایایی است که می‌تواند استفاده خاص خودش را داشته باشد، خصوصا زمانی که وجود حداقل و حداکثر داده‌های اولیه در نقشه‌های تولید شده اهمیت زیادی دارند، استفاده از این روش توصیه می‌شود، چرا که باعث کاهش دامنه تغییرات بین حداقل و حداکثر داده ها میشود که نشان‌دهنده خاصیت هموارکنندگی این روش است. استفاده از هر دو روش کریجینگ و IDW برای برآورد تعداد در هکتار درختان اُرس این منطقه قابل توصیه است، هر چند روش IDW دارای محدودیت‌هایی است ولی در این منطقه استفاده از این روش بر افزایش مقدار خطای برآورد تاثیر چندانی نمی‌گذارد.

مقایسه نقشه‌های دو بعدی حاصل از درون‌یابی به دو روش کریجینگ و IDW (شکل های ٤ و٥) با تصاویر ماهواره-ای منطقه آماربرداری نشان داد که نقشه‌های تولید شده انطباق بسیار مناسبی با مناطق با تراکم درختی زیاد و کم تراکم دارند، و توالی مناطق کم‌تراکم و پرتراکم بر روی نقشه‌های درون‌یابی شده خصوصا در روش کریجینگ نشان-دهنده یال و دره‌هایی است که تراکم درختان در آن‌ها متفاوت است.

با استناد به نتایج این تحقیق و نظر به این‌که که پراکنش گونه اُرس در کل منطقه چهارباغ مشابه پراکنش شبکه آماربرداری پژوهش حاضر است، امکان تهیه نقشه پهنه‌بندی تعداد در هکتار در اُرسستان‌های چهارباغ با روش‌های کریجینگ و IDW وجود دارد و در مجموع روش کریجینگ دارای خطای کم‌تری خواهد بود. حتی در سایر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

رویشگاه‌های گونه اُرس درختی که پراکنش مشابه پراکنش رویشگاه چهارباغ داشته باشند، استفاده از این دو روش برای برآورد و پهنه‌بندی مشخصه تعداد درختان در هکتار قابل توصیه است. همان‌گونه که Akhavan et al (2012) بیان می‌کنند تولید و استفاده از نقشه‌های زمین مرجع کریجینگ می‌تواند امکان تجزیه‌وتحلیل‌های مکانی را به‌سرعت فراهم آورد تا در ترکیب با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به تاثیر عوامل متعدد بر تراکم جنگل بپردازد. وجود چنین نقشه‌های زمین مرجع با صحت بالایی که نحوه توزیع مکانی و پراکنش درختان را نشان می‌دهند برای برنامه-ریزان و مدیران جهت به‌کارگیری استراتژی‌های مناسب به‌منظور حفاظت و توسعه این اکوسیستم‌ها کاملا ضروری است.

در نهایت می‌توان بیان کرد روش زمین‌آماری کریجینگ نسبت به روش IDW برآورد با صحت بیش‌تری داشته است که با نتایج پژوهش Akhavan et al (2012) که در جنگل‌های شاخه‌زادبلوط غرب انجام شد همسویی زیادی دارد. لذا این روش برای تهیه نقشه تعداد در هکتار جنگل‌های اُرس منطقه چهارباغ در استان گلستان قابل استفاده است. پیشنهاد می‌شود چنین مطالعه‌ای در سایر رویشگاه‌های اُرس کشور اعم از اُرس‌های درختی و خزنده انجام شود تا در صورت کسب برآوردهای با صحت بالا، روش زمین‌آماری کریجینگ برای برآورد و پهنه‌بندی مشخصه تعداد در هکتار رویشگاه‌های جنگلی با ارزش اُرس کشور به‌کار گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود روش‌های برآورد زمین-آماری با روش‌های برآورد سنجش از دوری در این رویشگاه‌ها مورد مقایسه قرار گیرند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

References

- Ahadi, Z., Alavi, S. J., Hosseini, S. M., (2017), "Beech forest site productivity mapping using ordinary kriging and IDW (Case study: research forest of Tarbiat Modares University)", ***Forest and Wood Products***, 70 (1): 93-102. [In Persian].
- Akhavan, R., Karami Khorramabadi, M., 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): 305-315. [In Persian].
- Akhavan, R., Kleinn, C., (2009), "On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock (Case study: Beneshki plantation)", ***Iranian Journal of Forest and Poplar Research***, 17 (2): 303-318. [In Persian].
- Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh., Namirinain, M., Mandallaz, D., (2006), "Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistical approach in the caspian region of Iran", ***Iranian Journal of Natural Resources***, 59 (1): 89-102. [In Persian].
- Ali Ahmad Korori, S., Khoshnevis, M., Matinizadeh, M., (2011), "***Comprehensive studies of Juniperus species in Iran***", Tehran: Pooneh Press. [In Persian].
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., Konopka, A. E., (1994), "Field scale variability of soil properties in CentralIowa soil", ***Soil Science Society of America Journal***, 58: 1501-1511.
- Fakhire, A., Najafi Zilaie, M., (2014), "Comparison of different kriging methods to estimate the tree density, a case study: West of Karkheh in southwest of Iran", ***Pro Environment***, 20 (7): 204-212.
- Gholami, A., Valipour, P., Nourzadeh Hadad., M., (2020), "Performance Evaluation of geostatistics methods on the zoning of soil chemical properties (Case study: Karun East area)", ***Journal of Geographical Space***, 20 (69): 1-15. [In Persian].
- Gunnarsson, F., Holm, S., Holmgren, P., Thuresson, T., (1998), "On the potential of kriging for forest management planning", ***Scandinavian Journal of Forest Research***, 13 (1-4): 237-245.
- Guibal, D., (1973), "***L´ estimation des oukoumés du Gabon***", note interne 333, Centre de Morphologie Mathématique, Fontainebleau, France.
- Hasani Pak, A. A., (1998), "***Geostatistics***", Tehran: University of Tehran Press. [In Persian].
- Mahdavi, A., Aziz, J., Akhavan, R., (2016), "Mapping tree density of Zagros oak forests using Kriging and Worldview-2 satellite images from Google Earth database", ***Ecological Journal of Wood & Forest Science and Technology***, 23 (4): 87-108. [In Persian].
- Marcio, H. S., Carlos, M. S. J., Phaedon, C. K., Dar, A. R., Edson, V., (2007), "Improving spatia distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondonia, Brazil", ***Ecological modeling***, 205: 221-230.
- Mohammadi, J., Shataee, Sh., Habashi, H., Yaghmaee, F., (2008), "Comparison of remote sensing and geostatistics techniques in forest tree density estimation, Case study Loveh forests, Gorgan", ***Journal Agriculture Science Natural Resources***, 15 (1): 10-21. [In Persian].
- Nanos, N., Montero, G., (2001), "Spatial prediction of diameter distribution models", ***Forest ecology and management***, 161 (1-3): 147-158.
- Nanos, N., Calama, R., Montero, G., Gil, L., (2004), "Geostatistical prediction of height/diameter models", ***Forest ecology and management***, 195: 221-235.
- Seidel, D., Fleck, S., Leuschner, C., Hammett, T., (2011), "Review of ground-based methods to measure the distribution of biomass in forest canopies", ***Annals of Forest Science***, 68: 225-244.
- Ronoud, Gh., Darvishsefat, A. A., (2018), "Estimating aboveground woody biomass of Fagus orientalis stands in Hyrcanian forest of Iran using Landsat 5 satellite data (case study: Khyroud forest)", ***Journal of Geographical Space***, 17 (60): 117-129. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]

- Webster, R. M., Oliver, A., (2000), "***Geostatistics for environmental scientists***", London: Wiley press.
- Zahedi Amiri, Gh., (2016), "***Geostatistics in natural resources***", Faculty of Natural Resources, University of Tehran, press. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.73.5.7]