دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

بررسی قابلیت روش زمین‌آمار کریجینگ در پهنه‌بندی حجم سرپای جنگل (پژوهش موردی: منطقه هفتخال)

علیرضا حسین‌پور[۱]، اصغر فلاح[۲]، مریم نیک‌نژاد[۳]، محمد حجازیان[۴] و سیاوش کلبی[۵]

۱- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: rhoseinpour88@gmail.com)
۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۵- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۸
صفحه: ۱۲۰ تا ۱۲۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تعیین موجودی حجمی جنگل از اساسی ترین اهداف و وظایف مدیریت جنگل است، که به علت پیچیده بودن این فرایند همیشه با چالش‌هایی برای بخش اجرا همراه بوده است. تهیه نقشه حجم سرپای جنگل نقش مهمی در مدیریت پایدار جنگل‌ها ایفا می‌نماید. در طرح‌های جنگل‌داری شمال کشور، از آماربرداری تصادفی منظم و روش میانگین حسابی حجم سرپای قطعات نمونه هر پارسل برای برآورد موجودی سرپای هر پارسل استفاده می‌گردد ولی روابط مکانی بین قطعات نمونه در نظر گرفته نمی‌شود. هدف از این مطالعه، مقایسه روش کریجینگ و روش معمول در تهیه نقشه موجودی جنگل در طرح جنگل‌داری هفتخال می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای این‌منظور تعداد۲۴۳ قطعه نمونه دایره‌ای به مساحت ۱۰ آر و با شبکه منظم تصادفی ۲۰۰ × ۱۵۰ متر، آماربرداری شد و نقشه تولید شده به‌روش میانگین حسابی قطعات نمونه آماربرداری (روش معمول سازمان جنگل‌ها) و نقشه حجم سرپا به‌روش کریجینگ مقایسه شد. برای بررسی قابلیت نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ به‌عنوان نقشه مورد استناد، ابتدا نرمال بودن داده‌ها به‌روش سمی‌واریوگرام و هیستوگرام‌ها و شاخص‌های آن بررسی شد. سپس ۳۰ درصد قطعات نمونه (۷۳ قطعه نمونه) به‌عنوان نقاط کنترل زمینی به‌روش تصادفی جدا شد و با استفاده از نقاط باقیمانده و روش معمولی، پارامترهای اپتیمم Lag Size، Nugget و PartialSill برای تولید نقشه کریجینگ موردنظر بررسی شد. در نهایت بهترین حالت ممکنه انتخاب شد. سپس نقشه تهیه شده با قطعات نمونه کنترل زمینی (۷۳ قطعه نمونه) بررسی شد و حجم سرپای قطعات نمونه کنترل کننده با حجم سرپای محاسبه شده با روش کریجینگ به‌صورت نقاط متناظر بررسی شد و میزان اختلاف آنها مشخص شد.

یافته‌ها: صحت نقشه کریجینگ تولید شده، با استفاده از قطعات نمونه کنترل زمینی بررسی شد. در این تحقیق، بهترین مدل، دارای ریشه میانگین مجذور خطا ۳۰ درصد و اریبی۰/۱۱ درصد بود. با استفاده از آزمون همبستگی داده‌ها در نرم‌افزار SAS مشخص شد که اطلاعات نقشه کریجینگ در سطح احتمال ۹۹ درصد با قطعات نمونه واقعیت زمینی مطابقت دارد ولی میزان همبستگی اطلاعات روش میانگین حسابی قطعات نمونه در سطح احتمال ۹۵ درصد نیز با اطلاعات قطعات نمونه واقعیت زمینی مطابقت ندارد و همبستگی آنها معنی‌دار نیست. آزمون T-test نیز نتایج مشابهی را نشان داد.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج نشان داد روش زمین‌آمار کریجینگ دارای قابلیت بهتری نسبت به‌روش‌های معمول سنتی در تهیه نقشه پهنه‌بندی حجم سرپای جنگل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، حجم سرپا، شبکه آماربرداری، قطعه نمونه، کریجینگ

مقدمه

اطلاع از موجودی جنگل و تهیه نقشه موجودی سرپا، نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل دارد. در طرح‌های جنگل‌داری شمال کشور، از روش‌های سنتی برای تهیه نقشه جنگل استفاده شده است. به‌نظر می‌رسد این روش قدیمی، فاقد دقت کافی است زیرا فقط از میانگین حسابی حجم قطعات نمونه جنگل برای تهیه نقشه حجم سرپای جنگل استفاده می‌نماید و رابطه مکانی بین نمونه‌های آماری در نظر گرفته نمی‌شود. با توجه به گستردگی جنگل‌های شمال کشور و کوهستانی بودن عرصه‌ها، صرف زمان و هزینه زیاد و آماربرداری صد در صد برای تهیه نقشه‌های صحیح و دقیق ممکن نیست. در این میان انتظار می‌رود استفاده از روش‌های زمین‌آمار که در برآورد متغیرهای جنگل از ارتباط مکانی متغیرها بر اساس نمونه‌های برداشت شده استفاده می‌کند، نتایج بهتری نسبت به روش‌های معمول کلاسیک ارائه کند (۲). در مطالعاتی که آماربرداری جنگل به‌روش نمونه‌برداری تصادفی منظم انجام می‌شود نیاز به تعمیم داده‌های تهیه شده به سایر قسمت‌هایی که آماربرداری نشده است، وجود دارد؛ به‌همین علت از روش درون‌یابی که فرایندی جهت برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط فاقد داده، به‌کمک نقاط مجاور و معلوم است، استفاده می‌شود. این فرآیند به‌دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به‌منظور تهیه نقشه‌های هم ارزش انجام می‌گیرد و به‌معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (۷). درعلوم مختلف کاربردهای فراوانی از روش‌های درون‌یابی در برآورد چگونگی توزیع و تخمین پارامترها مانند مقدار رطوبت خاک، هدایت الکترونیکی اشباع، اسیدیته و تعیین سطح ایستابی به‌چشم می‌خورد (۱). میزان صحت نتایج درون‌یابی به دقت مکانی، تعداد و توزیع نقاط معلوم و مدل مورد استفاده بستگی دارد. بهترین نتایج هنگامی به‌دست می‌آیند که رفتار تابع ریاضی با رفتار پدیده موردنظر مشابه باشد. زمانی‌که تغییرات یک پارامتر در یک منطقه هموار یکسان باشد، مدلی که بتواند براساس میانگین‌گیری درون‌یابی کند (نظیرIDW)[1]، مناسب است. اما در مورد یک منطقه با تغییرات شدید ارتفاعی نیاز به مدلی است که تغییرات شدید را پیش‌بینی کند (۱۰).آرتسن و همکاران (۱) در بلژیک پنج روش تهیه نقشه شامل کریجینگ معمولی، رگرسیون و سه روش هیبرید را برای شاخص رویشگاه برای دو گونه درختی بلوط و راش مقایسه کردند. منگ و همکاران (۱۶) روش‌های زمین

1- Inverse Distance Weighting

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

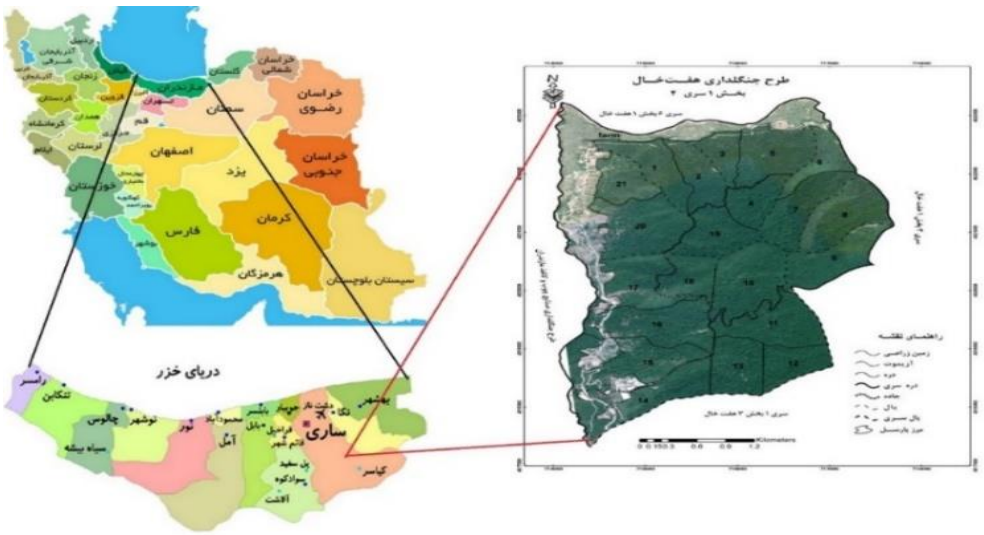
آماری را برای پیش‌بینی مشخصه‌های جنگل همانند رویه زمینی، ارتفاع، اوضاع سلامت و زی‌توده جورجیای غربی در آمریکا به‌کار گرفتند.

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی موجودی سرپا، از درون‌یابی اطلاعات حجم سرپا مراکز نمونه‌های آماری می‌توان استفاده نمود. یکی از این روش‌های مهم و کاربردی درون‌یابی، روش زمین‌آمار کریجینگ می‌باشد (۱۳،۱۴،۱۵،۱۹،۲۱). کریجینگ از روش‌های بسیار مناسب و پیشرفته درون‌یابی است که می‌تواند بر اساس مدل برازش داده شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند (۶). تحقیقات مختلفی جهت برآورد و تولید نقشه‌های پراکنش زمین آمار مشخصه‌های جنگل مانند تراکم، رویهٔزمینی و موجودی حجمی جنگل بر اساس آماربرداری‌های زمینی صورت گرفته است (۴،۵،۶،۱۲،۱۷،۱۸،۲۰،۲۲). در برخی موارد به‌دلایلی نظیر عدم نرمال بودن داده‌ها، عدم نرمال بودن پراکنش نقاط آماربرداری و غیره این روش را ناموفق دانستند (۴). فریمن و مویسن (۱۱) استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ را به‌عنوان ابزاری برای بهبود نقشه‌های زی‌توده جنگل ارزیابی کردند. فخیره و زیلایی (۹) برای برآورد تراکم درختان در جنوب غرب ایران از روش درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند. اخوان و همکاران (۵) در بررسی ساختار مکانی متغیرهای کمی جنگل و امکان استفاده از روش زمین آمار کریجینگ برای برآورد و تهیه نقشه از آنها در یک جنگل‌کاری ۱۸ ساله پلت نشان دادند که رویه زمینی برآورد شده به‌روش کریجینگ با مقدار واقعی آن تفاوت معنی‌داری ندارد، ولی دقت برآورد کریجینگ دو برابر دقت برآورد به‌روش کلاسیک است و از این روش زمین آمار می‌توان در مدیریت جنگل‌کاری‌ها استفاده نمود. تحقیقات احدی و همکاران (۳) نشان‌داد که روش زمین آماری کریجینگ قادر به تبیین تغییرهای مکانی توان تولید در جنگل‌های راش است و می‌تواند نقشه پهنه‌بندی آن را با صحت مناسب تولید کند. اما اخوان و همکاران (۴) در تحقیق دیگری به‌منظور بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های شمال کشور با استفاده از روش زمین آمار، در بخشی از جنگل آموزشی-پژوهشی دانشگاه تهران، نشان دادند که کلیه درون‌یابی‌ها اریب بوده و کریجینگ نتوانسته با توجه به وجود اثر قطعه‌ای زیاد در واریوگرام، برآورد مناسبی از موجودی حجمی ارایه دهد و با دخالت‌های اعمال شده در این جنگل ناهمگن و ناهمسال، ساختار مکانی موجودی حجمی، ساختاری ضعیف بوده و تابعی از فاصله نیست و در نتیجه به‌علت تغییرپذیری زیاد در فواصل کوتاه و نیز تناوبی بودن تغییرات، با روش نمونه‌برداری به‌کار رفته، استفاده از روش زمین آمار، برای برآورد موجودی حجمی در این جنگل مناسب نیست. با توجه به اینکه برخی نتایج نشانگر عدم کارایی روش کریجینگ است، نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه کارایی روش زمین‌آمار کریجینگ وجود دارد. با توجه به مطالب بیان شده،این تحقیق به بررسی میزان کارایی روش زمین آمار کریجینگ و مقایسه آن با روش کلاسیک در تهیه نقشه موجودی جنگل‌های آمیخته ناهمسال سری چهار بخش یک طرح جنگلداری هفتخال در محدوده شهرستان ساری در استان مازندران می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سری چهار بخش یک طرح جنگلداری هفتخال در محدوده شهرستان ساری در استان مازندران منطقه مورد مطالعه بوده‌است. جنگل مورد مطالعه در محدوده ۷۱۴۱۰۶ الی ۷۱۷۶۶۶ شرقی و ۴۰۱۷۷۵۴ الی ۴۰۲۳۱۶۲ شمالی در سیستم مختصات متریک قرار دارد (شکل۱). حداقل وحداکثر ارتفاع این سری جنگل‌داری به‌ترتیب ۵۳۰ و ۱۴۲۰ متر از سطح دریا است. مساحت سری ۷۳۰ هکتار می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

روش تحقیق

در ابتدا، نقشه منطقه تهیه شد و از شبکه آماربرداری استاندارد سازمان جنگل‌ها برای حوزه آبخیز ۶۹ شمال کشور استفاده شد. از GPS مدل Garmin60sx استفاده شد. از کالیپر برای اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان و همچنین از دستگاه شیب‌سنج سونتو برای تعیین ارتفاع درختان استفاده شد.۲۴۳ قطعه نمونه دایره‌ای به مساحت ۱۰ آر (۱۰۰۰ مترمربع) و با شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر، طراحی شد و به دستگاه‌های GPS انتقال یافت و با استفاده از این دستگاه‌ها، موقعیت مکانی قطعات نمونه در عرصه مشخص شد. در هر قطعه نمونه، کلیه درختان بیش از قطر ۱۲/۵ سانتی‌متر در کلاسه‌های قطری ۵ سانتی‌متری، آماربرداری شد. علاوه بر آن، سایر اطلاعات مورد نیاز (نظیر ارتفاع نزدیک‌ترین و قطورترین درخت در هرقطعه نمونه علاوه بر اندازه‌گیری قطر برابر سینه) نیز برداشت شد. پس از آن اطلاعات فرم‌های آماربرداری وارد نرم‌افزار FST[1] (نرم‌افزار سازمان جنگل‌ها و مراتع جهت ورود اطلاعات میدانی و تجزیه داده‌ها) شد. با استفاده از این نرم‌افزار، منحنی ارتفاع توده هر گونه رسم و سپس حجم سرپای هر پارسل بر حسب مترمکعب بر هکتار (به طور معمول، ضریب تبدیل سیلو به مترمکعب یک در نظر گرفته می‌شود) محاسبه شد.

جهت تهیه نقشه‌های زمین آمار مشخصه حجم سرپای جنگل، موجودی سرپای هر قطعه نمونه با استفاده از نرم‌افزار FST محاسبه شد. این نرم‌افزار اطلاعات مربوط به حجم هر نمونه آماری را در اختیارکاربران قرار نمی‌دهد به‌همین خاطر، نرم‌افزار تجزیه قطعات نمونه (FIA)[2] طراحی شدکه یکی ازکاربردهای آن محاسبه حجم نمونه‌های آماری است. این نرم‌افزار که توسط اعضای تیم تحقیق و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C# طراحی شد، بر روی بانک اطلاعات نرم‌افزار FST سازمان جنگل‌ها، تجزیه‌های لازم جهت تهیه اطلاعات لازم مورد استفاده نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی را فراهم نمود. در مرحله بعد، مختصات مکانی هر قطعه نمونه با جداول محاسبه شده، لینک شد و به‌صورت یک نقشه نقطه‌ای که هر نقطه حاوی اطلاعاتی نظیر شماره قطعه نمونه و حجم سرپای هر نمونه بر حسب مترمکعب در هکتار بوده‌است، تولید شد. با بررسی مطالعات مختلف مقایسه روش‌های درون‌یابی اطلاعات، جهت تهیه نقشه زمین آمار موجودی حجمی منطقه مورد مطالعه از روش کریجینگ و نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و همچنین نقشه واریانس آن تهیه و بررسی شد.

برای بررسی قابلیت نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ به‌عنوان نقشه مورد استناد، ابتدا نرمال بودن داده‌ها به‌روش بررسی سمی‌واریوگرام و هیستوگرام‌ها و شاخص‌های آن بررسی شد (۱). سپس ۳۰ درصد قطعات نمونه (۷۳ قطعه نمونه) به‌عنوان نقاط کنترل زمینی به‌روش تصادفی جدا شد و با استفاده از نقاط باقیمانده و روش معمولی[3]، پارامترهای اپتیمم Lag Size، Nugget و PartialSill برای تولید نقشه کریجینگ موردنظر بررسی شد. در نهایت بهترین حالت ممکنه انتخاب شد. سپس نقشه تهیه شده با قطعات نمونه کنترل زمینی (۷۳ قطعه نمونه) بررسی شد و حجم سرپای قطعات نمونه کنترل کننده با حجم سرپای محاسبه شده با روش کریجینگ به‌صورت نقاط متناظر بررسی شد و میزان اختلاف آنها مشخص شد.

در مرحله بعد میزان دقت نقشه تهیه شده با روش زمین‌آمار (که پراکنش و تأثیرات مکانی قطعات نمونه رادر تهیه نقشه حجم موجودی سرپا لحاظ می‌کند) و رو ش میانگین حسابی حجم در هکتار قطعات نمونه یک پارسل (روش معمول سازمان جنگل‌ها و مراتع) مقایسه شد. برای این‌منظور قطعات نمونه برداشت شده به‌عنوان ملاک تعیین دقت نقشه‌های تولید شده (۳۰درصد کل نمونه‌های زمینی) با این دو روش استفاده شد. برای این کار، حجم سرپای نقاط متناظر مرکز قطعه نمونه در روی نقشه حجم سرپای محاسبه شده به‌روش کریجینگ و همچنین نقطه متناظر آن قطعه نمونه در نقشه حجم سرپای تهیه شده در روش میانگین حسابی به‌صورت جدول و نمودار به تفکیک پارسل‌ها تهیه شد و میزان اختلاف بین حجم سرپای هر قطعه نمونه با حجم سرپای متناظر آن در روی نقشه‌های تولید شده به‌روش میانگین حسابی و روش زمین آمار به‌صورت جدول و نمودار به تفکیک پارسل‌ها و نیز از معیارهای اریبی[4]، خطای جذر میانگین مربعات[5] و درصد آنها نیز برای دقت نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ استفاده شد.

برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم افزار SAS و آزمون بررسی همبستگی داده‌ها[6] و همچنین از آزمون T-test استفاده شد. آزمون بررسی همبستگی داده‌ها، میزان همبستگی بین میانگین حجم سرپای قطعات نمونه برداشت شده زمینی و متناظر آن در روی نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ و همچنین روش میانگین حسابی حجم سرپای پارسل را بررسی نمود و آزمون T-test نیز تشابه و تطابق میانگین حجم سرپای قطعات نمونه برداشت‌شده زمینی و متناظر آن در روی نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ و همچنین میانگین حجم سرپای پارسل روش میانگین حسابی را بررسی نمود. در نهایت نقشه کلاسه‌بندی حجم سرپای منطقه مورد مطالعه با استفاده از کلاسه‌بندی معمول سازمان جنگل‌ها و مراتع برای هر دو روش تهیه شد.

نتایج و بحث

کنترل نرمال بودن داده‌های مورد استفاده در تهیه نقشه کریجینگ با استفاده از بررسی هیستوگرام حجم سرپای قطعات نمونه و شاخص‌های آن نشان دهنده نرمال بودن داده‌ها بدون نیاز به تصحیح خاصی بود و ضرایب چولگی[7] برابر ۰/۴۸۶و کشیدگی[8] برابر ۳/۱۸۹ را نشان داد. همچنین شبکه آماربرداری استاندارد سازمان جنگل‌ها با ابعاد ۲۰۰×۱۵۰متر، بیان‌گوی نرمال بودن داده‌ها از نظر پراکنش مکانی می‌باشد. مطالب فوق، نشان دهنده قابلیت استفاده از روش کریجینگ در این تحقیق بوده است.

پس از تایید نرمال بودن داده‌ها و با استفاده از ۷۰ درصد نمونه‌های زمینی،جهت تهیه نقشه کریجینگ، پارامترهای مختلف و متدهای گوناگون تهیه نقشه مذکور آزمایش شد و بهترین مقادیر که موجب تولید بهترین نتایج می‌شد تعیین شد (شکل ۲) و نقشه مورد نظر با متدمعمولی، پارامترهای Lag

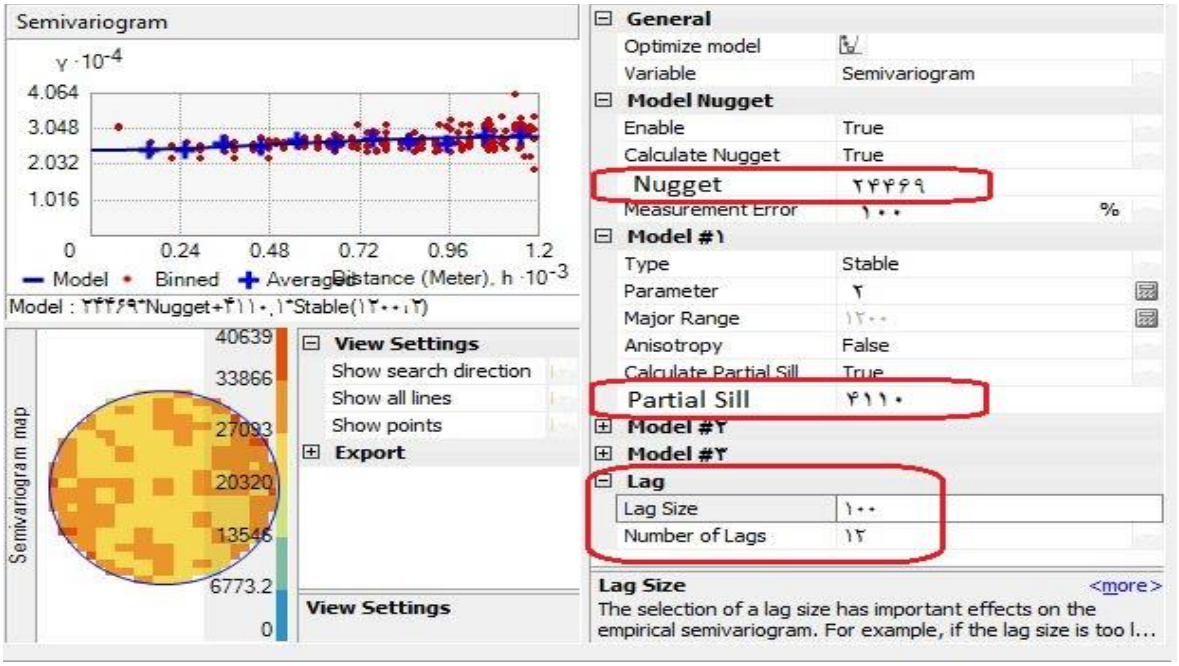
1- ForeST 2- Forest Inventory Analizer 3- Ordinary 4- Bias 5- RMSE
6- Correlation Procedure 7- Skewness 8- Kurtusis

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

size برابر ۱۰۰، Nugget برابر ۲۴۴۶۹ و Partialsill برابر ۴۱۱۰ تولید شد (شکل ۳a) و نقشه واریانس درون‌یابی حجم به‌روش کریجینگ نیز به‌دست آمد (۳b). شکل ۴a نقشه کلاسه‌بندی شده حجم سرپا به‌روش کریجینگ را نشان می دهد. بررسی نقشه تهیه شده، با قطعات نمونه کنترل زمینی (۷۳ نقطه) به‌صورت نقاط متناظر نشان داد حداقل حجم در هکتار در این قطعات نمونه ۱۱۹ مترمکعب در هکتار و حداکثر آن ۶۲۲ مترمکعب در هکتار و میانگین آن ۳۲۷/۲۴ متر مکعب بوده است. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر اریبی برابر ۰/۳۸۸، درصد اریبی برابر ۰/۱۱۸٪ و RMSE برابر۱۲۰ مترمکعب و RMSE% برابر ۳۵ درصد برای کل سری و ۲۵ الی ۳۵ درصد برای پارسل‌ها بوده است. شکل ۴b نقشه طبقه‌بندی حجم سرپای توده به‌روش میانگین حسابی و طبقه‌بندی رایج حجم سرپای توده در سازمان جنگل‌ها نشان می‌دهد.

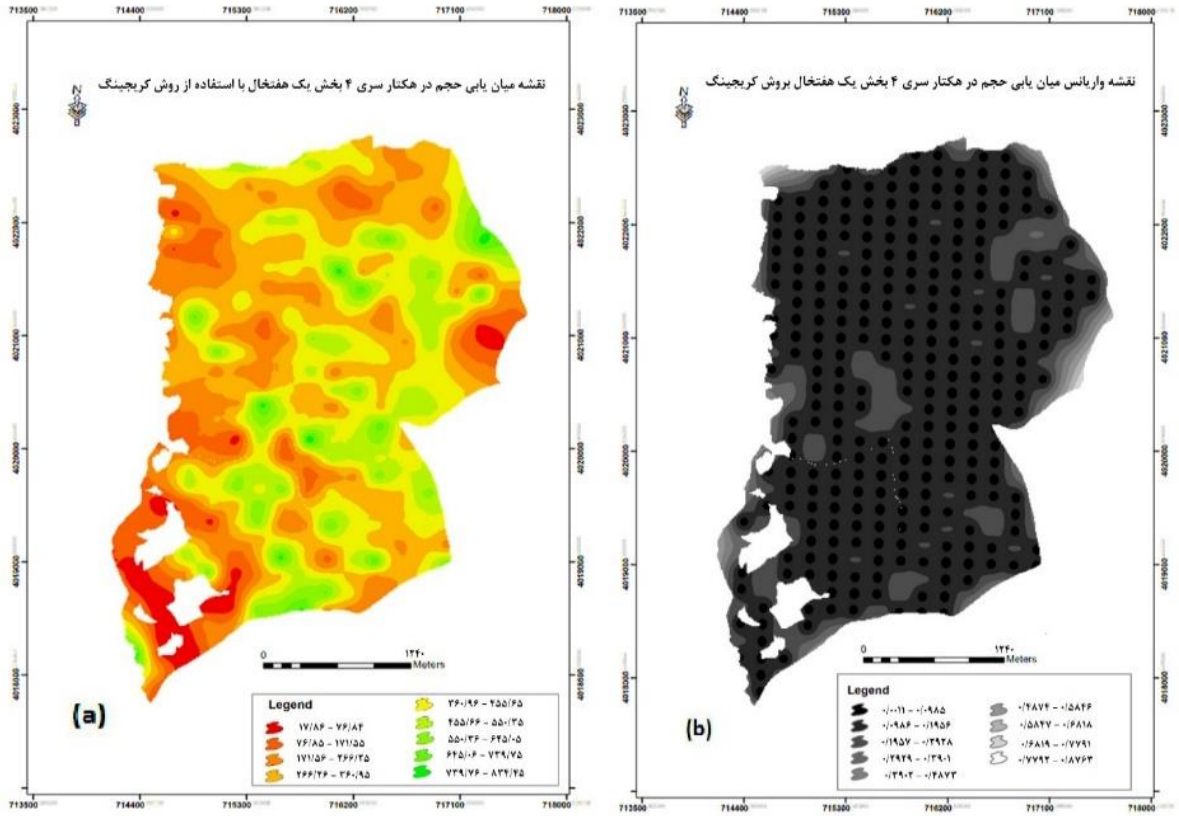
شکل ۵ نمودار مقایسه حجم و اختلاف حجم سرپای قطعات نمونه کنترل‌کننده با حجم و اختلاف حجم سرپای متناظر آن در روی نقشه‌های تولید شده به‌روش میانگین حسابی و روش کریجینگ در پارسل‌های ۱۵ و ۲۱ را برای نمونه نشان می‌دهد. که در آن، موجودی حجم سرپای هر پارسل در روش میانگین حسابی، به‌صورت خطی موازی محور X می‌باشد زیرا میانگین موجودی سرپای کلیه قطعات نمونه در یک پارسل است و اختلاف آن با موجودی سرپای قطعات نمونه کنترل زمینی، کاملاً قابل توجه است (شکل ۵c و ۵d) اما موجودی سرپای محاسبه شده در روش زمین آمار اختلاف ناچیزی با موجودی سرپای قطعات نمونه کنترل زمینی به‌عنوان شاخص سنجش دقت دارد.

آزمون بررسی همبستگی داده‌ها نشان داد که در تمامی پارسل‌ها، میزان همبستگی بین میانگین حجم سرپای قطعات نمونه کنترل زمینی و متناظر آن در روی نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ با احتمال ۹۹درصد معنی‌دار است ولی با میانگین حجم سرپای پارسل به‌روش میانگین حسابی حتی در سطح احتمال ۹۵ درصد نیز معنی‌دار نیست و اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. آزمون T-test نیز نشان داد که تشابه و تطابق میانگین حجم سرپای قطعات نمونه کنترل زمینی و متناظر آن در روی نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ با احتمال ۹۹درصد معنی‌دار است (شکل ۶a) ولی با میانگین حجم سرپای پارسل به‌روش میانگین حسابی حتی در سطح احتمال ۹۵ درصد نیز معنی‌دار نیست و اختلاف زیادی دارد (شکل ۶b).

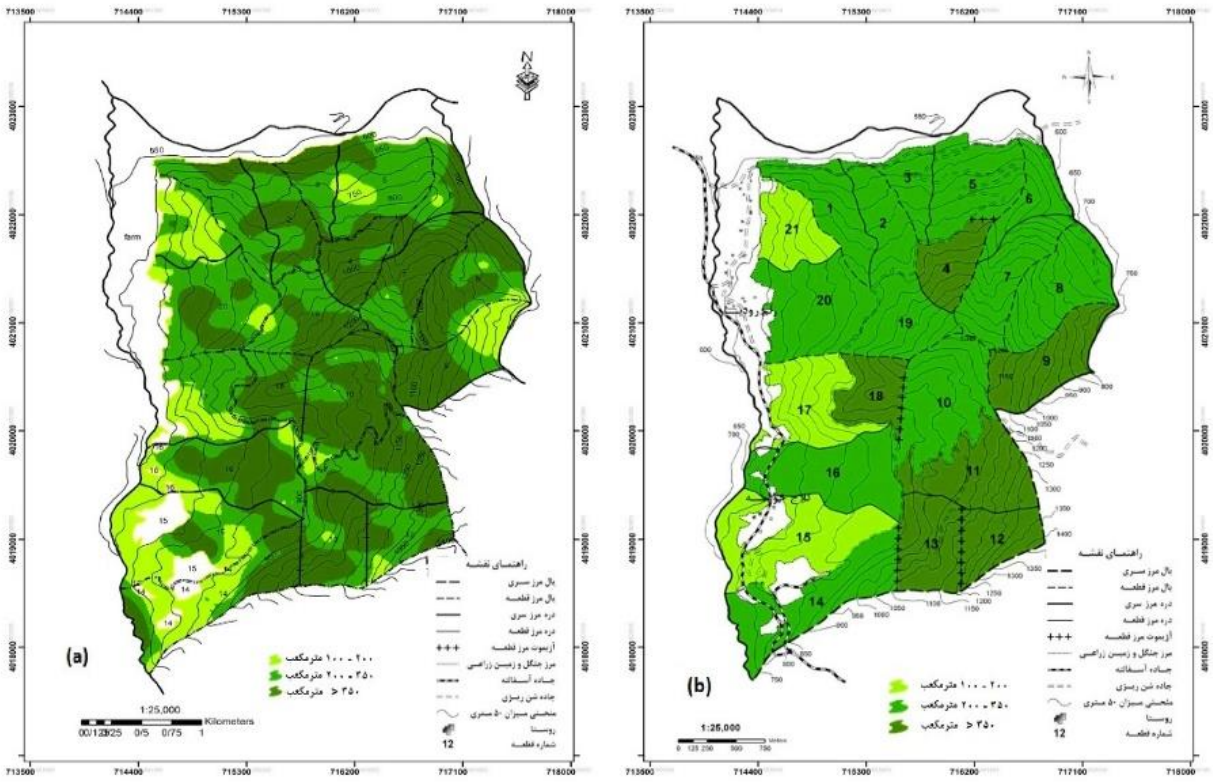


شکل ۲- منحنی سمی واریوگرام روش کریجینگ (متد ordinary، پارامترهای Lag size و Nugget و Partial sill)
Figure 2. Semivariogram of Kriging method (ordinary method, parameters Lag size, Nugget and Partial sill)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

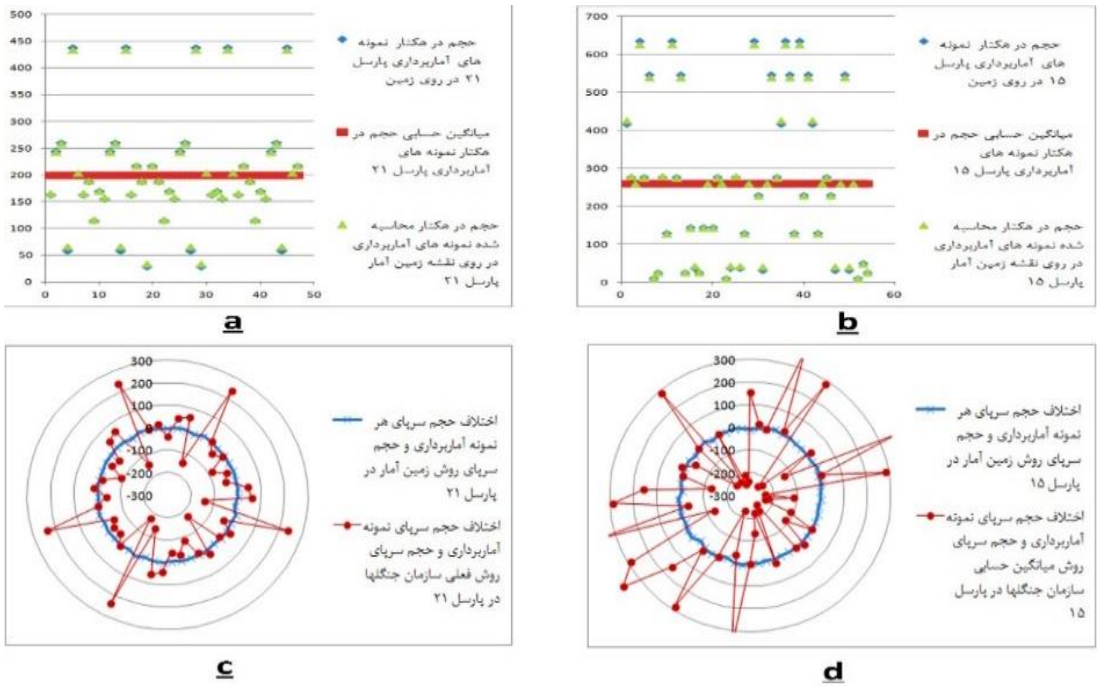


شکل ۳– نقشه درون‌یابی حجم سرپا به‌روش کریجینگ (a) و نقشه واریانس درون‌یابی حجم به‌روش کریجینگ (b)
Figure 3. Mapping of the volume of the Kriging (a) and the mapping variance of the volume of the Kriging flow (b)



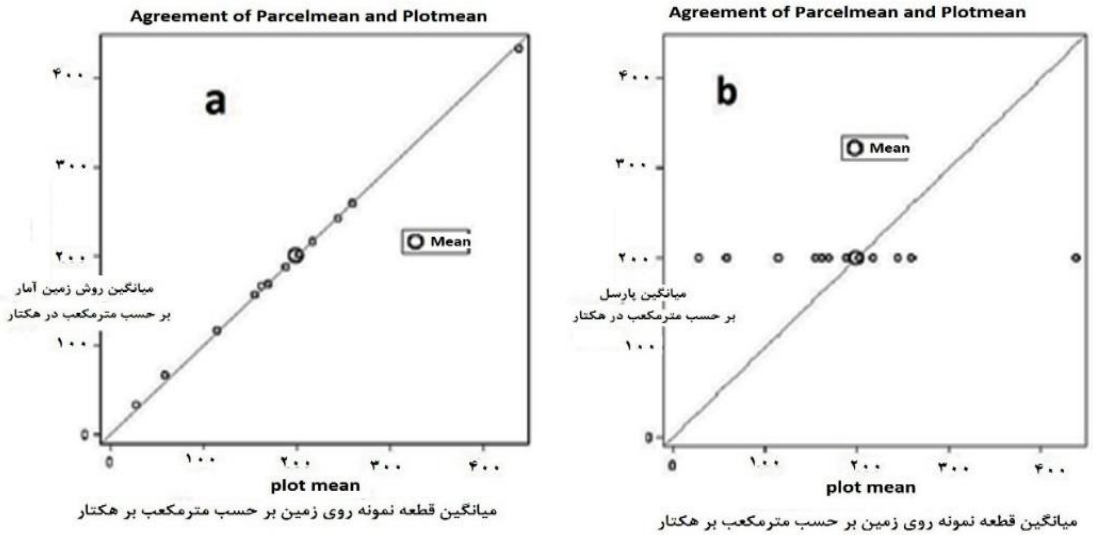
شکل ۴– نقشه کلاسه‌بندی حجم سرپا به‌روش زمین آمار کریجینگ (a) و روش میانگین حسابی (b)
Figure 4. volume class mapping by Kriging method (a) and the mean arithmetic method (b)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]



شکل ۵- نمودار مقایسه حجم و اختلاف حجم سرپای قطعات نمونه کنترل‌کننده و متناظر آن در روی نقشه میانگین حسابی حجم سرپا و روش کریجینگ. مقایسه حجم قطعات نمونه کنترل کننده در نقشه میانگین حسابی و روش کریجینگ در پارسل ۲۱ (a) و در پارسل ۱۵ (b) و مقایسه اختلاف حجم این قطعات نمونه کنترل کننده با حجم متناظر آن در نقشه میانگین حسابی و روش کریجینگ در پارسل ۲۱ (c) و در پارسل ۱۵ (d).

Figure 5. Comparison of the volume and volume difference of the controller plots and its corresponding on the mean method and the Kriging method. Comparison of the controller plots volume in the mean method and Kriging method in Parcel 21 (a) and in Parcel 15 (b Comparison of the controller plots volume difference in the mean method and Kriging method in Parcel 21 (c) and in parcel 15 (d).



شکل ۶- مقایسه میزان مطابقت حجم سرپای قطعات نمونه بر حسب مترمکعب در هکتار با حجم سرپای محاسبه شده با روش زمین آمار کریجینگ (a) و میانگین حسابی حجم توده سرپا (b) با استفاده از آزمون T-testنرم‌افزار SAS

Figure 6. Comparison of the sample volume in cubic meters per hectare with the volume calculated using the Kriging statistics (a) and the mean method (b) by using the T-test with SAS software

شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از مراکز آماربرداری، واریانس درون‌یابی حجم سرپا به‌روش کریجینگ افزایش می‌یابد. افزایش قابل ملاحظه واریانس در نقاطی اتفاق می‌افتد که در نمونه‌های زمینی کاهش چشمگیر حجم سرپا

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

صورت گیرد و یا مرکز نمونه فاقد درخت باشد. اگر تعداد مراکز نمونه‌برداری مجاور هم که فاقد درخت و یا حجم بسیار کم باشند، افزایش یابد، دقت نقشه درون‌یابی حجم سرپا به‌روش کریجینگ، کاهش می‌یابد (۱۰) و نقشه در آن منطقه، دارای خطای بیشتری خواهد بود به‌همین علت توجه به نقشه واریانس درون‌یابی حجم سرپا به‌روش کریجینگ، ضروری است. نقشه کلاسه‌بندی حجم سرپای جنگل به‌روش کریجینگ (شکل۴a) و روش میانگین حسابی (شکل ۴b) نشان‌دهنده میزان اختلاف در مرز کلاسه‌های حجمی در نقشه‌های تولید شده می‌باشد. در روش میانگین حسابی حجم سرپای توده، هر پارسل در تمام سطح دارای یک میانگین ثابت است و این موضوع یکی از مشکلات جنگل‌شناسان در مراحل تشریح جنگل و عدم تطابق کامل حجم سرپای محاسبه شده در عرصه می‌باشد. در این روش حجم سرپای قطعات نمونه محاسبه شده و با توجه به تعداد آنها در هر پارسل، میانگین موجودی حجمی محاسبه می‌گردد. به‌عبارتی نظم مکانی قطعات نمونه در این روش لحاظ نمی‌گردد و تمامی سطح پارسل از نظر موجودی حجمی، یک عدد ثابت را داراست و ارتباط پارسل‌های همجوار از لحاظ تغییرات موجودی سرپا در بسیاری از مواقع به‌صورت گسسته است در صورتی‌که مرز پارسل فقط یک خط قراردادی برای مدیریت بهتر جنگل است و در این روش با عبور از مرز پارسل به یکباره به‌صورت پلکانی کلاسه حجمی به‌میزان قابل ملاحظه‌ای ممکن است تغییر کند. در حالی‌که روش کریجینگ، هر پارسل با توجه به پیوستگی حجم سرپای توده و توزیع مکانی می‌تواند از چند کلاسه حجمی برخوردار باشد و کلاسه ثابتی نیست و با عبور از مرز پارسل، پیوستگی حجم سرپای توده حفظ می‌شود. در داخل پارسل نیز با تغییرات حجم سرپا، تغییرات در نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ نشان داده می‌شود.

نمودار مقایسه حجم و اختلاف حجم سرپای قطعات نمونه کنترل کننده با حجم و اختلاف حجم سرپای متناظر آن در روی نقشه میانگین حسابی حجم سرپا و روش کریجینگ (شکل ۵) نشان می‌دهد حجم قطعات نمونه کنترل زمینی اختلاف قابل ملاحظه‌ای با متناظر خود در روی نقشه حجم سرپا به‌روش میانگین حسابی دارد. هرچه توده دارای ناهمسالی بیشتر و غیرهمگن باشد، این اختلاف بیشتر خواهد بود. در حالی‌که حجم قطعات نمونه کنترل زمینی اختلاف کمی با متناظر خود در روی نقشه حجم سرپا به‌روش کریجینگ دارد در نتیجه نقشه کریجینگ ضمن نمایش پراکنش مکانی حجم سرپای توده، مقدار واقعی‌تری از حجم سرپای توده ارائه می‌دهد (۶). اخوان و همکاران (۵) روش زمین‌آمار کریجینگ را در توده همسال همگن مناسب دانستند و روش کریجینگ را در توده‌های ناهمسال که با دخالت‌های اعمال شده ناهمگن و ناهمسال شده بود، نامناسب دانستند (۴) اما با وجود دخالت کارشناسی شده، نرمال بودن پراکنش حجم سرپای توده ناهمسال مورد مطالعه موجب شد تا روش زمین‌آمار کریجینگ برآورد کارآمدی را تولید نماید. اعمال صحیح شیوه‌های جنگل‌شناسی در توده‌های ناهمسال سبب ممانعت از ناهمگنی ساختار توده شده و روش‌های زمین آمار در این توده‌ها می‌تواند روش کارآمد برای محاسبه حجم سرپا و مهم‌تر از آن نمایش پراکنش کلاسه‌های حجم سرپا در توده باشد (۸،۱۲،۱۷،۱۸،۲۰،۲۲) و برنامه‌ریزی و اجرای عملیات‌های آینده را دقیق‌تر نماید.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از آزمون بررسی همبستگی داده‌ها (Correlation Procedure) و آزمون T-test نیز نشان می‌دهد که تشابه و تطابق میانگین حجم سرپای قطعات نمونه کنترل زمینی و متناظر آن در روی نقشه تهیه شده به‌روش کریجینگ با احتمال ۹۹درصد معنی‌دار است (شکل ۶a) ولی با میانگین حجم سرپای پارسل به‌روش میانگین حسابی حتی در سطح احتمال ۹۵ درصد نیز معنی‌دار نیست و اختلاف زیادی دارد (شکل ۶b). به‌عبارتی، روش میانگین حسابی حجم سرپای توده که روش رایج برآورد حجم سرپا در سازمان جنگل‌ها و مراتع بوده، بدون نیاز به مقایسه با روش‌های دیگر محاسبه حجم، همبستگی و تطابق لازم با قطعات نمونه کنترل زمینی را ندارد و اختلاف معنی‌داری با حجم قطعات نمونه کنترل زمینی متناظر بر روی زمین دارد. این موضوع اهمیت زیادی در تصمیمات مدیریت جنگل و برنامه‌ریزی آینده جنگل دارد و می‌تواند سبب اتخاذ تصمیمات نادرست برای آینده توده شود. اما درون‌یابی حجم سرپا به‌روش کریجینگ تفاوت معنی‌داری با حجم قطعات نمونه کنترل زمینی ندارد و برآورد کننده بهتری برای توده جنگلی است و با نتایج تحقیقات عباسی و همکاران (۱)، احدی و همکاران (۳)، اخوان و همکاران (۵)، فریمن و مویسن (۱۱)، فخیره و زیلایی (۹) مطابقت دارد اما با نتایج تحقیقات)، اخوان و همکاران (۴) مغایرت دارد. البته نیاز به بررسی روش‌های دیگر درون‌یابی حجم نظیر IDW ،Spline و مقایسه آن با روش کریجینگ توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، تمرکز مطالعه بر روش‌های تجزیه پس از آماربرداری در جنگل بوده است و در شدت آماربرداری هیچ تغییری نسبت به‌روش میانگین حسابی صورت نگرفته است زیرا هدف، بهینه‌سازی تجزیههای پس از آماربرداری بوده است. یکی از مشکلات جنگل‌شناسان در مراحل تشریح جنگل، عدم تطابق کامل حجم سرپای محاسبه‌شده در روش میانگین حسابی (روش فعلی سازمان جنگل‌ها و مراتع) است و به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل آن نحوه تجزیههای پس از آماربرداری‌است. در روش میانگین حسابی حجم سرپای توده، حجم سرپای قطعات نمونه محاسبه شده و با توجه به تعداد آنها در هر پارسل، میانگین موجودی حجمی محاسبه می‌شود و نظم مکانی قطعات نمونه در این روش لحاظ نمی‌گردد و تمامی سطح پارسل از نظر موجودی حجمی، یک عدد ثابت را داراست و ارتباط پارسل‌های همجوار از لحاظ تغییرات موجودی سرپا در بسیاری از مواقع به‌صورت گسسته بوده و افزایش و یا کاهش پله‌ای حجم در قطعات مجاور دیده می‌شود در صورتی‌که در طبیعت اینگونه نیست. در روش‌زمین آمار کریجینگ برای محاسبه موجودی حجمی سرپا علاوه برحجم سرپای هر قطعه نمونه، روابط مکانی بین قطعات نمونه نیز لحاظ می‌شود و با درون‌یابی اطلاعات موجودی سرپای بین نمونه‌های آماری، تغییرات آن بین قطعات نمونه با توجه به نظم مکانی در نظر

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

گرفته می‌شود. تغییرات موجودی حجمی بین نمونه‌های آماری پیوسته است و حتی این تغییرات از پارسلی به پارسل دیگر حفظ می‌گردد. این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از میانگین حسابی حجم در هکتار قطعات نمونه به‌تنهایی نمی‌تواند اطلاعات دقیقی در مورد پارسل ارائه دهد و نیاز به بررسی روابط مکانی قطعات نمونه نیز بسیار مهم است و نقشه تهیه شده به‌روش زمین آمار کریجینگ دقت بیشتری دارد و می‌توان از آن به‌عنوان نقشه‌هایی با دقت بالاتر استفاده نمود. با توجه به اینکه داده‌ها وارد نرم‌افزار FIA می‌شود، سهولت محاسبات و تهیه نقشه پهنه‌بندی موجودی حجم سرپا، افزون بر دقت بالا، دید بهتری از موجودی منطقه و وضعیت آن به جنگل‌شناس می‌دهد. البته تحقیقات بیشتر در زمینه مقایسه دقت روش‌های گوناگون زمین‌آمار و درون‌یابی داده‌ها در این زمینه ضروری می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این گروه تحقیق از شرکت نکاچوب جهت ارائه اطلاعات GIS و اکیپ صحرایی آماربرداری جنگل تشکر می‌نماید همچنین از کارشناسان دفتر خدمات فنی سازمان جنگل‌ها و مراتع مستقر در چالوس جهت طراحی شبکه آماربرداری و تجزیه حجم منطقه مورد مطالعه قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Abbasi, Y., F. Mirzaei and T. Sohrabi. 2018. Exploring distribution of heavy metals in wastewater-irrigated agricultural soil using kriging method and Hydrus model. Health and environment Journal, 11(3): 351-364 (In Persian).
2. Aertsen, W., V. Kint, K. Von Wilpert, D. Zirlewagen, B. Muys and J. Van Orshoven. 2012. Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. Forestry, 85(4): 539-550.
3. Ahadi, Z., S.J. Alavi and S.M. Hoseini. 2017. Preparation of the map of eastern beech area production using Kriging and reverse weighted distances. Forest and Wood Products, 70(1): 93-102 (In Persian).
4. Akhavan, R., M. Zobeiri, G.h. Zahedi, M. Namiranian and D. Mandallaz. 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal Natural Resource, 59(1): 89-102 (In Persian).
5. Akhavan, K., M. Karami and J. Soosani. 2009. Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests. Iranian Journal of Forest, 3(4): 303-318 (In Persian).
6. Akhavan, R., H. Kia-Daliri, V. Etemad, M. Hassani and Kh. Mirakhorlou. 2014. Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(2): 188-203 (In Persian).
7. Asakereh, H. 2008. Application of the Kriging method in precipitation modification. Geography and Development Magazine, (12): 25-42 (In Persian).
8. Biondi, F., D.E. Myers and C.C. Avery. 1994. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. Canadian Journal of Forest Research, 24: 1354-1368.
9. Fakhire, A. and M. Najafi Zilaie. 2014. Comparison of Different Kriging Methods to Estimate the Tree Density, 20(7): 204-212 (In Persian).
10. Fazelnia, G., Y. Hakimodost and Y. Balyani. 2014. Comprehensive Guide to GIS Application Models in Urban, Rural and Environmental Planning (Vol. I). Azadeh Pima Publishing. Zabol, 249 pp (In Persian).
11. Freeman, E.A. and G.G. Moisen. 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. Environmental Monitoring and Assessment, 128: 395-410.
12. Gunnarsson, F., S. Holm, P. Holmgren and T. Thuresson. 1998. On the potential of kriging for forest management planning. Scandinavian Journal of Forest Research, 13: 237-245.
13. Houlong, J., W. Daibin, X. Chen, L. Shuduan, W. Hongfeng, Y. Chao, L. Najia, C. Yiyin and G. Lina. 2016. Comparison of kriging interpolation precision between grid sampling scheme and simple random sampling scheme for precision agriculture. Eurasian Journal Soil Science, 5(1): 62-73.
14. kravchenko, A. and D.G. Bullok. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. Agron Journal, 91: 393-400.
15. Lu, G.Y. and D.W. Wong. 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers and Geosciences, 34: 1044-1055.
16. Meng, Q., C. Cieszewski and M. Madden. 2009. Large area forest inventory using Landsat ETM+: a geostatistical approach. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(1): 27-36.
17. Montes, F., M.J. Hernandez and I. Canellas. 2005. A geostatistical approach to cork production sampling in Quercus suber forests. Canadian Journal of Forest Research, 35: 2787-2796.
18. Pierce Jr, K.B., J.L. Ohmann, M.C. Wimberly, M.J. Gregory and 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.
19. Robinson, T.P. and G. Metternicht. 2005. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and Electrnics in Agric, 50: 97-108.
20. Samra, J.S., H.S. Gill and V.K. Bhatia. 1989. Spatial stochastic modeling of growth and forest resource evaluation. Forest Science, 35: 663-676.
21. Symeonakis, E., R. Bonifacio and N. Drake. 2009. A comparison of rainfall estimation techniques for sub-saharan Africa, International journal of applied earth observation and geoinformation, 1(11).
22. Tuominen, S., S. Fish and 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.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]

Investigating of Kriging Geostatistic Method Capability for Forest Stand Volume Zoning (Case Study: Haftkhal Area)

Alireza Hosseinpour[1], Asghar Fallah[2], Maryam Niknejad [3] , Mohammad Hejazian[4] and Siavash Kalbi[5]

1- PhD Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources (Corresponding author: rhoseinpour88@gmail.com)
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- PhD Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
4- PhD Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
5- PhD Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 11 June, 2018 Accepted: 20 October, 2019

Extended Abstract

Introduction and Objective: Due to the difficulty of this process, determining the volume inventory of the forest is one of the most fundamental objectives and duties of forest management. It has always been connected to difficulties for the department in charge of implementation. Mapping of forest stand volume has an important role in sustainable forest management. In Iran's north forestry plans, the systematic random sampling method and arithmetic average method is used to estimate the stand volume and spatial relationships between inventory sample plots will not be considered. The aim of this study is to compare kriging method and ordinary one used to map stand volume of Haftkhal forestry plan.

Material and Methods: For this purpose, we used 243 circular sample plots with 10R area and 150×200 meter grid (Forestry Department standard in Iran) for inventory.

To evaluate the performance of the kriging-method-created map the approach of poisonous variograms, histograms, and their indices was first used as the referential map to determine whether the data were normal. The best parameters of Lag Size, Nugget, and Partial Sill were then tested using the remaining points and the conventional approach to create the necessary kriging map using 30% of the sample pieces (73 sample pieces) randomly separated as ground control points. Finally, the ideal mode was decided upon. The produced map was then verified using ground control sample pieces (73 sample pieces), and the amount of difference was measured by comparing the head volumes of the control sample pieces and those calculated using the Kriging method as corresponding points.

Results: Map produced by the arithmetic mean method (ordinary method of Forestry Department) and maps of Kriging method was compared. Accuracy of kriging map was controlled by using ground samples plots. The results showed that Root Mean Square error (RMSe) of the best model was 30 percent and Bias was 0.11 percent. Using SAS software showed the correlation coefficient between kriging map and ground sample plots and corresponding relationship was at the level of 99 percent, but the correlation between arithmetic mean method was not corresponded even in 95% probability level. T-test, using this software, also showed similar results.

Conclusion: In conclusion, Kriging capability is superior to conventional methods for estimating forest stand volume.

Keywords: Inventory grid, Interpolation, Kriging, Sample plot, Stand volume

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.1.8]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.120]