جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۰، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶
ص ۹۳-۱۰۲

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش شرقی با استفاده از دو روش کریجینگ و معکوس فاصلهٔ وزنی (مطالعهٔ موردی: جنگل پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس)

زهرا احدی[۱]، سید جلیل علوی[۲*]، سید محسن حسینی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲. استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳. استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

چکیده

تهیهٔ نقشهٔ متغیرهای کمّی جنگل، امری اجتناب‌ناپذیر در مدیریت و بهره‌برداری پایدار اکوسیستم جنگلی است. نقشهٔ توان تولید جنگل، پتانسیل رویشگاه را در زمینهٔ مواردی همانند تولید چوب، ترسیب کربن و غیره نشان می‌دهد و به‌طور معمول معرف شاخص توان تولید یک گونهٔ خاص است. با توجه به گستردگی سطح جنگل‌های شمال کشور و کوهستانی بودن عرصه‌ها، امکان صرف زمان و هزینهٔ زیاد و آماربرداری صددرصد برای تهیهٔ نقشه‌های دقیق وجود ندارد. ازاین‌رو یافتن روش مناسب برای تهیهٔ نقشهٔ ویژگی‌های کمّی جنگل‌ها ضروری است. تحقیق حاضر در زمینهٔ تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش با استفاده از دو روش کریجینگ معمولی و معکوس فاصلهٔ وزنی در جنگل دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم، از ۱۲۳ قطعه نمونهٔ دایره‌ای با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در توده‌هایی که در آنها گونهٔ راش غالب بود استفاده شد. نتایج بررسی حاضر نشان می‌دهد با توجه به معیارهای میانگین خطا (OK=-۰/۰۳۶، IDW=-۰/۱۹۲)، میانگین قدرمطلق خطا (OK=۱/۵۹۸، IDW=۱/۷۴۹)، مجذور میانگین مربعات خطا (OK=۲/۰۵۳، IDW=۲/۲۲۳) و معیارهای نسبی میانگین خطا (OK=۰/۱۰۴، IDW=۰/۵۵۳) و مجذور میانگین مربعات خطا (OK=۵/۹۰۶، IDW=۶/۳۹۳)، روش کریجینگ عملکرد بهتری دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که روش زمین‌آماری کریجینگ قادر به تبیین تغییرهای مکانی توان تولید در منطقهٔ تحقیق است و می‌تواند نقشهٔ پهنه‌بندی آن را با صحت مناسب تولید کند.

واژگان کلیدی: توان تولید، درون‌یابی، راش، کریجینگ، معکوس فاصلهٔ وزنی.

مقدمه و هدف

در یک برنامه‌ریزی اصولی و درست به‌منظور مدیریت صحیح و بهره‌برداری پایدار اکوسیستم جنگلی به اطلاعاتی از وضعیت کمّی و کیفی جنگل‌ها نیاز است؛ ازاین‌رو تهیهٔ نقشه‌های متغیرهای کمّی جنگل، اجتناب‌ناپذیر است و به مدیریت پایدار جنگل بسیار کمک می‌کند [۱، ۲]. ارزیابی توان تولید رویشگاه‌های جنگلی نیز مقولهٔ بسیار مهمی در این زمینه است و آن عبارت است از ارائهٔ شاخصی که پتانسیل رویشگاه را در کارکردهای مختلف جنگل همانند تولید چوب، ترسیب کربن، حفظ خاک، کنترل سیلاب، حفظ تنوع زیستی و تأمین آب نشان می‌دهد [۲]. با توجه به گستردگی جنگل‌های شمال کشور و کوهستانی بودن عرصه ها، صرف زمان و هزینهٔ زیاد و آماربرداری صددرصد

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷
Email: j.alavi@modares.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

برای تهیهٔ نقشه‌های دقیق و صحیح ممکن نیست. در این میان انتظار می‌رود استفاده از روش زمین‌آمار که در برآورد متغیرهای جنگل از ارتباط مکانی تغییرها براساس نمونه‌های برداشت‌شده استفاده می‌کند، نتایج بهتری نسبت به روش‌های معمول کلاسیک ارائه کند [۲].

در خصوص استفاده از روش‌های زمین‌آمار به‌منظور پهنه‌بندی منابع جنگلی، پژوهش‌های متعددی در جهان انجام گرفته است. ماندالاز (۲۰۰۰) کاربرد زمین‌آمار را در آماربرداری جنگل بررسی کرد [۳]. لی‌وایز (۲۰۰۵) از تلفیق زمین‌آمار و سنجش از دور به‌منظور بررسی ویژگی‌های جنگل در ویتنام استفاده کرد [۴]. فریمن و مویسن (۲۰۰۷) استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ را به‌عنوان ابزاری برای بهبود نقشه‌های زی‌تودهٔ جنگل ارزیابی کردند [۵]. فلورس و همکاران (۲۰۰۸) به استفاده از فنون زمین‌آمار برای تعیین نقشهٔ برخی ویژگی‌های جنگل در ایالت چی‌واوا در مکزیک پرداختند [۶]. منگ و همکاران (۲۰۰۹) روش‌های زمین‌آماری را برای پیش‌بینی مشخصه‌های جنگل همانند رویهٔ زمینی، ارتفاع، اوضاع سلامت و زی‌توده در جورجیای غربی در آمریکا به‌کار گرفتند [۷]. اخوان و کیادلیری (۲۰۱۰) به بررسی تغییرپذیری و تخمین ویژگی‌های درختان دست‌کاشت با استفاده از روش زمین‌آمار در سواحل دریای خزر پرداختند [۸]. آرتسن و همکاران (۲۰۱۲) در بلژیک، پنج روش تهیهٔ نقشه شامل کریجینگ معمولی، رگرسیون و سه روش هیبرید را برای شاخص رویشگاه برای دو گونهٔ درختی مهم (بلوط و راش) مقایسه کردند [۲]. از تحقیق‌های داخلی در خصوص مطالعهٔ حاضر می‌توان به موارد زیر اشاره داشت. فخیره و نجفی زیلایی (۲۰۱۴) برای برآورد تراکم درختان در جنوب غرب ایران از روش درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند [۹]. اخوان و کلاین (۲۰۰۹) و اخوان و همکاران (۲۰۱۲ و ۲۰۱۴) از روش‌های کریجینگ و IDW به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ ویژگی‌های ساختاری جنگل‌ها استفاده کردند [۱، ۱۰، ۱۱].

اهمیت جنگل‌های خزری و به‌خصوص گونهٔ راش که از فراوان‌ترین و اقتصادی‌ترین گونه‌های پهن‌برگ در این جنگل‌هاست، ایجاب می‌کند که همواره اطلاعات دقیقی از آنها تهیه و تغییرهای آنها بررسی شود. از طرف دیگر ازآنجا که اجرای جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت به‌منظور حفاظت و نگهداری از جنگل‌های شمال کشور لازم و ضروری است و هنوز هم بخش‌های زیادی از این جنگل‌ها فاقد طرح جنگلداری‌اند، باید هرچه سریع‌تر تحت پوشش مدیریت قرار گیرند [۱۱]. ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر، تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش شرقی با استفاده از روش درون‌یابی معکوس فاصلهٔ وزنی و کریجینگ در یک جنگل آمیخته و ناهمسال راش است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

تحقیق حاضر در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته است. منطقهٔ تحقیق بین عرض جغرافیایی "۳۶°۲۹'۲۳ تا "۳۶°۳۲'۵۶ شرقی و طول جغرافیایی "۵۱°۴۳'۲۰ تا "۵۱°۴۷'۳۹ شمالی قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۷۵۰- ۱۵۰ متر است. مقدار بارندگی در این ناحیه ۱۳۰۸ میلی‌متر در سال است. میانگین دمای سالانه برابر با ۱۵/۹ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است. تیپ جنگل در منطقهٔ تحقیق آمیخته است. به‌طور میانگین گونهٔ راش حدود ۵۰ درصد از کل حجم سرپا و حدود ۴۰ درصد از کل تعداد درختان را به خود اختصاص داده است [۱۲].

روش پژوهش

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم از ۱۲۳ قطعه نمونهٔ دایره‌ای ۱۰ آری به روش منظم تصادفی در شبکه‌ای به ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر در سطحی حدود ۲۰۰ هکتار استفاده شد. پس از پیاده کردن قطعه‌های نمونه در جنگل، قطر برابرسینه و همچنین ارتفاع کامل تمام درختان راش با قطر بیشتر از ۷/۵

Archive of SID

www.SID.ir

سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. روش‌های بسیاری برای برآورد توان تولید یا کیفیت رویشگاه وجود دارد که می‌توان به استفاده از شاخص‌های تنوع زیستی، گیاهان شاخص، بررسی خاک، تجزیهٔ برگ و لاشبرگ، وضعیت ظاهری توده و شاخص رویشگاه اشاره داشت [۱۲]. روش معمول برای ارزیابی کیفیت رویشگاه برای توده‌های همسال، شاخص رویشگاه است. با توجه به اینکه در توده‌های ناهمسال و آمیخته، شاخص رویشگاه نمی‌تواند معرف خوبی برای بیان کیفیت رویشگاه باشد، فرم رویشگاه که ارتفاع درختان در یک توده در یک قطر مرجع (قطر هدف) است، به‌عنوان معیار مطمئن‌تر برای ارزیابی کیفیت رویشگاه معرفی شد [۱۲]. در مطالعهٔ حاضر، شاخص توان تولید رویشگاه راش براساس میانگین ارتفاع و قطر برابرسینهٔ گونه راش در هر قطعه نمونه در قطر هدف (۷۵ سانتی‌متر) بنابر مطالعهٔ صورت‌گرفته در جنگل دانشگاه تربیت مدرس محاسبه شد [۱۲].

روش زمین‌آماری کریجینگ

در زمین‌آمار فرض بر این است که نمونه های انتخاب‌شده از جامعه مستقل نیستند، بلکه تا فاصلهٔ معینی به صورت مکانی نسبت به هم وابستگی دارند. به‌طور کلی زمین‌آمار شامل دو بخش اصلی واریوگرافی و کریجینگ است. در واریوگرافی از سه مؤلفه برای تشریح و مدلسازی رفتار واریوگرام استفاده می‌شود: دامنهٔ تأثیر، حد آستانه یا سقف، و اثر قطعه ای دامنهٔ تأثیر حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی دیگر وجود ندارد و واریوگرام به مقدار ثابتی می‌رسد [۱۱]. نکتهٔ حائز اهمیت در واریوگرافی، بررسی وجود علائم ناهمسانگردی در واریوگرام است. در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی ناهمسانگردی از Rose plot استفاده شده است. این پلات، ابزاری بسیار مفید در شناسایی جهت و بزرگی مقدار ناهمسانگردی است و مقدار دامنه را در جهت‌های تعریف‌شده، براساس واریوگرام انتخاب‌شده، نمودار می‌کند. برای بیان شدت یک ساختار مکانی از معیار نسبت واریانس ساختاردار به آستانه استفاده شد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی ضعیف است؛ در نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط است و در نسبت بزرگ‌تر از ۰/۷۵، ساختار مکانی قوی است [۱۱]. پس از بررسی ساختار مکانی، باید به درون‌یابی به روش‌های مختلف برای ویژگی‌های مورد بررسی که دارای ساختار مکانی مناسب هستند، اقدام شود.

کریجینگ یکی از روش‌های بسیار مناسب و پیشرفتهٔ درون‌یابی است که می‌تواند براساس مدل برازش داده‌شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری‌نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند [۱، ۱۱]. قبل از درون‌یابی به روش کریجینگ باید یک مدل نظری بر واریوگرام تجربی برازش داده شود. مدل‌های متفاوتی به‌این منظور وجود دارند که می‌توان به مدل‌های کروی، نمایی و گوسی اشاره کرد. در بررسی حاضر، با استفاده از معیارهای حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها و معیار اطلاعاتی آکائیک در بستهٔ آماری nlme در نرم‌افزار آماری R، مدل مناسب انتخاب شد [۱۳].

روش معکوس فاصلهٔ وزنی یا IDW یکی از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی است. فرض اساسی در این روش آن است که با افزایش فاصله، مقدار تأثیر مشخصه‌ها کاهش می‌یابد. برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آنها اندازه‌گیری نشده است از مقادیر اندازه‌گیری‌شده پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش‌بینی، عامل وزن براساس فاصلهٔ نقاط از یکدیگر تعیین می‌شود. به‌عبارتی، به نقاط نزدیک به نقطهٔ برآورد وزن بیشتری داده می‌شود تا به نقاط دورتر و با گرفتن میانگین از آنها، ارزش نقطهٔ مجهول برآورد می‌شود [۱۰]. در این روش اغلب توانی برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که متناسب با نیاز و ماهیت اطلاعات و تغییرهای فضایی مقدار آن، باید مقدار تعیین شود. در بررسی حاضر، به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین توان از روش اعتبارسنجی متقابل 10-fold و با ۲۰ تکرار از تابع estimateParameters در بستهٔ intamap استفاده شد.

Archive of SID

www.SID.ir

ارزیابی صحت برآوردها

روش‌های تهیهٔ نقشه در این بررسی براساس روش اعتبارسنجی متقابل 10-fold بررسی و ارزیابی شده است. در این روش کل داده‌ها به ۱۰ قسمت تقسیم شده و هر بار یکی از این قسمت‌ها به‌منظور اعتبارسنجی کنار گذاشته می‌شود و با ۹ قسمت دیگر مدلسازی صورت می‌گیرد. روش‌های تهیهٔ نقشه با استفاده از آماره‌های میانگین خطا (ME)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، مقادیر نسبی میانگین خطا (ME_r) و مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE_r$) ارزیابی شدند. این معیارها نشان می‌دهند که بین مقدار برآوردشده و مشاهده‌شده چقدر اختلاف وجود دارد. چنانچه مقدار این معیارها برابر با صفر باشد نشان‌دهندهٔ آن است که مقادیر نمونه خوب برآورد شده است. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌های مرتبط با کریجینگ، معکوس فاصلهٔ وزنی و تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش شرقی در نرم‌افزار آماری R نسخهٔ ۳.۱.۱ [۱۴] و بستهٔ gstat انجام گرفت [۱۵].

نتایج و بحث

اطلاعات اولیهٔ آماری شاخص توان تولید رویشگاه راش شرقی مانند میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار و ضریب تغییرات در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انجام درون‌یابی به روش کریجینگ بهتر است داده‌ها نرمال باشند. با بررسی وضعیت توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری Shapiro-Wilk (W = 0.9884, p-value = 0.3836) و Kolmogorov-Smirnov (D = 0.0573, p-value = 0.4145) مشاهده شد که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

تحلیل همبستگی مکانی

یک‌سوم حداکثر فاصلهٔ بین نقاط نمونه‌برداری (۸۰۰ متر) به‌عنوان حداکثر فاصلهٔ مجاز به‌منظور رسم واریوگرام در نظر گرفته شد [۱۶]. با آزمون و خطا، فاصلهٔ ۱۰۰ متر نوان مبنا برای گام در نظر گرفته شد. به‌کارگیری معیارهای حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها و معیار اطلاعاتی آکائیک نشان داد که مدل کروی کمترین مقدار را داشت و به‌عنوان بهترین مدل واریوگرام نظری انتخاب شد. در شکل ۱(الف)، واریوگرام همسانگرد برای مدل کروی ارائه شده است. نکتهٔ مهم در واریوگرافی، بررسی وجود علائم ناهمسگردی در واریوگرام است. به‌کارگیری Rose plot نشان داد که دامنهٔ واریوگرام برای جهت‌های مختلف (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵) متفاوت است که حاکی از وجود ناهمسانگردی است (شکل۲). برای تصحیح ناهمسانگردی باید نسبت ناهمسانگردی تعیین شود که این نسبت از تقسیم دامنهٔ بزرگ به دامنهٔ کوچک در Rose plot محاسبه می‌شود. در جدول ۲ مشخصه‌های واریوگرام همه‌جهته یا همسانگرد و مدل کروی استفاده‌شده، ارائه شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود در صورت در نظر گرفتن همسانگردی، شاخص توان تولید از ساختار مکانی قوی برخوردار است و به‌عنوان یک متغیر ناحیه‌ای رفتار می‌کند.

جدول ۱. اطلاعات اولیهٔ آماری شاخص توان تولید رویشگاه راش شرقی

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شاخص توان تولید (متر)	۳۴/۷۷	۲۹/۲۵	۳۹/۶۶	۲/۳۱	٪۶/۶۴

جدول ۲. مشخصه‌های واریوگرام همسانگرد و مدل کروی برازش‌شده به آن

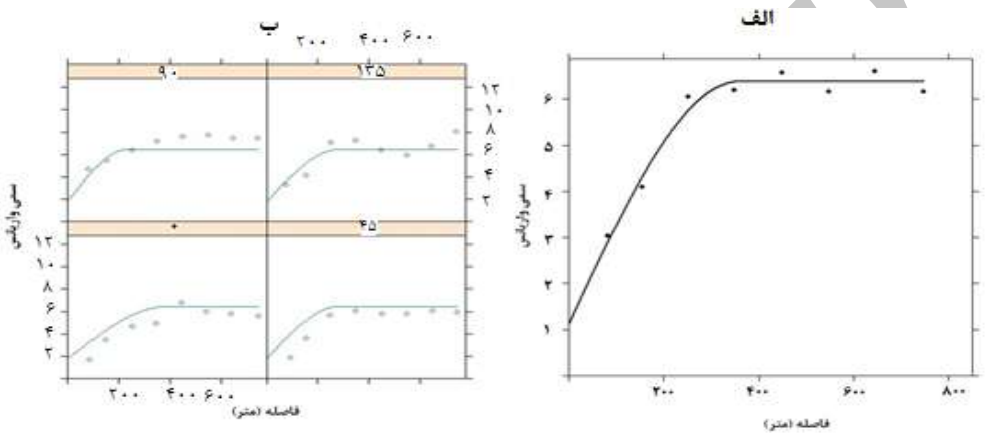
متغیر	طول گام (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنهٔ تأثیر (متر)	ساختار مکانی
شاخص توان تولید (متر)	۱۰۰	۱/۱۲	۶/۳۸	۳۵۶/۸۶	٪ ۸۳ (قوی)

۱۰۰ × {حد آستانه / (اثر قطعه‌ای – حد آستانه)} = درصد ساختار مکانی

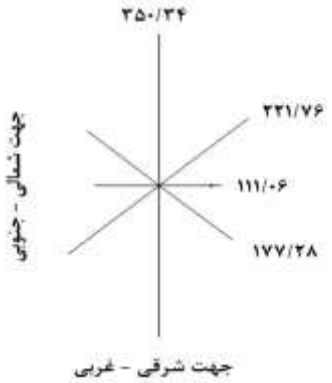
Archive of SID

www.SID.ir

چنانچه ناهمسانگردی تصحیح شود، مشخصه‌های واریوگرم تا حدودی تغییر می‌کند که نتایج آن در جدول ۳ و شکل ۱ (ب) نشان داده شده است. مقدار دامنه از ۳۵۷ متر به ۳۹۱ متر افزایش یافته و درصد ساختار مکانی از ۸۳ درصد به ۷۳ درصد تقلیل یافته است. با وجود این، از ساختار مکانی تقریباً قوی برخوردار است و می توان از آن در برآورد کریجینگ استفاده کرد. اخوان و کلاین [۲]، نشان دادند که مؤلفه‌های ساختار جنگل (تعداد در هکتار، رویه زمینی و ارتفاع) همسانگرد بوده و مستقل از جهت هستند که از این جنبه، نتایج تحقیق آنها با پژوهش حاضر مغایرت دارد. به‌منظور تولید نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش از روش کریجینگ معمولی با بلوک‌های ۳۲×۳۲ متر استفاده شد تا با مساحت قطعه نمونه (۱۰۰۰ متر مربع) هماهنگی داشته باشد. نتایج کمّی تخمین به روش کریجینگ در جدول ۴ نشان داده شده است. در شکل ۳ (الف) نیز نقشهٔ برآورد کریجینگ ارائه شده است.



شکل ۱. واریوگرام همسانگرد (الف) و ناهمسانگرد (ب) و مدل کروی برازش داده‌شده به شاخص توان تولید



شکل ۲. Rose plot برای شاخص توان تولید رویشگاه راش شرقی

جدول ۳. مشخصه‌های واریوگرام ناهمسانگرد و مدل کروی برازش‌شده به آن

متغیر	طول گام (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنهٔ تأثیر (متر)	ساختار مکانی
شاخص توان تولید (متر)	۱۰۰	۱/۷۵	۶/۴۶	۳۹۰/۹۹	٪۷۳ (تقریباً قوی)

جدول ۴. نتایج کمی درون‌یابی کریجینگ

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شاخص توان تولید (متر)	۳۴/۵۴	۳۱/۳۴	۳۸/۸۵	۰/۶۷	٪ ۱/۹۴

Archive of SID
www.SID.ir

در خصوص دامنهٔ تأثیر باید اشاره داشت که هرچه دامنه کوچک‌تر باشد، فواصل نمونه‌برداری را باید کوچک‌تر انتخاب کرد. این موضوع نشان می‌دهد که در طراحی شبکهٔ آماربرداری برای بررسی این ویژگی‌ها در آینده باید فاصلهٔ قطعه‌های نمونه به چه اندازه باشند [۱۰]. برای ویژگی شاخص توان تولید، دامنهٔ تأثیر ۳۹۱ متر محاسبه شد؛ به‌عبارت دیگر، شاخص توان تولید تا فاصلهٔ ۳۹۱ متر دارای وابستگی مکانی است و از این فاصله به بعد، نمونه‌ها مستقل از هم خواهند بود. بر این اساس می‌توان ابعاد شبکهٔ آماربرداری را مطابق با واریانس جامعه طراحی کرد، به‌طوری‌که فاصلهٔ نمونه‌برداری برابر با طول دامنهٔ تأثیر باشد. اخوان و کلاین [۲]، پیشنهاد کردند که دوسوم طول دامنهٔ تأثیر به‌عنوان فاصلهٔ مناسب نمونه‌برداری در نظر گرفته شود. با تعدیل فاصلهٔ شبکهٔ نمونه‌برداری می‌توان ناهمسانگردی را به‌حساب آورد، به‌طوری که در جهت حداکثر تغییرها، شدت نمونه‌برداری بیشتر است. ازآنجا که در این بررسی شاخص توان تولید دارای ناهمسانگردی است، توصیه می‌شود از شبکهٔ مستطیلی برای بررسی تغییرهای آنها در عرصه‌های جنگلی استفاده شود؛ بنابراین در بررسی حاضر، با در نظر گرفتن دوسوم طول دامنهٔ تأثیر و شکل ۱ (ب)، ابعاد مناسب شبکهٔ نمونه‌برداری برای شاخص توان تولید حدود ۲۵۰ متر در جهت شمالی – جنوبی و ۱۵۰ متر در جهت شرقی – غربی پیشنهاد می‌شود.

در خصوص مقادیر سقف واریوگرام، باید گفت که هرچه این مقدار بیشتر باشد، تغییرپذیری نیز بیشتر خواهد بود. هرچه اثر قطعه‌ای کمتر باشد، ساختار مکانی ویژگی مورد بررسی بیشتر و درنتیجه کاربرد زمین‌آمار مناسب‌تر است و نتایج دقیق‌تری ارائه می‌شود. اخوان و کیادلیری [۸] نشان دادند که متغیرهای سطح مقطع و ارتفاع درختان ساختار مکانی بالایی دارند. ازآن‌جا که معیار توان تولید در این بررسی، به ارتفاع درختان راش در قطر مرجع اشاره دارد، می‌توان گفت با نتایج این پژوهش تطابق دارد. اخوان و کلاین [۲]، در بررسی ویژگی‌های رویهٔ زمینی، تعداد در هکتار و ارتفاع کل نشان دادند که واریوگرافی حاصل از متغیرهای رویهٔ زمینی و ارتفاع کل از ساختار مکانی مناسبی برخوردار بوده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

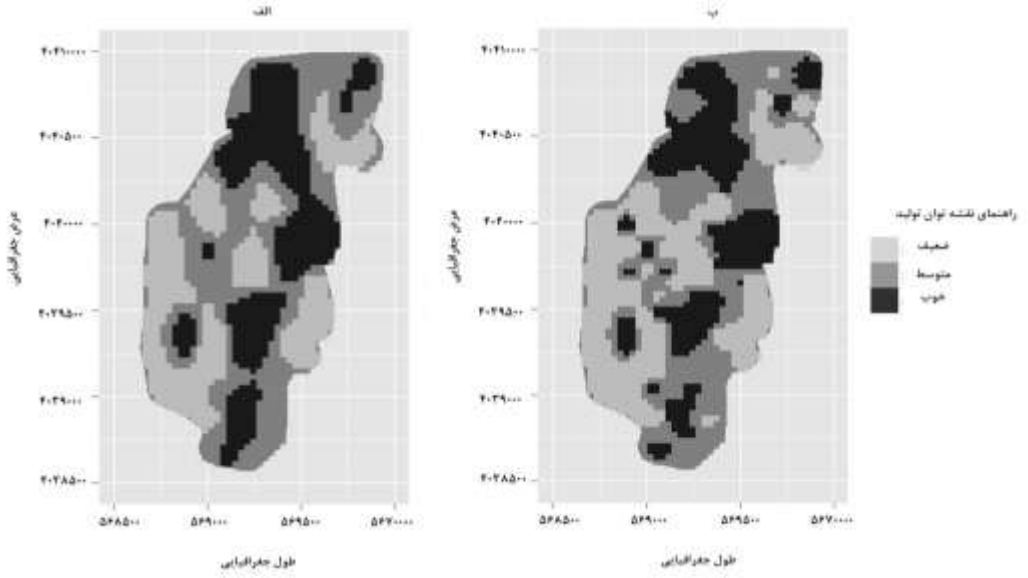
روش وزن‌دهی معکوس فاصله، روشی دیگر از روش‌های درون‌یابی است که در آن به نقاط نزدیک به نقطهٔ برآورد، وزن بیشتری داده می‌شود تا نقاط دورتر. به‌منظور مقایسهٔ کارایی روش کریجینگ، از این روش پرکاربرد نیز استفاده شد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله از فرضیه‌های مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند و در این روش واریوگرام وجود ندارد و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطهٔ برآورد، شباهت بیشتری به آن دارند تا نقاط دورتر.

همان‌طورکه اشاره شد، در روش IDW توان در دقت برآورد بسیار مؤثر است، بدین ترتیب که توان‌های بزرگ‌تر، وزن بیشتری به نقاط نزدیک‌تر اختصاص می‌دهد. اغلب محققان از توان ۲ استفاده می‌کنند [۱۰]. نتایج نشان داد که مقدار توان ۲/۴۵ کمترین مقدار RMSE را داشته است. نقشهٔ حاصل از برآورد این روش در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. در خصوص کلاسه‌های توان تولید، شایان ذکر است که براساس مرور منابع، سه کلاسه ضعیف، متوسط و خوب پیشنهاد شده است. نکتهٔ بسیار مهم، تعیین محدودهٔ کلاسه‌هاست. برای تعیین محدودهٔ کلاسه‌ها از بسته ClassInt در نرم‌افزار R استفاده شد. اجرای تابع ClassInt که بسیار زمان‌بر است، سعی می‌کند محدودهٔ کلاسه‌ها را به‌نحوی تعیین کند که واریانس بین‌طبقه‌ای بیشترین باشد. برای روش درون‌یابی کریجینگ محدودهٔ توان تولیدی ۳۳/۸۶–۳۱/۲۳ به‌عنوان کلاسهٔ ضعیف، محدودهٔ ۳۵/۳۱–۳۳/۸۶ به‌عنوان کلاسهٔ متوسط و محدودهٔ ۳۸/۸۰–۳۵/۳۱ به‌عنوان کلاسهٔ خوب تعیین شد. برای روش درون‌یابی IDW، محدودهٔ کلاسه‌ها به‌صورت

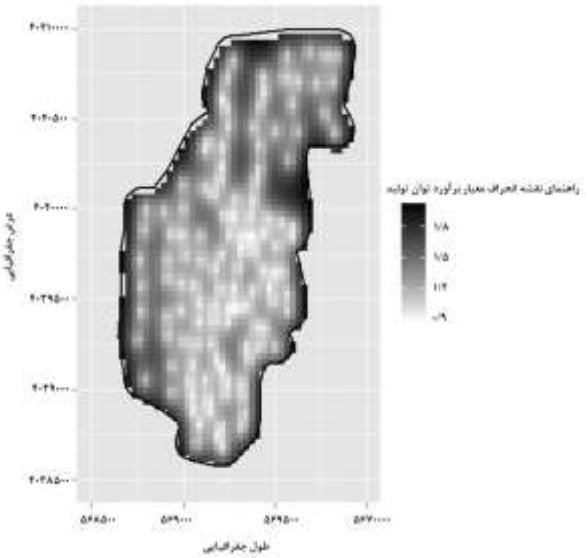
Archive of SID

www.SID.ir

ضـــعیف (۳۴/۱۵-۲۹/۷۹)، متوســـط (۱۵/۵۶-۳۵/۳۴) و خوب (۳۹/۶۳-۳۵/۵۶) است. نتایج حاصـل از درون‌یـابی به‌این روش نیز در جدول ۵ ارائه شـده اسـت. بـا مقایسـهٔ جدول ۵ با جدول ۱ ملاحظه می‌شود کـه در آنها برخلاف روش کریجینگ، حداقل و حداکثر داده‌هـای اولیـه وجـود دارند.



شکل ۳. نقشهٔ پهنه‌بندی توان تولید رویشگاه راش به روش‌های کریجینگ (الف) و IDW (ب)



شکل ۴. نقشهٔ انحراف معیار برآورد توان تولید رویشگاه راش به روش کریجینگ

جدول ۵. نتایج کمّی درون‌یابی به روش معکوس فاصلهٔ وزنی

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شاخص توان تولید (متر)	۳۴/۷	۲۹/۶۷	۳۹/۳۱	۰/۸	٪۲/۳۰

www.SID.ir

به‌منظور مقایسهٔ دو روش کریجینگ و معکوس فاصلهٔ وزنی، معیارهای میانگین خطا، میانگین قدرمطلق خطا، مجذور میانگین مربعات خطا و معیارهای نسبی میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا برای هر دو روش محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. مقادیر میانگین خطا و میانگین قدر مطلق خطا مقدار اریبی را نشان می‌دهند که در حالت مطلوب، باید مساوی صفر باشند. مقادیر مثبت یا منفی زیاد آنها به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ برآورد بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی‌اند. براساس یافته‌های این تحقیق، کمترین خطای مشاهده‌ها مربوط به روش درون‌یابی کریجینگ است.

همان‌طورکه اخوان و همکاران [۱۰]، بیان می‌دارند، در مقایسهٔ دو روش کریجینگ و IDW، اصولاً روش کریجینگ به دلایل تولید نقشهٔ خطای برآورد، خوشه‌زدایی و کاهش واریانس برآورد، بر روش IDW برتری دارد. یکی از مزایای کریجینگ این است که همراه با تخمین، نقشهٔ خطای (شکل ۴) آن برآورد را نیز به‌صورت کمّی ارائه می‌کند، به‌طوری که با استفاده از این دو نقشه (کریجینگ و خطای آن) در هر نقطه از جنگل هم میزان برآورد مشخص است و هم میزان خطای آن. با استفاده از نقشهٔ خطای برآورد کریجینگ می‌توان مناطقی را که در آنها میزان خطا زیاد است، با اندازه‌گیری نمونه‌های اضافی پوشش داد تا خطای برآورد در آن مناطق کاهش یابد. با توجه به اینکه هدف از بررسی حاضر تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش بوده است، مدیران جنگل می‌توانند از نقشه‌های زمین‌مرجع‌شده که نحوهٔ توزیع مکانی توان تولید را در سطح عرصهٔ تحت مدیریت نشان می‌دهند، به‌عنوان نقشهٔ راهنما در طرح‌های جنگلداری استفاده کنند تا براساس آن برنامه‌ریزی قطع، جنگلکاری، واکاری، جاده‌سازی و عملیات پرورشی را با توجه به وضعیت توان جنگل مکان‌یابی کنند [۱۰].

جدول ۶. نتایج مقایسهٔ روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی

روش درون‌یابی	ME	MAE	RMSE	MEr	RMSEr
کریجینگ	-۰/۰۳۶	۱/۵۹۸	۲/۰۵۳	۰/۱۰۴	۵/۹۰۶
معکوس فاصلهٔ وزنی	-۰/۱۹۲	۱/۷۴۹	۲/۲۲۳	۰/۵۵۳	۶/۳۹۳

نتیجه‌گیری

بررسی حاضر نشان داد که روش کریجینگ عملکرد بهتری از روش معکوس فاصلهٔ وزنی در برآورد توان تولید رویشگاه راش دارد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر و ابعاد بهینهٔ شبکهٔ نمونه‌برداری می‌توان گفت که شبکهٔ نمونه‌برداری متداول برای جنگل‌های هیرکانی برای اهداف زمین‌آماری و تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش مناسب است. در پایان پیشنهاد می‌شود برای بررسی تغییرهای توان تولید در منطقهٔ تحقیق از شبکهٔ مستطیلی با ابعاد ۲۵۰ متر در جهت شمالی - جنوبی و ۱۵۰ متر در جهت شرقی – غربی استفاده شود. همچنین توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی عملکرد روش‌های مبتنی بر خصوصیت و هیبرید در تهیهٔ نقشهٔ توان تولید رویشگاه راش ارزیابی شود.

References

[1]. Akhavan, R., and 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.

[2]. Aertsen, W., Kint, V., Von Wilpert, K., Zirlewagen, D., Muys, B., and Van Orshoven, J. (2012). Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. Forestry, 85(4): 539-550.

Archive of SID

www.SID.ir

[3]. Mandallaz, D. (2000). Estimation of the spatial covariance in universal kriging: application to forest inventory. Environmental and Ecological Statistics, 7(3): 263-284.

[4]. Lewis, S. (2005). Mapping Forest Parameters Using Geostatistics and Remote Sensing Data. Department of Geography, University College London. 392pp.

[5]. Freeman, E.A., and Moisen, G.G. (2007). Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. Environmental Monitoring and Assessment, 128(1-3): 395-410.

[6]. Flores, G., Moreno, G., Rincón, R., and González-Cabán, A. (2008). Reconstruction of forest areas using geostatistics as an aid in the evaluation of burned areas. General Technical Report-Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, (PSW-GTR-208): 291-302.

[7]. Meng, Q., Cieszewski, C., and Madden, M. (2009). Large area forest inventory using Landsat ETM+: a geostatistical approach. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(1): 27-36.

[8]. Akhavan, R., and Kia-Daliri, H. (2010). Spatial variability and estimation of tree attributes in a plantation forest in the Caspian region of Iran using geostatistical analysis. Caspian Journal of Environmental Sciences, 8(2): 163-172.

[9]. Fakhire, A., and Najafi Zilaie, M. (2014). Comparison of Different Kriging Methods to Estimate the Tree Density. A Case Study: West of Karkheh in Southwest of Iran. ProEnvironment, 20(7): 204-212.

[10]. 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.

[11]. Akhavan, R., Kia-Daliri, H., Etemad, V., Hassani, M., and Mirakhorlou, Kh. (2014). Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran (Case study: Keyroud forest, Nowshahr). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(2): 188-203.

[12]. Ahmadi, K., Alavi, S.J., and Tabari Kouchaksaraei, M. (2015). Evaluation of oriental beech (*Fagus orientalis* L.) site productivity using generalized additive model (Case study: Tarbiat Modares University Forest Research Station). Iranian Journal of Forest, 7(1): 17-32.

[13]. Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., and Sarkar, D. (2015). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-120, URL: http://CRAN.R-project.org/package=nlme.

[14]. R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL http://www.R-project.org/.

[15]. Pebesma, E., Cornford, D., Dubois, G., Heuvelink, G.B.M., Hristopoulos, D., Pilz, J., Stoehlker, U., Morin, G., and Skoien, J.O. (2011). INTAMAP: the design and implementation of an interoperable automated interpolation web service. Computers & Geosciences, 37(3): 343-352.

[16]. Bivand, R.S., Pebesma, E.J., and Gómez-Rubio, V. (2013). Applied spatial data analysis with R, Springer, New York.

Archive of SID

www.SID.ir

Beech forest site productivity mapping using ordinary kriging and IDW (Case study: research forest of Tarbiat Modares University)

Z. Ahadi; M.Sc. Student in Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

S. J. Alavi*; Assist. Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

S. M. Hosseini; Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

(Received: 16 August 2015, Accepted: 2 January 2015)

ABSTRACT

Estimation and mapping of forest resources is a prerequisite for sustainable forest management. Site productivity is a key indicator of forest ecosystem services like wood production, carbon sequestration, etc. It allows foresters to forecast growth and production and hence select the most suitable tree species for a site. Due to the extent of Hyrcanian forests and mountainous areas in these forests that are sometimes difficult to access, it seems necessary to find suitable methods for mapping the quantitative parameters in these forests. In this study, site form index which is the most reliable criterion for evaluating the site productivity of mixed and uneven stands was used. This study aims at mapping beech forest site productivity by using ordinary kriging and inverse distance weighted in research forest of Tarbiat Modares University. For this purpose, 123 0.1 ha circular sample plots were laid out in beech dominated stands. The height and diameter of beech trees with DBH $\geq$ 7.5 cm within each plot was recorded. The cross validation results showed that by using criteria such as mean error (OK=-0.036, IDW=-0.192), mean absolute error (OK=1.598, IDW=1.749), root mean square error (OK=2.053, IDW=2.223), relative mean error (OK=0.104, IDW=0.553) and relative root mean square error (OK=5.906, IDW=6.393), Kriging had significant advantage over IDW method and showed high estimation accuracy. Therefore, the methods can be applied to similar uneven-aged beech stands in the north of Iran.

Keywords: Beech, IDW, Interpolation, Kriging, Site productivity.

Archive of SID

* Corresponding Author, E-mail: j.alavi@modares.ac.ir, Tel: +98 9111580097

www.SID.ir