"مقاله پژوهشی"

تحلیل آمار مکانی موجودی حجم خشک‌دارهای ریز در جنگل پژوهشی خیرودکنار

علی اصغر واحدی[۱]، اصغر فلاح[۲]، رضا اخوان[۳]، نسترن نظریانی[۴]، عزت‌اله خطیب‌نیا[۵]و سیده کوثر حمیدی[۶]

۱- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: as.vahedi@areeo.ac.ir)

۲- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- پژوهشگر پسا دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

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

۶- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۴

صفحه: تا

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: قابل انتظار است که خشک‌دارهای ریز در جنگل‌های هیرکانی سهم قابل ملاحظه‌ای از خدمات بوم‌شناختی را به خود اختصاص دهد ولی در بخش‌های مدیریتی و اجرایی اهمیت زیادی برای آن وجود ندارد. از طرفی با توجه به شاخص پایداری جنگل‌های طبیعی بر اساس تغییرات موجودی کربن و ارزش تولیدات چوبی و همچنین بر مبنای استقبال نظام‌های مدیریتی از اقتصاد سبز، پیش‌بینی می‌شود که خشک‌دارهای ریز بر خلاف ظاهر ناچیز آنها به‌عنوان یکی از ذخایر کربن به لحاظ جنگل‌شناسی و حتی اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد. بنابراین قابل توجیه است که استنباط درستی در رابطه با نحوه انباشت و تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای مدنظر در نقاط مختلف جنگل‌های هیرکانی را باید دارا بود تا بتوان در ارزیابی‌های مدیریتی جنگل‌های مذکور به‌خصوص برای شرایط پسا تنفس (استراحت جنگل‌های هیرکانی) برای اِعمال عملیات جنگل‌شناسی مؤثر، فنون بهینه مدیریتی (جنگلداری) و افزایش خدمات بوم‌شناختی اقدام متناسبی را انجام داد. مبتنی بر این موارد، هدف اصلی پژوهش پیش رو تحلیل آمار مکانی تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در نقاط مختلف جنگل‌های هیرکانی برای اجرای مدیریت بهینه به‌خصوص برای شرایط پسا تنفس است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در جنگل خیرودکنار در گرادیان‌های مختلف ارتفاعی از سطح دریا (۱۸۰۰-۱۰۰ متر) با استفاده از یک طرح خوشه‌ای انجام شد. تعداد سه قطعه‌نمونه دایره‌ای با شعاع ۷/۳۲ متر با زوایای آزیموت ۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه به شکل مثلث یا خوشه با فاصله ۳۶/۶ متر از یکدیگر پیاده شده و یک قطعه‌نمونه دیگر نیز با همان مساحت دقیقاً در مرکز این طراحی جانمایی شد. هر خوشه به‌صورت تصادفی با سه تکرار و در مجموع با ۱۲ قطعه‌نمونه در یک گرادیان ارتفاعی از سطح دریا پیاده شد. در این پژوهش پیاده‌سازی قطعات نمونه از دامنه ۱۰۰ تا ۱۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا با اختلاف ۱۵۰ متر انجام شد. سه کلاسه قطری شامل ۲/۵- ۱، ۴/۵- ۲/۵ و ۷/۵- ۴/۵ سانتیمتر برای خشک‌دارهای ریز در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری قطر خشک‌دارهای ریز یک ترانسکت خطی با آزیموت ثابت ۱۵۰ درجه از مرکز هر قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل پیاده شده و کلاسه قطری ۲/۵ — ۱ سانتیمتر در فاصله ۶/۱- ۴/۲۷ متر و دیگر کلاسه‌های قطری در فاصله ۷/۳۲ — ۴/۲۷ متری برداشت شدند. روی هر ترانسکت قطر کلیه خشک‌دارهای ریزی که محور مرکزی آنها منقطع با خط ترانسکت بود با کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد. در بدو تحلیل پس از بررسی حضور یا عدم حضور داده‌های پرت، واریوگرام‌های مشاهدات حجم بر اساس مدل‌های مختلف بر حسب فاصله و همبستگی مکانی واریانس برازش داده شدند. مبتنی بر درصد ساختار مکانی، ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات باقیمانده‌ها (RSS) مدل بهینه برای اجرای برآورد درون‌یابی روش کریجینگ معمولی انتخاب شد. بر مبنای برازش مدل‌ها یا عدم تناسب مدل واریوگرام خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های مختلف قطری به‌ترتیب از روش‌های کریجینگ و فاصله معکوس وزنی (IDW) برای درون‌یابی و برآورد متغیرهای پاسخ که در بین فواصل مختلف اندازه‌گیری نشدند، استفاده شد. متعاقباً از روش اثرات متقابل (Cross-validation) برای صحت‌سنجی برآوردهای موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز استفاده شد. بر حسب برازش بین رقوم متغیرهای برآورد شده و مقادیر مشاهدات با استفاده از شاخص‌های ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) میزان دقت تخمین و صحت پهنه‌بندی‌های انجام شده ارزیابی شد.

یافته‌ها: در این پژوهش یافته‌ها نشان داد که حجم کل خشم‌دارهای ریز در جنگل مورد پژوهش ۲۴/۳ مترمکعب در هکتار است. نتایج مدل‌سازی‌های واریوگرام نشان داد تغییرات مکانی حجم خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های قطری مختلف دارای ساختار مکانی متوسط بوده ولی به لحاظ مقادیر R^2 و RSS دارای برازش مناسبی نبودند. به همین منوال نتایج تحلیلی و پهنه‌بندی کریجینگ فقط برای خشک‌دارهای ریز کلاسه اول قطری به نسبت سایر کلاسه‌های قطری دارای دقت بیشتری بود ولی دقت برآوردی آن ضعیف بود(R^2=۰/۱۶ ، RMSE=۶/۳۲). نتیجه واریوگرافی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز نشان داد که خشک‌دارهای ریز کلاسه اول همسان‌گرد بوده و خشک‌دارهای ریز در دیگر کلاسه‌های قطری ناهمسان‌گرد هستند. با توجه به اینکه روش کرجینگ برای خشک‌دارهای کلاسه‌های دوم و سوم قطری پاسخگو نبود از روش فاصله معکوس وزنی استفاده شد. نتایج حاصل از تکنیک فاصله معکوس وزنی برای ارزیابی مکانی خشک‌دارهای ریز در کلاسه دوم و سوم قطری نشان داد که دقت برآوردی قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد. بدین ترتیب مبتنی بر نتایج به‌دست آمده می‌توان عنوان نمود که معرفی انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز بستر جنگل مورد پژوهش در گرادیان ارتفاعی از سطح دریا مطرود است.

نتیجه‌گیری: با استنباط از نتایج به‌دست آمده می‌توان عنوان نمود که تغییرات موجودی حجمی انباشت خشک‌دارهای ریز در گرادیان‌های مختلف ارتفاع از سطح دریا در جنگل مورد پژوهش مستقل از خودهمبستگی فاصله‌ای و همبستگی مکانی است. در واقع مبتنی بر نتایج به‌دست آمده می‌توان اذعان نمود که تغییرات موجودی حجمی انباشت خشک‌دارهای ریز در هر دامنه ارتفاع از سطح دریا در جنگل مورد پژوهش تحت تأثیر عوامل مختلف جنگل‌شناسی، بوم‌شناختی و زیستی هستند که در این رابطه وجه اشتراک بارز تأثیرگذار وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی موجودی حجمی، ذخایر کربن، فاصله معکوس وزنی، کریجینگ، گرادیان ارتفاع از سطح دریا

مقدمه

تمامی چوب‌های ریزش یافته از درختان سرپا و یا بخش‌هایی از چوب‌های درختان افتاده که دارای حداکثر قطر ۷/۵ سانتیمتر است؛ به عنوان ریزچوب‌های افتاده یا همان خشک‌دارهای ریز (FWDs[۱]) تلقی می‌شوند (Harmon et al, 2007; Woodall and Williams, 2005). در واقع معیار تفکیک خشک‌دارهای بزرگ (CWDs[۲]) و خشک‌دارهای ریز اختلاف مبنای قطری مذکور است (Harmon et al, 2007). با وجود اینکه در جاهای

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

مختلفی از بستر جنگل‌ها انباشتگی‌های متفاوتی از حجم خشک‌دارهای ریز قابل مشاهده است ولی در بخش‌های مدیریتی و اجرایی اهمیت زیادی برای آن وجود ندارد. در رابطه با حضور یا عدم حضور انباشت خشک‌دارهای ریز کف جنگل‌های طبیعی دو دیدگاه وجود دارد (Campbell et al, 2012; Malmsheimer et al, 2008; McKinley et al, 2011; Woodall and Williams, 2005). در دیدگاه اول خشک‌دارهای ریز به‌عنوان یکی از عوامل بحران‌زا برای اشتعال در جنگل‌ها شناخته شده و برای خروج آن از جنگل‌ها در قالب چوب‌های هیزمی یا چوب‌های سوخت با ارزش پولی کم تأکید می‌شود. در دیدگاه دوم خشک‌دارهای ریز با دارا بودن نقش بارز در خدمات زیستی و بوم‌شناختی از جمله تأثیرات قابل توجه در چرخه عناصر غذایی خاک یکی از منابع مهم انرژی زیستی و مخازن اصلی کربن اتمسفری تلقی شده و به‌عنوان یکی از اجزاء مهم جنگل‌ها در ذخایر رطوبت و ارتقای زادآوری درختان محسوب می‌شود. مبتنی بر دیدگاه دوم تأکید اساسی بر نگاه‌داشت و حضور مستمر خشک‌دارهای ریز حاصل از روند طبیعی در کف بوم‌سازگان‌های جنگلی است. با توجه به اهمیت اساسی خشک‌دارهای ریز در بوم‌سازگان‌های جنگل در ارتباط با پویایی کربن، خدمات بوم‌شناختی و زیستی و همچنین به‌عنوان عامل جدی ایجاد و گسترش آتش‌سوزی در صورت انباشتگی زیاد، ضروری است که ویژگی‌های زیست فیزیکی آنها مورد ارزیابی و کمی‌سازی قرار گیرد تا مدیران اجرایی بتوانند برای مدیریت و کنترل بهینه آنها ابزاری دقیق در دسترس داشته باشند (Delcourt and Veraverbeke, 2022). از طرفی با توجه به شاخص پایداری جنگل‌های طبیعی بر اساس تغییرات موجودی کربن و ارزش تولیدات چوبی و همچنین بر مبنای استقبال نظام‌های مدیریتی از اقتصاد سبز پیش‌بینی می‌شود که خشک‌دارهای ریز بر خلاف ظاهر ناچیز به‌عنوان یکی از ذخایر کربن به لحاظ جنگل‌شناسی و حتی اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد. از این‌رو اولین گام برای مدیریت بهینه در این زمینه ارزیابی و کمی‌سازی روند تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای مزبور در انواع مختلف تیپ توده‌های درختان در جنگل‌های طبیعی است. یکی از نکاتی که در رابطه با نحوه انباشتگی یا پراکندگی میزان موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در بوم‌سازگان‌های جنگلی، صرفنظر از پدیده‌های فنولوژی، مورفولوژی، فیزیولوژی و شدت آشفتگی‌ها در مقیاس‌های مختلف مطرح می‌باشد، این است که وابستگی مکانی انباشت خشک‌دارهای مزبور به چه نحوی است. به‌تناسب، پرسش اصلی پژوهش کنونی این‌است که پراکنش موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز کف جنگل در فواصل مختلف دارای چه ساختار مکانی است؟ در واقع در گام اول ارزیابی انباشتگی حجم خشک‌دارهای ریز باید به این یافته رسید که آیا متغیر حجم خشک‌دارهای ریز به‌عنوان متغیر ناحیه‌ای یا همان متغیر خودهمبسته تلقی می‌شود یا خیر؟ برای دستیابی به پاسخ ابهامات مطروحه با توجه به تراکم گسترده خشک‌دارهای ریز کف جنگل در واحدهای مختلف سطح و عدم امکان آماربرداری و یا نمونه‌برداری آنها برای سطوح بسیار وسیع، در پژوهش کنونی از فنون زیرمجموعه زمین‌آمار استفاده شد. زمین‌آمار شامل دو بخش واریوگرافی و فنون پهنه‌بندی از جمله کریجینگ است که بهترین روش برای تحلیل تغییرات مکانی و نیز برآورد متغیرهایی است که دارای وابستگی مکانی هستند (Akhavan and Kleinn, 2009). در واقع زیرمجموعه‌های درون‌یابی زمین‌آمار متغیرهایی که به لحاظ مختصات مکانی دارای همبستگی هستند را مدنظر قرار داده و برآورد نهایی را بر مبنای موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری شده انجام می‌دهد (Mahdavi et al, 2016). باید اذعان نمود که متغیرهایی همچون تراکم، رویه زمینی و موجودی حجمی مربوط به اجزاء مختلف بوم‌سازگان‌های جنگل بر مبنای توزیع مکانی پیوسته تحت تأثیر متغیرهای محیطی، زیستی و بوم‌شناختی هستند که همین امر سبب می‌شود تا بتوان متغیرهای مورد بررسی در بوم‌سازگان‌های مزبور را به‌عنوان متغیر ناحیه‌ای مدنظر قرار داد (Akhavan et al, 2014). در این میان تحلیل‌های آمار مکانی و بالتبع برآوردهای وابسته به مختصات مکانی با استفاده از فنون زمین‌آمار برای مدیران و دست‌اندرکاران دایره‌های اجرایی این امکان را فراهم می‌نماید تا ساختار مکانی و یا به‌عبارتی روند تغییرات متغیرهای پاسخ وابسته به هر موقعیت زمینی را مورد ارزیابی قرار دهند. میزان دقت و قطعیت نتایج درون‌یابی به دقت مختصات مکانی، تعداد نمونه و توزیع داده‌های ثبت شده و مدل ریاضی مورد استفاده بستگی دارد. در حقیقت نتایج نزدیک به واقعیت، زمانی حاصل می‌شود که انعکاس تغییرات مکانی پدیده مورد نظر با روند برازش مدل محاسباتی مزبور منطبق و مشابه باشد (Hosseinpour et al, 2023). از آن‌جایی‌که خشک‌دارهای ریز در جنگل‌های هیرکانی دارای انباشت مختلفی بوده و در بسیاری از توده‌های درختان دارای تراکم و حجم غیرقابل اغماضی است، از این‌رو انتظار می‌رود که خشک‌دارهای مزبور در مقیاس وسیعی از سطح توده‌های جنگل‌های مزبور میزان قابل ملاحظه‌ای از ذخایر کربن آلی، خدمات زیستی و بوم‌شناختی و یا ایجاد دامنه‌های بحران‌زا را به خود اختصاص دهد. به‌همین دلیل قابل توجیه است که استنباط درستی در رابطه با نحوه انباشت و تغییرات موجودی حجم خشک‌دارهای مدنظر در نقاط مختلف جنگل‌های هیرکانی را باید دارا بود تا بتوان در ارزیابی‌های مدیریتی جنگل‌های مذکور به‌خصوص برای شرایط پسا تنفس (استراحت جنگل‌های هیرکانی) برای اعمال عملیات جنگل‌شناسی مؤثر، فنون بهینه مدیریتی (جنگلداری) و افزایش خدمات بوم‌شناختی اقدام متناسبی را انجام داد. در جنگل‌های هیرکانی واقع در شمال کشور انواع تیپ توده‌های درختان وجود دارد که بر حسب تقسیم‌بندی‌های متنوع جوامع گیاهی دارای پراکنش متفاوتی هستند. آنچه که در جنگل‌های هیرکانی به‌وضوح قابل مشاهده است تغییرات محرز ترکیب گونه‌ای درختان در راستای گرادیان ارتفاع از سطح دریا است (IUFRO, 2004). به‌همین دلیل در پژوهش حاضر به‌جای بررسی پراکنش مکانی حجم خشک‌دارهای ریز در فواصل افقی، ارزیابی ساختار مکانی و پهنه‌بندی انباشت حجمی خشک‌دارهای مورد هدف در راستای عمودی یعنی در امتداد تغییرات ارتفاع از سطح دریا مدنظر قرار گرفت. تحلیل آمار مکانی حجم خشک‌دارهای ریز در راستای گرادیان ارتفاعی به‌نوعی بیان‌گر روند تغییرات مکانی موجودی حجمی

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

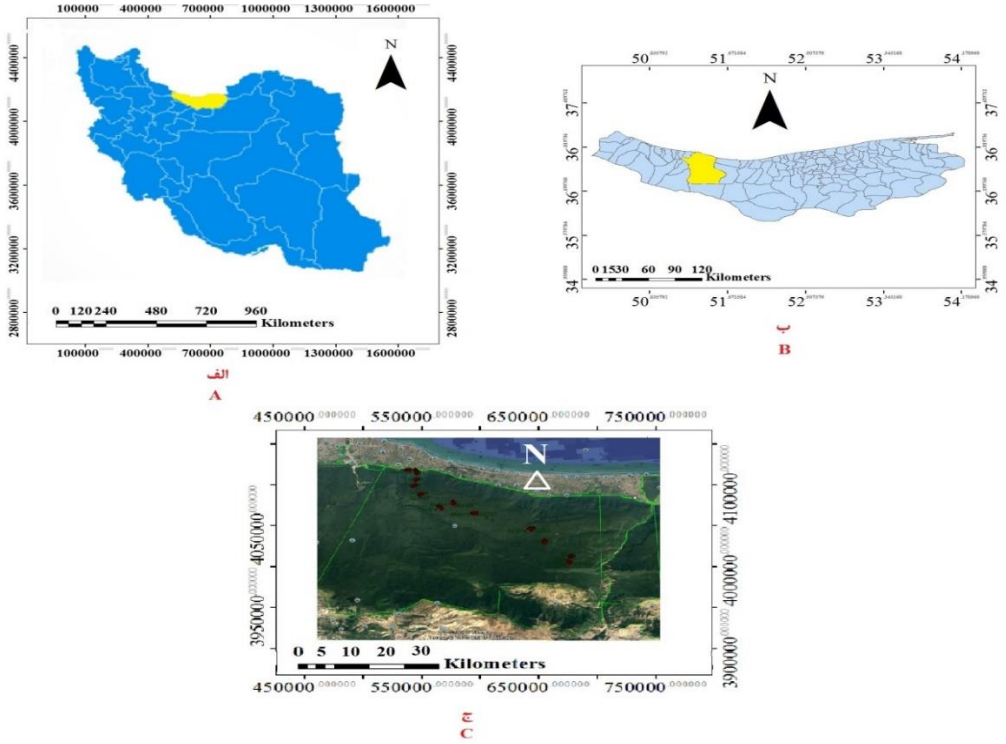
خشک‌دارهای مزبور در انواع تیپ‌های درختان واقع در جوامع مختلف گیاهی است. شایان ذکر است که با احتساب تغییرات گرادیان ارتفاع از سطح دریا انواع ترکیب گونه‌ای درختان، پدیده‌های متفاوت فنولوژی و فیزیولوژی درختان در تیپ‌های مختلف و تغییرات دمایی هم‌زمان مدنظر قرار داده می‌شود و به همین دلیل در رابطه با برآورد تغییرات مکانی خشک‌دارهای ریز در جنگل‌های مزبور می‌توان به اطلاعات متقنی در این زمینه دست یافت. در خصوص کاربرد روش زمین‌آمار و فنون مختلف آن در رابطه با متغیرهای رویه زمینی، حجم، تراکم، ارتفاع و دیگر کمیت‌های اندازه‌گیری درختان در جنگل‌های شمال کشور پژوهش‌های متعددی صورت گرفته و در کلیه پژوهش‌های مزبور برخی از متغیرها در فواصل مختلف دارای ساختار مکانی با قابلیت پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ بوده و برخی دیگر از کمیت‌های پاسخ که از قالب متغیر ناحیه‌ای تبعیت ننمودند دارای دقت برآوردی کمی از پهنه‌بندی و برآورد درون‌یابی بودند (Ahadi et al, 2017; Akhavan and Kleinn, 2009; Akhavan et al, 2006; Harmon et al, 2007). برخی دیگر از مطالعات از جمله فریمن و مویسن (Freeman and Moisen, 2007) برای ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی و برآورد مقادیر زی‌توده درختان، بانگرو و همکاران (Bangroo et al, 2020) به‌منظور کمی‌سازی تغییرات مکانی کربن آلی خاک، مونیاتی و سینسومول (McKinley et al, 2011) برای پهنه‌بندی تراکم درختان و شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختان، تانگوا و همکاران (Taghipour et al, 2022) در رابطه با پهنه‌بندی غنای گونه‌ای درختان از فنون کریجینگ و فاصله معکوس وزنی در جنگل‌های زیست‌بوم‌های مختلف استفاده نموده و در این رابطه دقت برآورد روش‌های مورد استفاده را برای درون‌یابی متغیرهای مزبور قابل استناد معرفی نمودند. اگرچه در رابطه با ارزیابی و بررسی موجودی حجمی خشک‌دارهای قطور در جنگل‌های شمال کشور مطالعات مختلفی انجام شده ولیکن در رابطه با بررسی تغییرات حجم خشک‌دارهای ریز در جنگل‌های هیرکانی می‌توان به مطالعه زبیری (Zobeiri, 2009) در خصوص نحوه اندازه‌گیری حجم و زی‌توده خشک‌دارهای ریز در قالب مازاد مقطوعات جنگل اشاره نمود که در این راستا تحلیل‌های مبتنی بر خط ترانسکت را به‌عنوان روابط محاسباتی با حداقل خطا برای محاسبه حجم و زی‌توده خشک‌دارهای ریز کف جنگل عنوان نمود. همچنین می‌توان به پژوهش سفیدی و همکاران (Sefidi et al, 2014) در جنگل گرازبن خیرودکنار اشاره نمود که نتیجه‌گیری نمودند خشک‌دارهای ریز دارای موجودی حجمی قابل ملاحظه‌ای در توده‌های مختلف درختان هستند و از این‌رو باید در تدوین برنامه‌های مدیریتی مورد توجه قرار گیرد. از طرفی وودآل و همکاران (Woodall et al, 2013)، بساد و همکاران (Bessad et al, 2021)، کربولیوسکی و همکاران (Campbell et al, 2012) با محاسبه هر چه دقیق‌تر حجم خشک‌دارهای ریز میزان ذخایر کربن آنها را با حداقل خطا برآورد نموده و در مجموع گزارش دادند که میزان موجودی حجمی و میزان ذخایر کربن خشک‌دارهای ریز در هر منطقه از جنگل بر اساس ویژگی‌های بومی و محلی بوم‌سازگان‌های مختلف جنگل متفاوت است. همچنین می‌توان به پژوهش لوپز- سنسپلیدا (López-Senespleda et al, 2021) اشاره کرد که با استفاده از الگوریتم جنگل تصافی به این نتیجه رسیدند که تغییرات تیپ جنگل، ارتفاع از سطح دریا، عرض جغرافیایی، درصد تاج پوشش، میانگین دمای تابستان، درجه حرارات تجمعی سالیانه، بارندگی تابستان، کمبود آب و شاخص پوشش گیاهی دارای تأثیرات بارزی بر میزان موجودی حجمی و ذخایر کربن لاشبرگ‌ها و خشک‌دارهای ریز کف جنگل هستند. مبتنی بر کلیه تفاسیر مشروحه هدف اصلی پژوهش حاضر تبیین وابستگی مکانی و ساختار مکانی موجودی حجمی انباشت خشک‌دارهای ریز در راستای گرادیان ارتفاعی جنگل مورد پژوهش است تا بتوان بر این اساس تشریح کرد که نقشه پهنه‌بندی تغییرات حجمی خشک‌دارهای ریز در جنگل مزبور داری چه دقت و قطعیتی است. در واقع یافته‌های این پژوهش پروتکل کاربردی برای کمی‌سازی پراکندگی انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز در روند برنامه‌ریزی‌های اجرایی جنگل‌های هیرکانی ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

پژوهش حاضر در قالب یک پروژه مشترک مصوّب در جنگل آموزشی – پژوهشی خیرودکنار نوشهر در استان مازندران انجام شد. جنگل خیرودکنار واقع در حوزه آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ´۲۷ ° ۳۶ تا ´۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ´۳۲ °۵۱ تا ´۴۳ ° ۵۱ طول شرقی واقع شده است. در جنگل مزبور از ارتفاع ۱۰۰ متر تا ۱۸۵۰ متر از سطح دریای آزاد پیاده‌سازی قطعات نمونه در بخش‌های پاتم، نمخانه و گرازبن اجرا شد. عمده توده‌های مورد پژوهش در راستای مختلف گرادیان ارتفاع از سطح دریا تیپ‌های انجیلی –ممرز، ممرز آمیخته، ممرز خالص، افرایلت –توسکای قشلاقی، راش آمیخته و راش خالص بوده است. مساحت کل جنگل حدود ۸۰۰۰ هکتار است که رودخانه خیرود زهکش اصلی این حوزه به‌حساب می‌آید. بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی نوشهر بارندگی سالانه در منطقه خیرودکنار به‌طور میانگین ۱۳۰۰ میلیمتر است و میانگین درجه حرارت سالانه نیز ۱۶/۱ سانتی‌گراد برآورد شده است. شکل ۱ موقعیت جنگل مورد پژوهش و قطعات‌نمونه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]



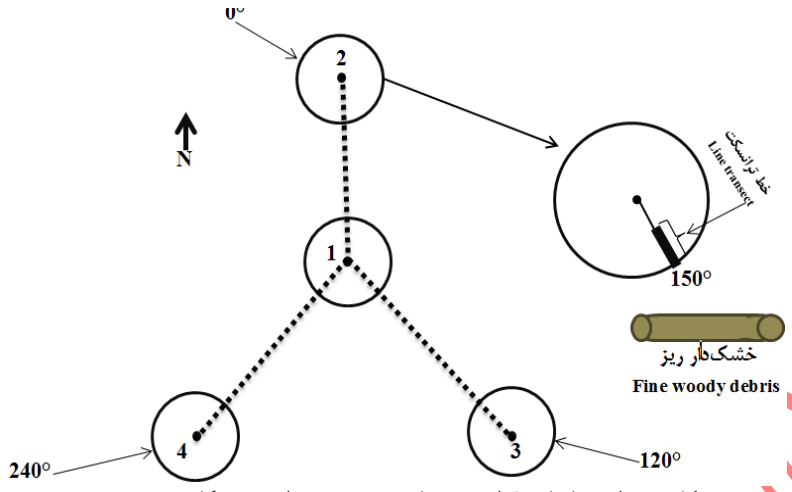
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف) روی نقشه ایران، ب) استان مازندران و ج) جنگل خیرودکنار
Figure 1. The location of the studied area: A) on the map of Iran, B) Mazandaran province and C) Kheyrood-Kenar forest

جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش بر مبنای پروتکل ارائه شده در پروژه مشترک مصوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی) از برنامه آماربرداری جنگل‌های ایالات متحده موسوم به تحلیل‌های آماربرداری جنگل (FIA[1]) برای اجرای روش میدانی استفاده شد. با توجه به دامنه اجرایی و پژوهشی بسیط از این روش در جنگل‌های زیست‌بوم‌های مختلف و طراحی روابط محاسباتی ارزیابی کمیت‌های زیست-فیزیکی انواع خشک‌دارها به‌ویژه خشک‌دارهای ریز مبتنی بر روش مزبور، از این پروتکل میدانی برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد. بنابراین بر اساس شکل ۲، تعداد سه قطعه‌نمونه دایره‌ای با شعاع ۷/۳۲ متر با زوایای آزیموت ۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه به شکل مثلث یا خوشه با فاصله ۳۶/۶ متر از یکدیگر پیاده شده و یک قطعه‌نمونه دیگر نیز با همان مساحت دقیقاً در مرکز این طراحی جانمایی شد (Harmon et al, 2007; Woodallet al, 2005; Woodall, 2013). هر خوشه به‌صورت تصادفی با سه تکرار و در مجموع با ۱۲ قطعه‌نمونه در یک گرادیان ارتفاعی از سطح دریا پیاده شد. در این پژوهش پیاده‌سازی قطعات نمونه از دامنه ۱۰۰ تا ۱۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا با اختلاف ۱۵۰ متر انجام شد. سه کلاسه قطری شامل ۲/۵- ۱، ۴/۵- ۲/۵ و ۷/۵- ۴/۵ سانتیمتر برای خشک‌دارهای ریز در نظر گرفته شد (Harmon et al, 2007; Woodallet al, 2005; Woodall and Liknes 2008). کلاسه قطری کمتر از یک سانتیمتر (۱ > di) به عنوان اجزاء لاشبرگی و بیشتر از ۷/۵ سانتیمتر (۷/۵ < di) جزء خشک‌دارهای قطور محسوب می‌شود (۱۵). برای اندازه‌گیری قطر خشک‌دارهای ریز یک ترانسکت خطی با آزیموت ثابت ۱۵۰ درجه از مرکز هر قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل پیاده شده و کلاسه قطری ۲/۵ – ۱ سانتیمتر در فاصله ۶/۱- ۴/۲۷ متر و دیگر کلاسه‌های قطری در فاصله ۷/۳۲ – ۴/۲۷ متری برداشت شدند (Woodallet al, 2005; Woodall and Liknes 2008). روی هر ترانسکت قطر کلیه خشک‌دارهای ریزی که محور مرکزی آنها منقطع با خط ترانسکت بود با کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد. از طرفی کلیه خشک‌دارهایی که در کف جنگل قرار داشتند مدنظر قرار داده شد و چوب‌هایی که به حالت مایل یا عمودی نسبت به کف جنگل استقرار داشتند از روند آماربرداری و اندازه‌گیری حذف شدند (Van Wagner, C.E. 1968; Woodall et al, 2013; Zobeiri, 2002). با استناد به ماهیت روش ارزیابی خشک‌دارهای ریز مبتنی بر خط ترانسکت، طول کلیه خشک‌دارهای مذکور در عرصه اندازه‌گیری نشد (Delcourt and Veraverbeke. 2022; Van Wagner, C.E. 1968; Woodall et al, 2013; Zobeiri, 2002). موقعیت مکانی مرکز هریک از قطعات نمونه با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب مکانی (GPS) ثبت شد. متعاقب آن مختصات هر یک از خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های مختلف نیز با استفاده از رابطه دکارتی بر مبنای آزیموت و مختصات مرکز هر قطعه‌نمونه محاسبه شد. شکل ۲ نمای کلی جای‌گذاری قطعات نمونه در خوشه آماربرداری را نشان می‌دهد.

1 -Forest Inventory Analyses

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]



شکل ۲- طرح جانمایی قطعه‌نمونه‌ها به‌صورت خوشه‌ای در جنگل مورد پژوهش

Figure 2. Schematic of the placement of samples in clusters in the researched forest.

تحلیل داده‌ها

تحلیل محاسباتی حجم خشک‌دارها

با توجه به طراحی قطعات نمونه و آماربرداری وابسته به خط نمونه از رابطه زیر برای محاسبه مقادیر حجم خشک‌دارهای ریز استفاده شد (Woodall and Williams, 2005).

$$V = (kfac) \times (\frac{\pi^2}{8 \times L}) \sum_{i=1}^{n} d_i^2 \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، پارامتر V به عنوان مقدار حجم بر حسب مترمکعب در واحد سطح، K و f ضرایب ثابت برای تبدیل واحد متریک حجم و تبدیل واحد سطح در هکتار ($f \cong ۱۰۰۰۰$)، a ضریب تصحیح زاویه خشک‌دارهای ریز با امتداد غیرافقی، C ضریب تصحیح شیب ترانسکت، L طول خط ترانسکت برای اندازه‌گیری خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های مختلف قطری و di قطر منقطع خشک‌دار ریز با خط ترانسکت در هر کلاسه قطری است. برای ضریب ثابت K مقدار عددی ۱/۲۳۴ در نظر گرفته شد (Woodall and Williams, 2005).

$$a = \frac{1}{cos(h)} \qquad (۲)$$

با توجه به این‌که خشک‌دارهای ریز کف جنگل در برخی موارد نسبت به راستای طولی دارای زوایای متعددی است از این‌رو ضریب تصحیح چوب‌های منقطع با خط ترانسکت از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

در رابطه بالا، a ضریب تصحیح زاویه و h زاویه خشک‌دار نسبت به طول افقی محسوب می‌شود. فاکتور تصحیح شیب (C) نیز از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$C = \sqrt{1 + (\%slope/100)^2} \qquad (۳)$$

تحلیل‌های زمین‌آمار حجم خشک‌دارها

با توجه به اینکه توزیع داده‌های جمع‌آوری شده برای اجرای تحلیل‌های زمین‌آماری ترجیحاً باید به صورت نرمال باشد از طریق ریشه دوم و در برخی دیگر موارد با استفاده از لگاریتم و با احتساب بازتبدیل داده‌ها با اجرای روش استاندارد و وزنی، تحلیل مکانی داده‌ها بر مبنای توزیع نرمال انجام شد. در بدو تحلیل پس از بررسی حضور یا عدم حضور داده‌های پرت، واریوگرام‌های مشاهدات حجم بر اساس مدل‌های مختلف بر حسب فاصله و همبستگی مکانی واریانس برازش داده شدند. مبتنی بر درصد ساختار مکانی، ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات باقیمانده‌ها (RSS) مدل بهینه و نهایی برای اجرای برآورد درون‌یابی روش کریجینگ معمولی انتخاب شد. البته در برخی دیگر از مطالعات مبنای ساختار مکانی بیش از ۷۵ درصد یا حداقل بین ۲۵ تا ۷۵ درصد را به‌عنوان برازش مناسب برای اجرای روش درون‌یابی کریجینگ مناسب ارزیابی می‌کنند (Ahadi et al, 2017; Akhavan et al, 2018; Mahdavi et al, 2016). برای ارزیابی همسان‌گردی یا ناهمسان‌گردی واریوگرام‌های مزبور از روش سطح مدل‌ها مبتنی بر وابستگی یا عدم وابستگی دو فاصله متغیر ناحیه‌ای به جهت استفاده شد (Akhavan et al, 2014). بر مبنای برازش مدل‌ها یا عدم تناسب مدل واریوگرام خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های مختلف قطری به‌ترتیب از روش‌های کریجینگ و فاصله معکوس وزنی (IDW) برای درون‌یابی و برآورد متغیرهای پاسخ که در بین فواصل مختلف اندازه‌گیری نشدند، استفاده شد. توابع کریجینگ و فاصله معکوس وزنی به صورت زیراست (Bangroo et al, 2020; Nadiri et al, 2014):

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . z(x_i) \qquad (۴)$$

$$\hat{Z}(x_i) = \sum_{i=1}^{n} x_i \frac{1}{d_i^a} z(x_i) \Big/ \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^a} \qquad (۵)$$

نسخه پیش انتشار

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

در رابطه ۴، $\hat{Z}(x_0)$ مقادیر برآورد شده یا درون‌یابی شده در فواصلی که اندازه‌گیری صورت نگرفته، Z(xi) مقادیر مشاهدات در هر یک از مختصات ثبت شده، λ_i ارزش وزنی کریجینگ است. در رابطه ۵، $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد در مختصات اندازه‌گیری نشده، di فاصله بین نقطه تخمین تا هر یک از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، Z(xi) مقدار مشاهده در مختصات ثبت شده، a ضریبی که وزن را بر اساس فاصله (توان عکس فاصله) تعیین می‌کند.

با استفاده از توابع مورد اشاره، نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک از خشک‌دارهای کلاسه‌های مختلف قطری تولید شد. پس از اجرای فنون درون‌یابی مورد اشاره از روش اثرات متقابل (Cross-validation) برای صحت‌سنجی برآوردهای موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز استفاده شد. بر حسب برازش بین رقوم متغیرهای برآورد شده و مقادیر مشاهدات با استفاده از شاخص‌های ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) میزان دقت تخمین و صحت پهنه‌بندی‌های انجام شده ارزیابی شد (Taghipour et al, 2022). ریشه میانگین مربعات خطا از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Taghipour et al, 2022).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2} \qquad (۶)$$

در رابطه فوق، n تعداد نمونه، X_i و Y_i به‌ترتیب مقادیر مشاهدات و برآورد حاصل از فنون درون‌یابی است. برای انجام کلیه تحلیل‌های آماری و محاسباتی از نرم‌افزارهای $SPSS_{23}$ و GS^+ نسخه ۵ استفاده شد (IBM Corp. Released 2019; Robertson, 2000).

نتایج و بحث

مشخصه‌های آماری حجم خشک‌دارهای ریز

مبتنی بر طرح پیاده‌سازی قطعات نمونه، در مجموع تعداد ۱۹۱ خشک‌دار ریز از کلاسه‌های قطری مختلف مشاهده شد (جدول ۱). در این راستا تعداد کل نمونه‌های خشک‌دارها در کلاسه‌های قطری اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۹۲، ۶۸ و ۳۱ عدد بود (جدول ۱). نتایج به‌دست آمده مربوط به حجم خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های تعریف شده مقادیر مختلفی را نشان داد. نتایج نشان داد که به‌طور میانگین حجم خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های قطری مذکور به‌ترتیب ۲/۱۴، ۶/۰۱ و ۱۶/۲۳ مترمکعب در هکتار را در جنگل مورد پژوهش شامل شده است (جدول ۱). سایر مشخصه‌های آماری مقادیر حجم خشک‌دارها در انواع کلاسه‌های قطری تعریف شده در جدول ۱ نشان داده می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری حجم خشک‌دارهای ریز در جنگل مورد پژوهش

Table 1. Statistical characteristics of fine woody debris volume in the Kheyrood-Kenar forest

	تعداد نمونه Sample Size	کمینه مقدار حجم (مترمکعب در هکتار) Min. Volume (m^3/ha)	بیشینه مقدار حجم (مترمکعب در هکتار) Max. Volume (m3/ha)	میانگین حجم (متر مکعب در هکتار) Mean Volume (m3/ha)	اشتباه معیار (مترمکعب در هکتار) Std.Error (m3/ha)	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	دقت برآورد (درصد) E (%)
کلاسه اول Firest ClasS	92	0.83	4.81	2.14	0.11	53	5.14
کلاسه دوم Second Class	68	3.12	22.27	6.01	0.41	55	6.83
کلاسه سوم Third Class	31	10.11	35.73	16.23	1.14	38	7.02

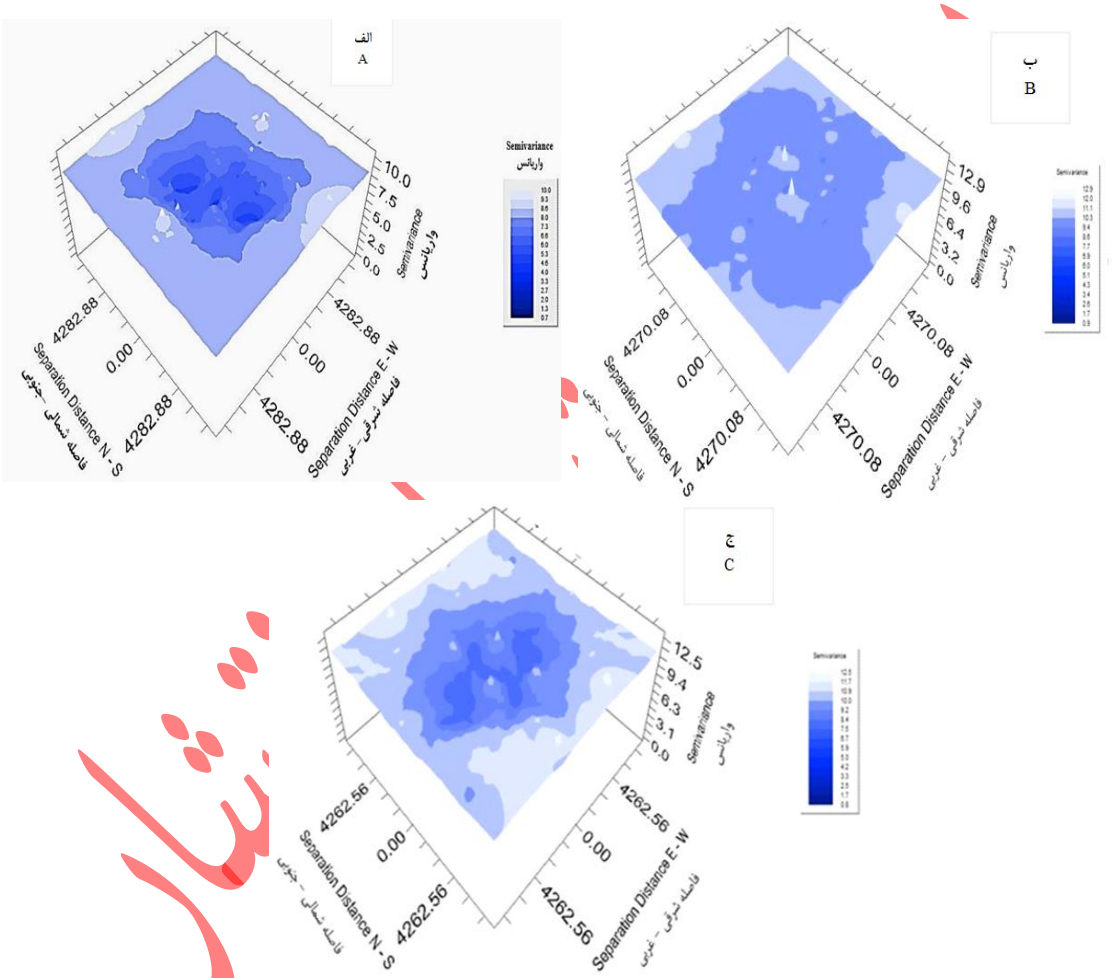
همان‌طور که نتایج نشان داد در مجموع میانگین حجم خشک‌دارهای مورد بررسی ۲۴/۳ مترمکعب در هکتار تخمین زده شد. اگر چه در سطح یک هکتار این رقم چشمگیر نباشد ولی می‌توان عنوان نمود که در سطح چندین هکتار، پارسل یا سری این میزان می‌تواند بسیار فزاینده و قابل توجه باشد. بنابراین لازم به ذکر است که مدیریت موجودی حجمی خشک‌دارهای مورد پژوهش در پروژه‌های اقتصاد سبز به‌عنوان یکی از مخازن اصلی کربن و یا در قالب منابع تأمین عناصر غذایی خاک در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جنگل‌های هیرکانی مورد توجه قرار گیرد. گزارش مختلفی در رابطه با حجم خشک‌دارهای ریز با کلاسه‌بندی‌های مختلف قطری در جنگل‌های زیست‌بوم‌های مختلف وجود دارد. به‌عنوان مثال در جنگل‌های اروپا حجم خشک‌دارهای ریز در مجموع کلاسه‌های مختلف قطری به‌طور میانگین ۵/۲ مترمکعب در هکتار گزارش شده و یا در پژوهشی دیگر حجم خشک‌دارهای ریز با میانگین ۱۲/۲ مترمکعب در هکتار مقدار بیشتری را نشان داد (Eräjää et al, 2010; Norden et al, 2004). یا در رابطه با جنگل‌های هیرکانی در توده‌های آمیخته راش، سفیدی و همکاران (۲۰۱۴) برای خشک‌دارهای با قطر کمتر از ۱۰ سانتیمتر به تفکیک گونه شامل راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.) و سایر گونه‌ها به‌ترتیب مقادیر حجمی با میانگین ۷/۱۷، ۱/۷۷ و ۰/۷ مترمکعب در هکتار را گزارش دادند. در پژوهش حاضر همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شد میانگین مقادیر حجمی خشک‌دارهای ریز برای هر کلاسه قطری عنوان شد ولی می‌توان با احتساب کلی صرفنظر از کلاسه‌های قطری تفکیک شده، مقدار میانگین موجودی حجم خشک‌دارهای ریز را در جنگل مورد پژوهش را به‌طور تقریبی ۸/۳ مترمکعب درهکتار برآورد نمود. مهمترین نکته‌ای که در خصوص برخی ابهامات در زمینه نحوه اندازه‌گیری و برآورد موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در بوم‌سازگان‌های جنگلی

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

وجود دارد استفاده از پروتکل اندازه‌گیری و آماربرداری در این زمینه است. کربولیوسکی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی در خصوص کاربرد چند روش اندازه‌گیری و برآورد حجم از جمله روش انقطاع با خط ترانسکت و نمونه‌برداری با سطح ثابت برای خشک‌دارهای ریز تا قطر ۴ سانتیمتر نشان دادند بین روش‌های مزبور و مقادیر مشاهدات اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. البته به‌دلیل اینکه روش انقطاع خط ترانسکت بسیار آسان بوده و در سطح وسیعی کاربرد دارد و از طرفی روابط محاسباتی منوط به آن هم برای برآورد حجم و میزان موجودی کربن قابلیت تعمیم گسترده‌ای را دارد از این‌رو این روش برآورد موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین پروتکل‌های تعریف شده برای زیست‌بوم‌های مختلف محسوب می‌شود (Delcourt and Veraverbeke, 2022; Van Wagner, 1968; Woodall et al, 2013).

واریوگرافی حجم خشک‌دارهای ریز

شکل ۳ واریوگرام سطحی تغییرات حجم خشک‌دارهای ریز را در کلاسه‌های مختلف قطری نشان می‌دهد. نتایج مشخص کرد که خشک‌دارهای ریز کلاسه اول همسان‌گرد بوده و خشک‌دارهای ریز در دیگر کلاسه‌های قطری ناهمسان‌گرد هستند (شکل ۳).



شکل ۳- واریوگرام‌های سطحی همسان‌گرد و ناهمسان‌گرد متغیر مورد بررسی برای خشک‌دارهای ریز کلاسه اول (الف)، کلاسه دوم (ب) و کلاسه سوم (ج) قطری

Figure 3. Isotropic and non-isotropic Surface variograms of the target variable for first class (A), Second class (B) and third class (C) of diameter.

واریوگرام سطحی متغیر پاسخ در این پژوهش به‌نوعی نشان می‌دهد که چه تغییراتی بین جهات و مختصات مکانی انباشت خشک‌دارهای ریز در جنگل مورد پژوهش وجود دارد. نتایج کلی حاکی از این‌است که تغییرات مکانی خشک‌دارهای ریز کلاسه اول قطری مستقل از تغییرات جهات مختلف است ولی تغییرات جهت در خصوص تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های دوم و سوم قطری می‌تواند عاملی تأثیرگذار باشد. با توجه به شکل ۳ می‌توان استنباط نمود که مقادیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های اول و دوم قطری در جهت‌های شمالی –جنوبی و یا در جهت‌های شرقی –غربی بر اساس وابستگی مکانی در قالب یک متغیر ناحیه‌ای می‌تواند متفاوت باشد. البته زمانی می‌توان قطع به یقین این نتیجه‌گیری

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

را عنوان نمود که ساختار مکانی و صحت برازش مدل‌های واریوگرام و به تبع آن برآورد روش کریجینگ در خصوص صحت ارزیابی و پهنه‌بندی مقادیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز قابل قبول باشد.

جدول ۲ مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به واریوگرام موجودی حجمی خشک‌دارهای مورد بررسی را بر مبنای تغییرات واریانس و فاصله مکانی نشان می‌دهد. واریوگرام مربوطه برای حجم خشک‌دارهای ریز در کلاسه دوم قطری دارای مدل گوسی بوده و برای حجم خشک‌دارهای دیگر کلاسه‌های قطری به‌صورت نمایی بود (جدول ۲). مشخصه‌های آماری و ساختار مکانی مدل‌های واریوگرام برای هر یک از کلاسه‌های قطری در جدول ۲ نشان داده می‌شود.

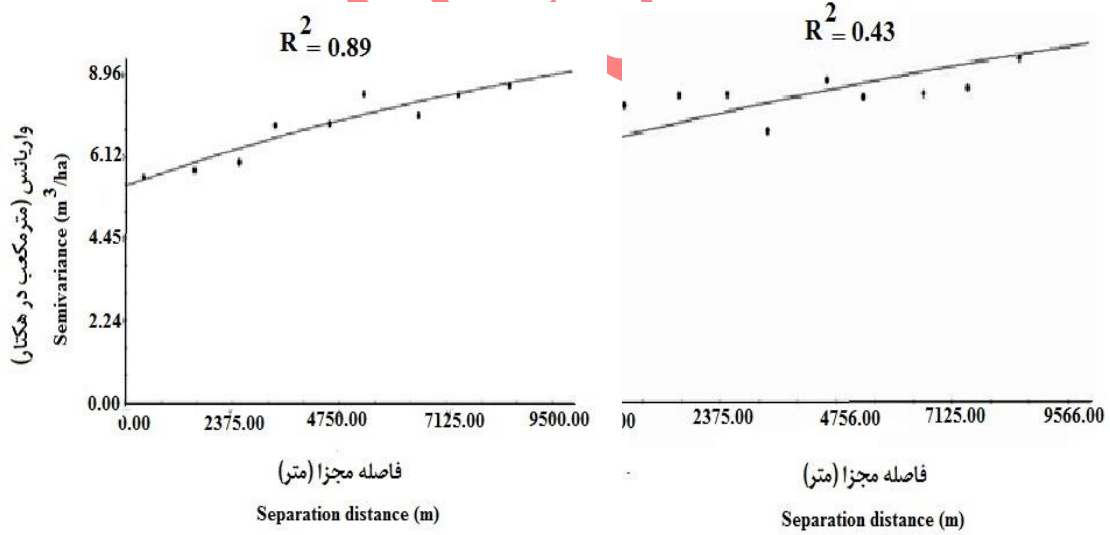
نتایج نشان می‌دهد که واریوگرام نمایی کلاسه اول قطری دارای بیشترین ضریب تبیین ($R^2 \approx$۰/۹) و حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها می‌باشد (جدول ۲). با توجه به اینکه ساختار مکانی ۲۵ تا ۷۵ درصد به‌عنوان یک ساختار مکانی متوسط قابل قبول و برازش مناسب برای اجرای برآورد مکانی تحلیل کریجینگ محسوب می‌شود (Ahadi et al, 2017; Akhavan et al, 2018; Mahdavi et al, 2016)، از این‌رو مطابق جدول ۲ ساختار مکانی کلیه مدل‌های واریوگرام برازش یافته برای خشک‌دارهای ریز کلاسه‌های قطری مختلف به‌عنوان ساختار مکانی متوسط تلقی شده و بر مبنای حد آستانه و دامنه تأثیر هر یک از این واریوگرام‌ها پهنه‌بندی کریجینگ انجام شد.

جدول ۲- پارامترهای تحلیلی مدل‌های واریوگرام حجم خشک‌دارهای ریز در جنگل مورد پژوهش

Table 2. Statistical parameters of variogram models for fine woody debris volume in the Kheyrood-Kenar forest

	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget	حد آستانه Sill	دامنه تأثیر (متر) Effective Range (m)	ساختار مکانی (درصد) Proportion (%)	ضریب تبیین R^2	مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها RSS
کلاسه اول Firest ClasS	نمایی Exponential	5.92	11.84	39600	50	0.89	0.77
کلاسه دوم Second Class	گوسین Gaussian	9.43	18.87	56520	50	0.43	1.81
کلاسه سوم Third Class	نمایی Exponential	7.81	16.64	18840	53	0.47	7.78

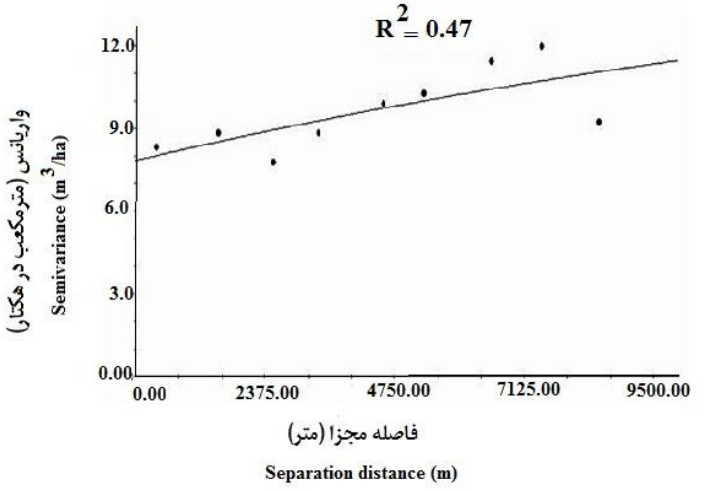
شکل ۴ واریوگرام‌های تجربی برازش یافته تغییرات واریانس متغیر حجم خشک‌دارها در کلاسه‌های مختلف قطری را بر حسب فاصله نشان می‌دهد.



الف
A

ب
B

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

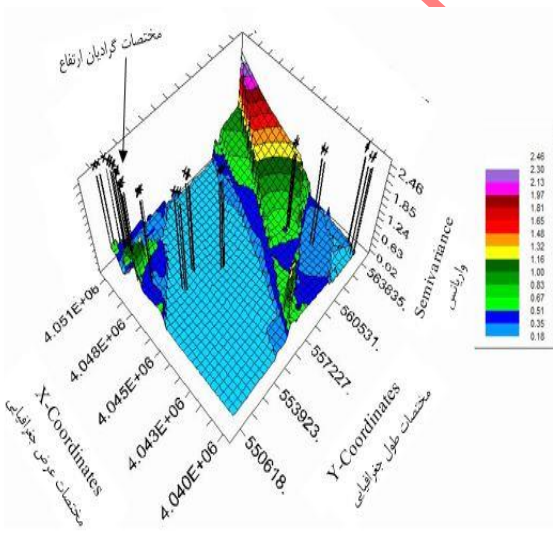


ج
C

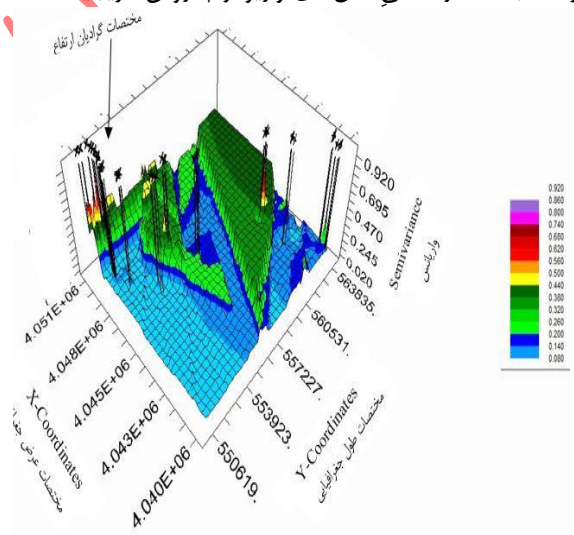
شکل ۴- واریوگرام‌های برازش یافته متغیرمورد بررسی برای خشک‌دارهای ریز کلاسه اول (الف)، کلاسه دوم (ب) و کلاسه سوم (ج) قطری
Figure 4. Goodness of fitted variograms to the target variable for first class (A), Second class (B) and third class (C) of diameter.

اجرای فنون برآوردی زمین‌آمار

در شکل ۵ نقشه‌های سه بعدی توزیع مکانی و برآورد حجم خشک‌دارهای ریز مربوط به کلاسه‌های مختلف قطری نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که در شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی الف حاصل از اجرای روش کریجینگ و نقشه‌های ب و ج حاصل از اجرای روش فاصله معکوس وزنی است. در واقع ابتدا بر حسب ساختار مکانیِ مدل‌های واریوگرام، روش کریجینگ برای برآورد موجودی حجمی خشک‌دارهای کلیه کلاسه‌های قطری اجرا شد ولی نتایج نشان داد که برای خشک‌دارهای ریز کلاسه دوم و سوم قطری دارای اعتبار محاسباتی بسیار کمی است. از این‌رو به‌جای آن روش فاصله معکوس وزنی برای پهنه‌بندی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز کلاسه‌های مذکور به‌کار گرفته شد.

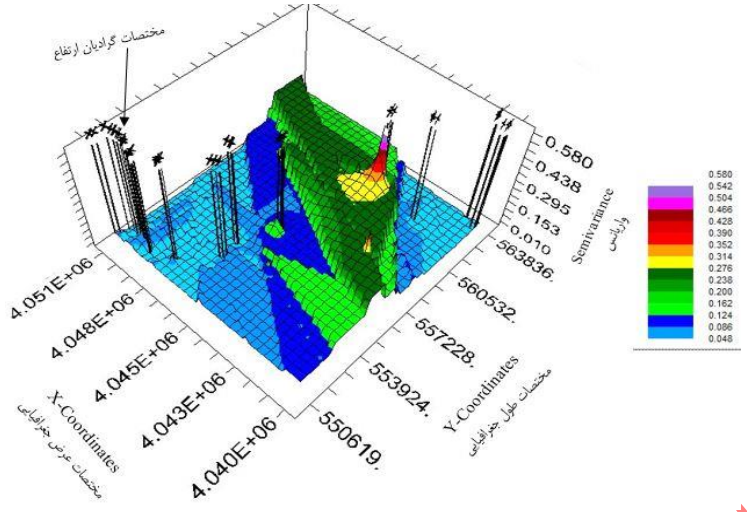


الف
A



ب
B

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]



ج
C

شکل ۵- نقشه‌های پهنه‌بندی و توزیع مکانی مقادیر برآوردی حجم خشک‌دارهای ریز کلاسه اول (الف)، کلاسه دوم (ب) و کلاسه سوم (ج) قطری

Figure 5. Mapping and spatial distribution of estimated volume for first class (A), Second class (B) and third class (C) of diameter.

نتایج حاصل از روش ارزیابی متقابل در جدول ۳ نشان داده می‌شود. نتایج ارائه شده در جدول ۳ مبتنی بر ضریب تبیین، اشتباه معیار تخمین (برازش) بین مشاهدات و مقادیر برآوردی و ریشه میانگین مربعات خطا حاکی از آن است که برآورد مقادیر موجودی حجمی حاصل از روش فاصله معکوس وزنی غیرمتقن بوده و به‌لحاظ اعتبارسنجی غیرقابل قبول است. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که اجرای روش کریجینگ برای تخمین مقادیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در امتداد تغییرات ارتفاع از سطح دریا قابل قبول بوده ولی دارای دقت برآوردی ضعیفی است و به همین علت برای تدوین برنامه‌های مدیریتی قابل پیشنهاد نیست (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج صحت‌سنجی فنون کریجینگ و فاصله معکوس وزنی برای متغیر مورد بررسی

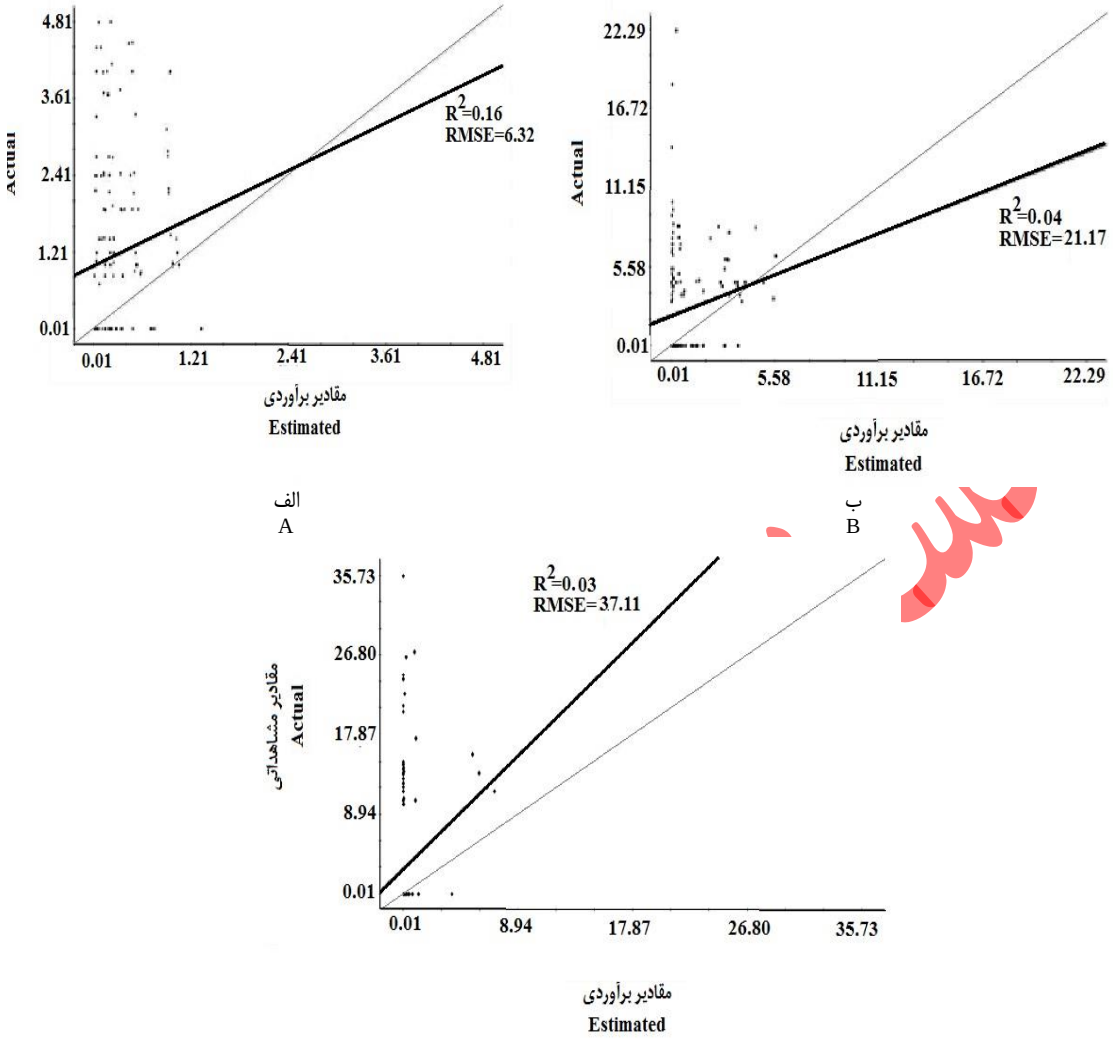
Table 3. The accuracy results of Kriging and IDW techniques for study variables

	ضریب تبیین R^2	اشتباه معیار تخمین Std. Error of Estimation	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE
کلاسه اول First Class	0.16	1.78	6.32
کلاسه دوم Second Class	0.04	3.47	21.17
کلاسه سوم Third Class	0.03	7.74	37.11

شکل ۶ میزان تطابق یا عدم تطابق برازش بین مقادیر مشاهدات و برآورد را با خط فرضی برازش نشان می‌دهد. به‌جای برازش خطی بین مقادیر مشاهداتی و برآوردی موجودی حجمی حاصل از روش‌های مزبور، برازش حاصل از ارزیابی متقابل اجرای فنون مورد استفاده زمین‌آمار در شکل ۶ ارائه شد. مطابق شکل ۶ به‌وضوح قابل استنباط است که برازش مناسبی بین مقادیر برآوردی موجودی حجمی و مشاهدات انجام شده برای خشک‌دارهای هر سه کلاسه وجود ندارد.

نسخه پیش از انتشار

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]



شکل ۶- برازش بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآوردی فنون زمین‌آمار برای حجم خشک‌دارهای ریز کلاسه اول (الف)، کلاسه دوم (ب) و کلاسه سوم (ج) قطری

Figure 6. Goodness of fit data between the observations and estimations of geostatistic techniques for first class (A), Second class (B) and third class (C) of diameter

مبتنی بر نتایج به‌دست آمده به‌صراحت می‌توان عنوان نمود که تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در هر یک از کلاسه‌های قطری مستقل از یکدیگر و جدا از وابستگی مکانی است. این بدین معنی است که در هر یک از گرادیان ارتفاعی تغییرات انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های مختلف قطری تحت تأثیر عوامل پیچیده بوم‌شناختی و زیستی مستقلی است و در این رابطه وجه اشتراک معینی نمی‌توان یافت. این تأثیرات می‌تواند ناشی از تغییرات تیپ توده‌های درختان باشد چرا که تیپ‌های مختلف جوامع گیاهی در جنگل‌های هیرکانی منوط به تغییرات گرادیان ارتفاع از سطح دریا است. البته در این خصوص می‌توان به آشفتگی‌های مستمر یا ناگهانی در هر یک از دامنه‌های ارتفاعی اشاره نمود و یا صرفنظر از تغییرات ترکیب گونه‌ای می‌توان به الگوی مکانی و یا ساختار و یا حتی به مراحل تحولی هر یک از تیپ توده‌های درختان در تغییرات غیرهمبسته موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در این پژوهش استناد نمود. با این تفاسیر می‌توان اذعان نمود که تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در جنگل مورد پژوهش همگن است. اخوان و همکاران (۲۰۰۶) نیز در رابطه با بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی درختان جنگل خیرودکنار با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نتیجه گرفتند که تمامی درون‌یابی‌ها اریب بوده و روش کریجینگ برآورد مناسبی از میزان موجودی حجمی جنگل مورد پژوهش ارائه نداد که این امر نشان‌دهنده این بود که ساختار مکانی موجودی حجمی بسیار ضعیف بوده و بدین‌ترتیب تابعی از مختصات مکانی و دامنه فاصله نیست. در واقع هر چه در فواصل کوتاه شدت تغییرپذیری متغیر پاسخ زیاد باشد درون‌یابی معنا پیدا نمی‌کند و این بدین معنی است که تغییرات متغیر مزبور مستقل از فواصل مکانی است. متعاقباً اخوان و همکاران (۲۰۰۹) و

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

فاروک و همکاران (۲۰۲۲) بیان نمودند که هر چه دامنه تأثیر واریوگرام یک متغیر بیشتر باشد در این صورت می‌توان عنوان نمود که پراکندگی مکانی آن متغیر به‌صورت همگن است. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان عنوان نمود که دامنه تأثیر متغیر پاسخ مدنظر کلاسه‌های مختلف قطری خشک‌دارهای ریز زیاد است و همین امر یعنی این‌که تغییرات مکانی موجودی حجمی خشک‌دارهای مورد پژوهش دارای همگنی مکانی است. روش کریجینگ در خصوص برآورد متغیرهایی که دارای پراکندگی مکانی هستند معمولاً ضعیف عمل می‌کند (Tangwa et al, 2021; Wu et al, 2006). مونیاتی و سینسومول (۲۰۲۱) در رابطه با تغییرات مکانی تراکم درختان و تنوع گونه‌ای پوشش‌های چوبی و خشبی در جنگل‌های متراکم و جنگل‌های با پوشش پراکنده و گسسته به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ در توده‌های متراکم و انبوه دارای کارآیی بیشتری بوده ولی روش فاصله معکوس وزنی در پوشش‌های غیرپیوسته مکانی دارای دقت و قطعیت برآورد بیشتری بوده است. از آن‌جایی که انباشت خشک‌دارهای ریز در جنگل مورد مطالعه در موقعیت‌های مکانی دارای پراکندگی گسترده‌ای بوده و با توجه به این‌که در برخی از قطعات نمونه نیز خشک‌دارهای ریز در برخی کلاسه‌های قطری مشاهده نشدند، از این‌رو مبتنی بر فنون زمین‌آمار نمی‌توان عنوان کرد که پراکندگی موجودی حجمی خشک‌دارها وابسته به موقعیت مکانی می‌باشد.

در برخی از مستندات عنوان شده است که یکی از دلایل ضعف خروجی‌های زمین‌آمار میزان حجم نمونه‌های تحلیلی است. دانیل و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که هر چقدر تعداد نمونه‌ها زیاد باشد و مقادیر زیادتری از مشاهدات در مختصات مکانی ثبت شود فنون زمین‌مرجع از جمله کریجینگ دارای دقت برآوردی بیشتری خواهد بود. از این‌رو آنها ثبت حداقل ۱۰۰ نقطه مختصات را برای اجرای تحلیل‌های زمین‌آمار ضروری دانستند. اگر چه در برخی دیگر از پژوهش‌های انجام شده برای این امر ضرورتی را متصور نبوده و با ثبت نقط کمتر از تعداد ۵۰ تعداد نمونه به دقت قابل قبولی از برآورد متغیر پاسخ دست یافتند (Eldrandaly and Abu-Zaid, 2011; Kambhammettu et al, 2011; Nejadkoorki and Nicholson, 2012). در پژوهش حاضر تعداد نمونه برای کلاسه‌های مختلف قطری کمتر از ۱۰۰ مختصات ثبتی بود. از این‌رو اجرای تحلیل کریجینگ و فاصله معکوس وزنی با احتساب مختصات مجموع تعداد نمونه (۱۹۱ نقطه ثبتی) نیز اجرا شد ولی دقت برآوردی آن از دقت و قطعیت خروجی‌های ارائه شده در بخش نتایج کمتر از حد تصور بود. به‌همین دلیل از نمایه این بخش از خروجی‌های تحلیلی در بخش نتایج صرفنظر شد. شایان ذکر است که اسلوب تحلیل‌های آمار مکانی بر مبنای تغییرپذیری فرآیندهای تصادفی و ثابت استوار است که بر اساس مدل‌های ریاضی یا همان واریوگرام‌های تجربی خودهمبستگی مکانی آنها کمی‌سازی می‌شود (Tangwa et al, 2021). بدین ترتیب نمونه‌برداری تصادفی در هر یک از دامنه‌های ارتفاعی در پژوهش پیش‌رو نیز می‌تواند هم‌راستا با این موضوع باشد. ناگفته نماند که در بسیاری از دیگر موارد زمانی‌که مشاهده‌ای در رابطه با متغیر پاسخ وجود نداشته باشد با احتساب ثبت آن نقطه این احتمال وجود دارد که کارآیی فنون زمین‌آمار کاهش یابد (Ma et al, 2021). بر اساس همین مبنا با توجه به اینکه در برخی از قعات نمونه و یا در راستای برخی از خطوط ترانسکت برخی از کلاسه‌های قطری خشک‌دار مشاهده نشدند از این‌رو در این پژوهش به‌جای مقدار عددی صفر عدد ۰/۰۰۱ برای هر یک از مختصات متناظر درج شد. با این تفاسیر باز هم نتایج حاکی از آن بود که فنون مورد استفاده زمین‌مرجع دارای قابلیت تخمین موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در گرادیان مختلف ارتفاعی نیستند. از طرفی مطابق جدول ۲ فارغ از ساختار مکانی متغیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز، بر مبنای مقادیر میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها و ضریب تبیین مدل‌های انتخابی واریوگرام قابل انتظار بود که روش کریجینگ برای خشک‌دارهای کلاسه دوم و سوم قطری دارای کارآیی مناسب نخواهد بود. از این‌رو با توجه به اجرای روش کریجینگ در این زمینه و عدم قابلیت پاسخگویی این روش، می‌توان بیان نمود که شاخص‌های تحلیلی ضریب تبیین و اشتباه معیار تخمین مدل بهینه انتخابی دارای ارزش وزنی بیشتری نسبت به ساختار مکانی هستند. یا با توجه به این‌که ساختار مکانی بیش از ۷۵ درصد به‌عنوان ساختار مکانی قوی محسوب می‌شود بر همین مبنا باید اذعان کرد که برای اجرای تحلیل کریجینگ برای تخمین و پهنه‌بندی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز لااقل باید ساختار مکانی قوی را طراحی نمود. با این اوصاف با این‌که از روش فاصله معکوس وزنی به‌جای کریجینگ استفاده شد جالب توجه بود که این روش نیز در هیچ یک از موارد دقت پاسخگویی مناسبی نداشت و همین امر دال بر این است که ارزیابی خشک‌دارهای ریز باید بر اساس آمار کلاسیک از جمله آزمون‌های آماری مبتنی بر نمونه‌برداری باشد.

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان نمود که متغیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز نمی‌تواند به‌عنوان متغیر ناحیه‌ای در جنگل مورد پژوهش محسوب شود. این بدین معنی است که تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های مختلف قطری در امتداد تغییرات ارتفاع از سطح دریا مستقل از وابستگی مکانی است و دلیل تغییرات این متغیر باید بر مبنای تأثیرگذاری زیستی، بوم‌شناختی و جنگل‌شناسی از طریق آزمون‌های آماری کلاسیک جستجو شود. البته باید تأکید نمود که هدف غایی پژوهش پیش رو ارزیابی و بررسی قابلیت کاربردی تحلیل‌های زمین‌آمار نبود. در واقع از آن‌جایی که به دلیل ناچیز انگاشته شدن اهمیت خشک‌دارهای ریز در مدیریت جنگل‌های هیرکانی، اطلاعات وافی در خصوص پراکندگی و انباشت حجمی آنها وجود ندارد باید در ابتدای امر تبیین نمود که چقدر وابستگی مکانی یا خودهمبستگی تغییرات مکانی در رابطه با تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در جنگل پژوهشی خیرودکنار به‌عنوان یکی از جنگل‌های پایلوت (شاهد) شمال کشور وجود دارد. در این پژوهش مبنای بررسی و نتیجه‌گیری بر اساس تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در گرادیان مختلف ارتفاعی بود. با نتایج به‌دست آمده پرسش جدیدی ایجاد می‌شود و آن این است که اگرچه در راستای تغییرات ارتفاع از سطح دریا متغیر پاسخ مورد پژوهش دارای تغییرات مستقل مکانی بود ولی آیا در یک دامنه

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

ارتفاعی به‌عنوان مثال در جامعه انجیلی – ممرزستان و یا در جامعه خالص راش انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز به تناسب تیپ‌های مشابه و شرایط رویشگاهی تقریباً یکنواخت دارای خودهمبستگی مکانی هستند یا خیر؟ با پاسخ به این پرسش و اجرای تحلیل‌هایی مشابه با رویکرد حاضر در چندین رویشگاه جنگل‌های شمال کشور می‌توان به نتایج جامعی در این زمینه دست یافت و با دراختیار گذاشتن آن در اختیار دستگاه‌های اجرایی در تدوین برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل به‌خصوص برای شرایط پسا تنفس گامی مؤثر برداشت. البته می‌توان با استفاده از تحلیل‌های پارامتریک از جمله روش‌های مبتنی بر تخمین منحنی، رگرسیون لجستیک و یا با استفاده از روش‌های نوین ناپارامتریک از جمله الگوریتم‌های شبیه‌ساز با معرفی بسیاری از عوامل احتمالی تأثیرگذار به نتایج قابل ملاحظه‌ای در این زمینه دست یافت.

تشکر و قدردانی

پژوهش پیش‌رو بخشی از دستاورد پروژه مشترک بین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با کد مصوب ۰۱۰۹۴۳-۲۱۳-۰۹۵۱-۶۰-۳ است. بدین وسیله از حامیان مالی و فراهم‌کنندگان امکانات اجرایی این پروژه قدردانی می‌شود.

منابع

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. & 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., Mahdavi, A. & Kianfar, M. (2018). Analysis of the decline status of Zagrosian oak forests using spatial statistics (Case study: Zarab forests of Ilam). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 16(2): 129-145.

Akhavan, R., Kia-Deliri, H. Etemad, V. Hassani, M. & Mirakhorlou, K.H. (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 (In Persian).

Akhavan, R., Zobeiri, M. ZahediAmiri, G.H. Namiranian, M. & Mandallaz, D. 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(1): 89-102 (In Persian).

Bangroo, S.A., Najar, G.R. Achin, E. & Truong, P.N. (2020). Application of predictor variables in spatial quantification of soil organic carbon and total nitrogen using regression kriging in the North Kashmir forest Himalayas. *Catena*, 193:104632.

Bessad, A., Bilger, I. & Korboulewsky, N. (2021). Assessing Biomass Removal and Woody Debris in Whole-Tree Harvesting System: Are the Recommended Levels of Residues Ensured? *Forests*, 12(6): 1-15.

Campbell, J.L., Harmon, M.E. & Mitchell, S.R. (2012). Can fuel-reduction treatments really increase forest carbon storage in the western US by reducing future fire emissions? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10: 83–90.

Daniel, J., Lennart, N. Thierry, B. & Arve. E. (2010). Plants as bioindicator for temperature interpolation purposes: Analyzing spatial correlation between botany based index of thermophily and integrated temperature characteristics. *Ecological Indicator*, 10:990–998.

Delcourt, C.J.F. & Veraverbeke, S. (2022). Allometric equations and wood density parameters for estimating aboveground and woody debris biomass in Cajander larch (Larix cajanderi) forests of northeast Siberia. *Biogeosciences*, 19: 4499-4520.

Eldrandaly, K.A. & Abu-Zaid, M.S. (2011). Comparison of six GIS-based spatial interpolation methods for estimating air temperature in Western Saudi Arabia. *Journal of Environmental Informatics*, 18 (1): 38-45.

Eräjää, S., Halme, P. Kotiaho, J.S. Markkanen, A. & Toivanen, T. (2010). The volume and composition of dead wood on traditional and forest fuel harvested clear- cuts. *Silva Fennica*, 44: 203-211.

Farooq, I., Bangroo, S. Bashir, O. Islam Shah, T. Malik, A.A. Iqbal, A.M. Nazir, N. & Biswas. A. (2022). Comparison of Random Forest and Kriging Models for Soil Organic Carbon Mapping in the Himalayan Region of Kashmir. *Land*, 11: 2180.

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

Harmon, M.E., Woodall, C.W. Fasth, B. & Sexton. J. (2007). Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis. *Northern Research Station*, 84, p 29.

Hosseinpour, A., Fallah, A. Niknejad, M. Hejazian, M. & Kalbi. S. (2023). Investigating of Kriging Geostatistic Method Capability for Forest Stand Volume Zoning (Case Study: Haftkhal Area). *Ecology of Iranian Forests*, 10(20): 120-128 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

IBM Corp. Released (2019). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. *Armonk*, NY: IBM Corp.
IUFRO, (2004). Improvement and Silviculture of Beech, in: Proceedings from the 7th International Beech Symposium, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Tehran, Iran.
Kambhammettu, B.V.N.P., Allena, P. & King, J.P. (2011). Application and evaluation of universal kriging for optimal contouring of groundwater levels. *Journal of Earth System Science*, 120(3): 413-422.
Korboulewsky, N., Bilger, I. & Bessad, A. (2021). How to Evaluate Downed Fine Woody Debris ncluding Logging Residues?. *Forests*, 12(7): 1-20.
López-Senespleda, E., Calama, R. & Ruiz-Peinado, R. (2021). Estimating forest floor carbon stocks in woodland formations in Spain. *Science of the Total Environment*, 788:147734.
Ma, J., Li, X. Jia, B. Liu, X. Li, T. & Zhang, W. (2021). Spatial variation analysis of urban forest vegetation carbon storage and sequestration in built-up areas of Beijing based on i-Tree Eco and Kriging. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66:127413.
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. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23(4): 87-110 (In Persian).
Malmsheimer, R.W., Heffernan, P. Brink, S. Crandall, D. Deneke, F. Galik, C. Gee, E. Helms, J.A. McClure, N. Mortimer, M. Ruddell, S. Smith, M. & Stewart, J. (2008). Forest management solutions for mitigating climate change in the United States. *Journal of Forestry*, 106: 115–171.
McKinley, D.C., Ryan, M.G. Birdsey, R.A. Giardina, C.P. Harmon, M.E. Heath, L.S. Houghton, R.A. Jackson, R.B. Morrison, J.F. Murray, B.C. Pataki, D.E. & Skog, K.E. (2011). A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States. *Ecological Applications*, 21: 1902-1924.
Munyati, C. & Sinthumule, N.I. (2021). Comparative suitability of ordinary kriging and Inverse Distance Weighted interpolation for indicating intactness gradients on threatened savannah woodland and forest stands. *Environmental and Sustainability Indicators*, 12:100151.
Nadiri, A., Shakoor, S. Asghari Moghadam, A. & Vadiati, M. (2014). Assessment of various interpolations to estimate nitrate pollution in the underground water resources. *Hydro geomorphology*, 1: 75-92 (In Persian).
Nejadkoorki, F. & Nicholson, K. (2012). Integrating passive sampling and interpolation techniques to assess the spatio-temporal variability of urban pollutants using limited data sets. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11 (9):1649–1655.
Norden, B., Ryberg, M. Gotmark, F. & Olausson, B. (2004). Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broadleaf forests. *Biological Conservation*, 117: 1-10.
Sefidi, K., M.R. Marviemohajer & V. Etemad. (2014). Coarse and fine woody debris accumulation in mixed beech stands, Case study Gorazbon forests. *Journal of Forest Sustainable development*, 1(2): 137-149 (In Persian).
Robertson, G.P. (2000). Gs+: geostatistics for the environmental sciences gamma design software. Michigan: Plainwell.
Taghipour, K., Heydari, M. Kooch, Y. Fathizad, H. Heung, B. & Taghizadeh-Mehrhjardi, R. (2022). Assessing changes in soil quality between protected and degraded forests using digital soil mapping for semiarid oak forests, Iran. *Catena*, 213:106204.
Tangwa, E., Wiktor, T. Wilem. P. & Yisa Ginath. Y. (2021). Predicting plant species richness in forested landslide zones using geostatistical methods. *Ecological Indicators*, 132:108297.
Van Wagner, C.E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, 14(1):20-26.
Woodall, C. & Williams, M.S. (2005). Sampling Protocol Estimation, and Analysis Procedures for the Down Woody Materials Indicator of the FIA Progam. North Central Research Station Forest Service U.S. *Department of Agriculture*, 47 p.
Woodall, C.W. & Liknes, G.C. (2008). Relationships between forest fine and coarse woody debris carbon stocks across latitudinal gradients in the United States as an indicator of climate change effects. *Ecological Indicators*, 8(5): 686- 690.
Woodall, C.W., Walters, B.F. Oswalt, S.N. Domke, G.M. Toney, C. & Gray, A.N. (2013). Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. *Forest Ecology and Management*, 305: 48–59.
Wu, J., Norvell, W.A. & Welch, R.M. (2006). Kriging on highly skewed data for DTPA extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon. *Geoderma*, 134:187-199.
Zobeiri, M. (2002). Forest Biometry. Tehran University Press. 411 pp.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

"Research Paper"

Spatial Analyses for Fine Woody Debris Volume Stock in the Hyrcanian Research Forest of Kheyrood-Kenar

Ali Asghar Vahedi[1], Asghar Fallah[2], Reza Akhavan[3], Nastaran Nazariani[4], Ezzatolah Khatibnia[5] and Seyedeh Kosar Hamidi[6]

1- Assistant Professor, Natural Resources Research Department, Mazandaran Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran, (Corresponding author: as.vahedi@areeo.ac.ir)
2- Professor of Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran
3- Associate Professor, Forest research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4- Postdoctoral Researcher in Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran
5- Doctoral student of forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran
6- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran
Received: 21 May, 2023 Accepted: 26 July, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: In the Hyrcanian forests, the fine woody debris (FWDs) play a significant role in providing ecological services. However, their importance is often overlooked in management and executive sectors. Also, based on the sustainability indices of natural forests—considering changes in carbon stock and the value of wood products—these seemingly insignificant FWDs predicted to serve as valuable carbon reserves. Both science and economics recognize their significance. To make informed decisions about forestry operations, especially in post-respiration conditions (the rest law of the Hyrcanian forests), it is essential to accurately assess the accumulation and volume changes of these sinks across different parts of the forest. Optimum management techniques, particularly in forestry, can enhance ecological services. Therefore, our upcoming research aimed to analyze spatial statistics related to volume stock changes in FWDs within various sections of the Hyrcanian forests, with a focus on implementing optimal management strategies.

Materials and Methods: The study was conducted in Khairood-kenar forest using a cluster design at different altitude gradients ranging from 100-1800 meters above sea level. To create the cluster design, three circular samples with a radius of 7.32 meters were placed in the form of a triangle with an azimuth angle of 0, 120, and 240 degrees. The distance between each sample was 36.6 meters, and an additional sample of the same area was placed in the center of the design. Each cluster was randomly laid with three replications, resulting in a total of 12 samples across the altitude gradient from sea level. On each transact, the diameter of all dry wells whose central axis is intersected by the transact line was measured and recorded using calipers. Upon initial analysis, after checking for outliers, the volumetric observation variograms were fit using various models based on distance and spatial correlation of variance. Based on the spatial structure, the optimal model, with the highest coefficient of determination (R^2) and the lowest residual sum of squares (RSS), was selected for implementing ordinary kriging interpolation method. Based on the model fitting of the models in different diameter classes, kriging and inverse distance weighting (IDW) methods were used for interpolation and estimation of response variables that were not measured at different distances. Subsequently, the cross-validation method was used to validate the existing estimates of the FWDs volume. The accuracy of the estimation and the accuracy of the performed zoning were evaluated based on the fit between the estimated variable values and the observation values, using coefficient of determination and root mean square error (RMSE) indices.

Results: We discovered that the total volume of FWDs within the researched forest amounts to 24.3 cubic meters per hectare. The volume stock of the first, second, and third diameter class of the FWDs in the study forest is 2.14, 6.01, and 16.23 cubic meter in per hectare in the study forest. The variogram modeling revealed that the spatial variations in the volume of FWDs across

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]

different diameter classes exhibit an average spatial structure. However, when considering the R^2 and RSS values, the fit was not optimal. Interestingly, the kriging results were most accurate for the FWD first diameter class compared to other diameter classes. Despite this accuracy, the overall estimated precision remained poor, with an RMSE (Root Mean Square Error) of 6.32 and an R^2 of 0.16. The result of the variography of the volume inventory of FWDs showed that their first diameter class is isotropic and the other diameter classes are anisotropic. Based on the fact that the kriging method was not effective for estimating the spatial distribution of the FWDs in second and third diameter classes, the IDW technique was used instead. The results obtained from the IDW technique for evaluating the spatial distribution of FWDs in the second and third diameter classes showed that there was no significant accuracy in the estimation. Therefore, it can be concluded from the results that the introduction of the volume of the FWDs in the forest floor under the altitude gradient is not recommended for the study area.

Conclusion: On the basis of the results, the volume stock of the FWDs for different diameter classes along the altitudinal gradients was independent from autocorrelation and spatial correlation. That means the FWDs volume stock variations in different altitudinal gradients of the study forest are influenced by the siliviculture, biological and ecological items with no obvious commonality in this regard. Since the accumulation of the FWDs volume in study forest is not considered as auto-correlated variation, this is expected that the classic tests such as parametric and non-parametric tests can be reliably applicable to examine the response variables among the stand types, and altitudinal gradient.

Keywords: Altitudinal gradient, Carbon storage, IDW, KR, Mapping volume stock

نسخه پیش از انتشار

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-05-02]