بررسی اثرات طرح جنگلداری بر شاخص‌های تنوع گونه درختی پهنه‌بندی شده به‌روش کریجینگ (پژوهش موردی: طرح جنگلداری واتسون در شرق مازندران)

علیرضا حسین‌پور[1*]، حمید جلیلوند[1]، هاتف پری‌نژاد[1]، مریم نیک‌نژاد[1] و امیر سوادکوهی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۱)

چکیده

طرح‌های جنگلداری، با برداشت درختان و نهال‌کاری گونه‌های مختلف در تنظیم تنوع گونه‌های درختی تأثیرگذار بوده‌اند و بررسی تغییرات تنوع گونه‌های درختی و حفظ پایداری توده با استفاده از آماربرداری طرح‌های جنگلداری می‌تواند ابزاری مناسب به‌منظور تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت جنگل‌ها به‌شمار آید. برای بررسی تغییرات تنوع گونه‌های درختی در جنگل می‌توان از شاخص‌هایی نظیر شاخص شانون- وینر و سیمپسون استفاده کرد. در این تحقیق از آماربرداری‌های طرح جنگلداری سری واتسون در سال ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ استفاده شد. در این سال‌ها ۳۶۹ قطعه نمونه دایره‌ای شکل به شعاع ۱۰ آر با شدت ۳/۳ درصد و با شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر با GPS برداشت شد. شاخص‌های سیمپسون و شانون- وینر در قطعات نمونه محاسبه و سپس با استفاده از بررسی هیستوگرام، نمودار Q-Q، سمی‌واریوگرام و RMSE، نرمال بودن داده‌ها و کارایی درون‌یابی به‌روش کریجینگ بررسی شد و نقشه زمین آمار شاخص‌های گفته شده در سال ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ و نیز نقشه تغییرات آنها تهیه شد. نتایج نشان داد، طی دوره ۱۰ ساله اجرای طرح جنگلداری، شاخص‌های تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون-وینر در حدود ۳۰ درصد سطح سری بهبودیافته و حدود ۶۰ درصد عرصه بدون تغییر و حدود ۱۱ درصد منطقه نیز کاهش تنوع گونه‌ای داشته است.

واژه‌های کلیدی: شاخص شانون- وینر، شاخص سیمپسون، واریوگرام، درون‌یابی، شبکه آماری

۱. گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: arhoseinpour88@gmail.com

مقدمه

کلمه تنوع در وسیع‌ترین مفهوم به معنای گوناگونی و اختلاف یک گونه با گونه دیگر است. البته گونه در اینجا تنها به‌معنای گونه گیاهی یا جانوری نیست، بلکه می‌تواند سطوح بسیار بالاتر یا پایین‌تری را دربرگیرد (۱۹ و ۲۳). تنوع زیستی بیان سطوح سازمان‌یافته حیات بر اساس سلسله مراتب ژن، فرد، گونه، جامعه زیستی و اکوسیستم است (۱۳). کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل متحد (UNCED: United Nations Conference on Environment and Development) هرگونه تغییر بین موجودات زنده در تمام منابع شامل زمینی، دریایی، اکوسیستم‌های آبی و فرایندهای اکولوژیکی آن را تنوع زیستی (Biodiversity) می‌نامد. تنوع زیستی در جنگل به حفظ تعادل گازهای اتمسفری، چرخه مواد غذایی، تنظیم آب‌وهوا، حفظ چرخه هیدرولوژیکی، تولید و حفظ خاک کمک می‌کند. همچنین تحقیقات جدید نشان می‌دهد که تنوع زیستی، ظرفیت باروری اکوسیستم‌های جنگلی را زیاد و توانایی آنها را برای سازگار شدن با تغییر وضعیت افزایش می‌دهد (۸). تنوع، عامل ضروری برای ایفای نقش‌های جنگل است. بنابراین حفاظت و مدیریت آن در طراحی جنگل مهم است (۷).

پس از ملی شدن جنگل‌ها در ایران، تهیه و اجرای طرح‌های جنگلداری برای مدیریت و بهره‌برداری از جنگل اجباری شد و مدیریت علمی جنگل‌های ایران به‌ویژه جنگل‌های شمال شکل گرفت. طرح‌های جنگلداری شمال، با برداشت درختان و نهال‌کاری گونه‌های مختلف در تنظیم تنوع گونه‌های درختی تأثیرگذار بوده است و بررسی تغییرات تنوع گونه‌های درختی و حفظ پایداری توده مهم است. بررسی تنوع زیستی می‌تواند ابزاری مناسب به‌منظور تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت جنگل‌ها به‌شمار آید (۲۴). برخی از پژوهشگران (۱۸ و ۲۲) عواملی از قبیل اقلیم، ساختار توده، ترکیب توده، ژئومورفولوژی و فیزیوگرافی را در تنوع زیستی تأثیرگذار می‌دانند. روش‌های جنگلداری و شیوه‌های جنگل‌شناسی نیز بر تنوع گونه‌های درختی تأثیر می‌گذارد و بهره‌برداری صحیح و فعالیت‌های منسجم و دقیق طرح جنگلداری می‌تواند به افزایش تنوع گونه‌های درختی منجر شود، ولی دخالت نادرست و بیش از اندازه سبب کاهش تنوع درختان می‌شود. باید توجه داشت بهره‌برداری از جنگل به‌عنوان آشفتگی (Disturbance) در بوم‌نظام جنگل به رسمیت شناخته شده است (۱۱) و شرایط خاک و میکرواقلیم را از طریق افزایش نور، رطوبت خاک و مواد غذایی در دسترس، تغییر می‌دهد و به‌نوبه خود در شکل دادن به تنوع و ترکیب گیاهان علفی مؤثر است. همچنین بهره‌برداری باعث تغییر در الگوهای تنوع زیستی می‌شود (۱۱، ۱۲ و ۱۶). برای بررسی تغییرات تنوع گونه‌های درختی در جنگل از شاخص‌هایی نظیر شاخص شانون- وینر و سیمپسون می‌توان استفاده کرد (۶). در مطالعه تنوع زیستی گونه‌های چوبی در رویشگاه‌های کرکف جنگل شفارود گیلان مشخص شد شاخص شانون- وینر در لایه نونهال بیشترین مقدار و در لایه درختی کمترین مقدار را دارد درحالی که تنوع سیمپسون در لایه درختی بیشترین و در لایه نهال کمترین مقدار را نشان می‌دهد (۸). نئومن و استارلینگر (۱۷) در تحقیقی که درباره اهمیت شاخص‌های مختلف برای ساختار توده و تنوع در جنگل‌های اتریش انجام دادند به این نتیجه رسیدند که از میان شاخص‌های تنوع در وضعیت‌های مختلف جنگلی، تابع شانون- وینر برای بررسی تنوع گونه‌های درختی مناسب‌تر از سایر شاخص‌هاست.

برای بررسی تنوع درختی و تغییرات آن در اثر اجرای طرح‌های جنگلداری می‌توان با استفاده از نمونه‌برداری با شدت بالا و دقت بسیار زیاد اقدام کرد ولی این روش‌ها پرهزینه و نیاز به نیروی کارشناسی و زمان زیاد است و اجرای آن در کلیه طرح‌های جنگلداری، غیرممکن است. درنتیجه پیدا کردن روشی که بتواند تغییرات تنوع گونه‌های درختی را طی اجرای طرح‌های جنگلداری بررسی کند و هم از نظر هزینه و نیروی کارشناسی کافی و قابلیت فراگیر بودن آن در طرح‌های جنگلداری شمال کشور قابل استفاده باشد، بسیار ضروری است. در طرح‌های جنگلداری شمال کشور، به‌طور عمومی هر ۱۰ سال یک‌بار آماربرداری با شدت ۳/۳ درصد از سطح

جنگل‌هایی که نیاز به طرح تجدید نظر داشتند، صورت می‌گرفت و شبکه آماری ۲۰۰ × ۱۵۰ متر برای سراسر جنگل‌های شمال به‌صورت ثابت طراحی و استفاده می‌شد که طول کوچک این شبکه در راستای شمال و جنوب شبکه بود. هر قطعه نمونه، دایره‌ای به شعاع ۱۰ آر بوده و اطلاعاتی نظیر قطر برابر سینه تمامی درختان بالای ۱۲/۵ سانتی‌متر، نوع گونه و غیره اندازه‌گیری می‌شد. با توجه به موجود بودن آمار طرح‌های جنگلداری، با محاسبه شاخص‌های تنوع گونه‌ای می‌توان طرح‌ها را بررسی کرد. اگرچه فقط با آنالیز داده‌های به‌دست آمده از قطعات نمونه دایره‌ای شکل، بدون درنظر گرفتن روابط مکانی در یک پارسل، می‌توان تغییرات آمیختگی و نوع گونه‌های درختی را بررسی کرد. با توجه به پراکنش مکانی قطعات نمونه، می‌توان شاخص‌های تنوع گونه‌ای در سطح قطعات نمونه را محاسبه و با درون‌یابی آن در سطح پارسل و یا سری، نقشه پهنه‌بندی شاخص‌های تنوع گونه‌های درختی نظیر شاخص شانون- وینر و سیمپسون را تهیه کرد. همچنین تغییرات ده‌ساله آن را به‌صورت نقشه تغییرات، بررسی کرد تا تغییرات تنوع گونه‌های درختی با درنظر گرفتن روابط مکانی بررسی شود.

از روش‌های مختلفی برای درون‌یابی اطلاعات قطعات نمونه آماری می‌توان استفاده کرد. به فرایند براورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده، به‌کمک نقاط مجاور و معلوم درون‌یابی گویند. این فرایند 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 (۵). با توجه به گستردگی جنگل‌های شمال کشور، کوهستانی بودن عرصه‌ها و صرف زمان و هزینه زیاد، آماربرداری صددرصد برای تهیه نقشه‌های صحیح و دقیق ممکن نیست. در این میان انتظار می‌رود استفاده از روش‌های زمین‌آمار که در براورد متغیرهای جنگل از ارتباط مکانی متغیرها بر اساس نمونه‌های برداشت شده استفاده می‌شود، نتایج بهتری نسبت به روش‌های معمول کلاسیک ارائه کند (۱). درعلوم مختلف کاربردهای فراوانی از روش‌های درون‌یابی در براورد چگونگی توزیع و تخمین پارامترها مانند مقدار رطوبت خاک، هدایت الکتریکی اشباع، اسیدیته و تعیین سطح ایستابی به چشم می‌خورد، میزان صحت نتایج درون‌یابی به دقت مکانی، تعداد، توزیع نقاط معلوم و مدل مورد استفاده بستگی دارد. بهترین نتایج هنگامی به‌دست می‌آیند که رفتار تابع ریاضی با رفتار پدیده مورد نظر مشابه باشد. زمانی که تغییرات یک پارامتر در یک منطقه همواره یکسان باشد، مدلی که می‌تواند بر اساس میانگین‌گیری درون‌یابی کند، مناسب است. اما در مورد یک منطقه با تغییرات شدید ارتفاعی نیاز به مدلی است که تغییرات شدید را پیش‌بینی کند (۹). 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 زمین‌آماری را برای پیش‌بینی مشخصه‌های جنگل همانند رویه زمینی، ارتفاع، وضعیت سلامت و زی‌توده جورجیای غربی در آمریکا به‌کار گرفتند. برای تهیه نقشه‌های موضوعی جنگل، از درون‌یابی اطلاعات مراکز نمونه‌های آماری می‌توان استفاده کرد. یکی از این روش‌های مهم و کاربردی درون‌یابی، روش زمین آمار کریجینگ است (۱۲، ۱۴، ۱۵، ۲۰ و 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 براورد کند (۴). فریمن و مویسن (۱۰) استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ را به‌عنوان روشی مناسب برای بهبود نقشه‌های زی‌توده جنگل ارزیابی کردند. فخیره و زیلایی (۸) برای براورد تراکم درختان در جنوب غرب ایران از روش درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند. اخوان و همکاران (۳) در بررسی ساختار مکانی متغیرهای کمی جنگل و امکان استفاده از روش زمین آمار کریجینگ برای براورد و تهیه نقشه از آنها در یک جنگل‌کاری ۱۸ ساله پلت نشان دادند که رویه زمینی براورد شده به‌روش کریجینگ با مقدار واقعی آن تفاوت معنی‌داری ندارد، ولی دقت

براورد کریجینگ دو برابر دقت براورد به‌روش کلاسیک است و از این روش زمین آمار می‌توان در مدیریت جنگل‌کاری‌ها استفاده کرد اما اخوان و همکاران (۲) در تحقیق دیگری به‌منظور بررسی ساختار مکانی و براورد 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، براورد مناسبی از موجودی حجمی ارائه 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 درنتیجه به‌علت تغییرپذیری زیاد در فواصل کوتاه و نیز تناوبی بودن تغییرات، با روش نمونه‌برداری به‌کار رفته، استفاده از روش زمین‌آمار، برای براورد موجودی حجمی در این جنگل مناسب نیست. با توجه به اینکه بسیاری از تحقیقات قابلیت روش کریجینگ را در درون‌یابی و تعمیم اطلاعات نشان دادند، از این روش پس از بررسی قابلیت، در تولید نقشه استفاده شد.

این پژوهش با تهیه نقشه پهنه‌بندی توابع تنوع گونه‌ای نظیر شانون- وینر و سیمپسون (۶) به‌روش کریجینگ، تغییرات تنوع گونه‌های درختی را طی ۱۰ سال اجرای طرح جنگلداری بررسی می‌کند و در این راستا از نقشه‌های تعداد در هکتار و حجم در هکتار که به‌روش کریجینگ درون‌یابی شده‌اند نیز بهره می‌برد.

مواد و روش‌ها

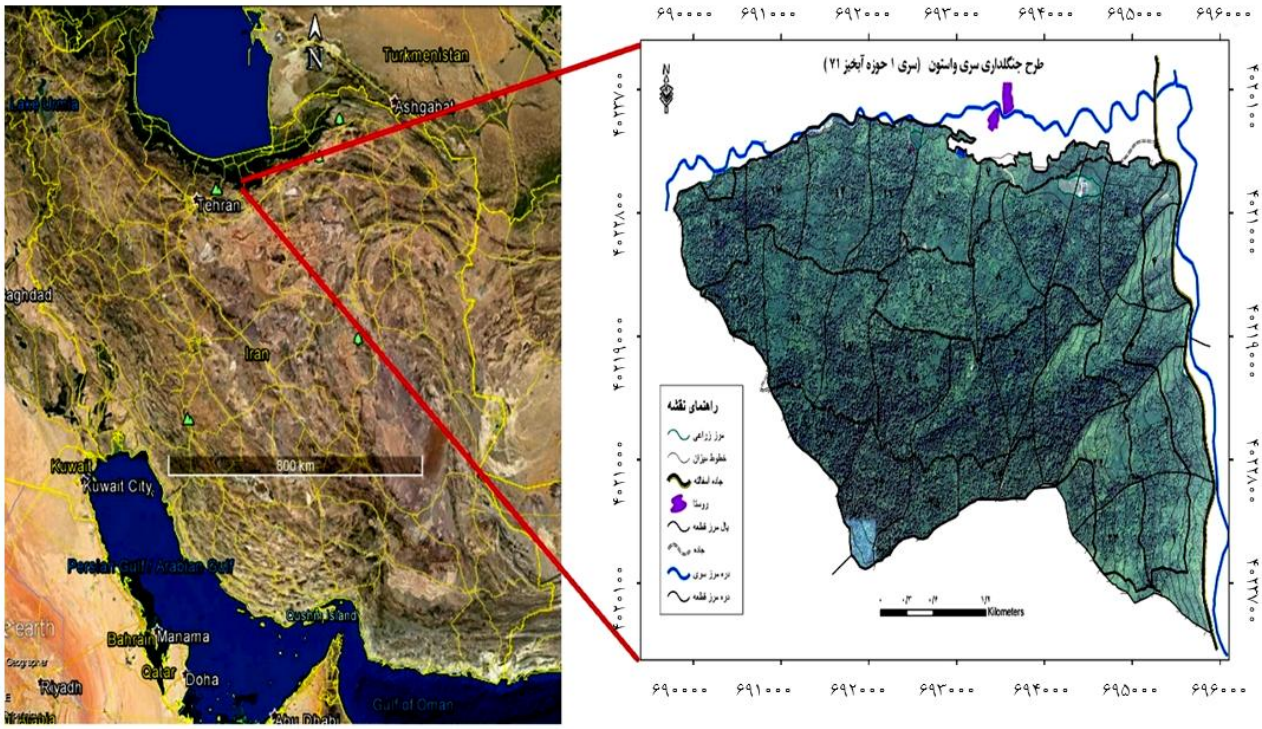
منطقه مورد مطالعه

سری چهار بخش یک طرح جنگلداری هفتخال در محدوده شهرستان ساری در استان مازندران منطقه مورد مطالعه بوده است. این سری در محدوده ۶۸۹۷۷۸ تا ۶۹۵۶۶۲ شرقی و ۴۰۲۰۰۳۸ تا ۴۰۲۳۵۲۸ شمالی و در حوزه آبخیز شماره ۷۱ شمال کشور قرار دارد (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع این سری جنگلداری به‌ترتیب ۲۸۰ و ۱۰۳۰ متر از سطح دریاست. ترکیب گونه‌ها به‌ترتیب ۹/۸ درصد راش، ۱۸/۲ درصد ممرز، ۱۰/۷ درصد توسکا، ۱/۳ درصد بلندمازو، ۲۰/۸ درصد سایرگونه‌های صنعتی و ۳۹/۲ درصد گونه های هیزمی است. انواع برش‌های تک‌گزینی و تنک‌کردن طی دوره ۱۰ ساله انجام شده است. سطح این سری ۱۴۵۹ هکتار، سطح حفاظتی حمایتی ۲۸۲ هکتار و سطح جنگل‌کاری سنواتی موفق ۲۸۹ هکتار است.

در این تحقیق از داده‌های آماری طرح جنگلداری که ابتدای هر دوره اندازه‌گیری می‌شد، استفاده شد. در روش آماربرداری طرح‌های جنگلداری شمال کشور، از شبکه آماری استاندارد سازمان جنگل‌ها و از GPS های رایج در طرح جنگلداری نظیر مدل Garmin60sx برای پیاده‌سازی مراکز آماربرداری روی زمین استفاده شد. از کالیپر برای اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان و همچنین از دستگاه شیب‌سنج نظیر سونتو برای تعیین ارتفاع درختان استفاده شد.

روش کار

در طرح‌های جنگلداری شمال کشور، معمولاً هر ۱۰ سال از سطح جنگل‌هایی که نیاز به طرح تجدید نظر داشتند، آماربرداری با شدت ۳/۳ درصد صورت می‌گرفت و از شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر استفاده می‌شد که با توجه به وضعیت توپوگرافی جنگل‌های شمال، طول کوچک این شبکه در راستای شمال و جنوب طراحی شده بود. هر قطعه نمونه، دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع بوده و اطلاعاتی نظیر قطر برابر سینه تمامی درختان بالای ۱۲/۵ سانتی‌متر در کلاسه‌های قطری ۵ سانتی‌متری، نوع گونه، درجه کیفی ۶ متر اول تنه، ارتفاع نزدیک‌ترین و قطورترین درخت در نمونه و غیره اندازه‌گیری و پس از آن اطلاعات فرم‌های آماری وارد نرم‌افزار FST (نرم‌افزار سازمان جنگل‌ها و مراتع به‌منظور ورود اطلاعات میدانی و آنالیز داده‌ها) می‌شد. شبکه آماربرداری سری واتسون شامل ۳۶۹ نمونه آماری بوده است که در سال ۱۳۹۳ نظیر سال ۱۳۸۳ با استفاده از GPS آماربرداری شد. داده‌های آماری که وارد نرم‌افزار FST شده بود، از آرشیو سازمان جنگل‌ها تهیه شد و برای آنالیز داده‌ها و محاسبه تابع تنوع گونه‌ای شانون- وینر و سیمپسون در قطعات



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

نمونه آماربرداری، از نرم‌افزار FIA (Forest Inventory Analizer) استفاده شد. با استفاده از این نرم‌افزار (که با زبان برنامه‌نویسی C# توسط گروه تحقیق برنامه‌نویسی و توسعه یافته است)، بانک اطلاعات نرم‌افزار FST، آنالیز شد. به‌منظور بررسی تنوع گونه‌ای از توابع زیر استفاده شد:

۱- تابع تنوع گونه‌ای شانون- وینر (۱۹۸۸):

$$H = \sum_{i=1}^{S} PiLn(Pi)$$

۲- تابع تنوع گونه‌ای سیمپسون (۱۹۴۹):

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^{S} (Pi)^2$$

S = تعداد گونه

n_i = تعداد افراد یا وفور گونه i ام

N = تعداد کل افراد یا وفور گونه‌ها

P_i = نسبت تعداد افراد گونه iام به تعداد کل افراد یا نسبت وفور گونه iام به مجموع وفور گونه‌ها

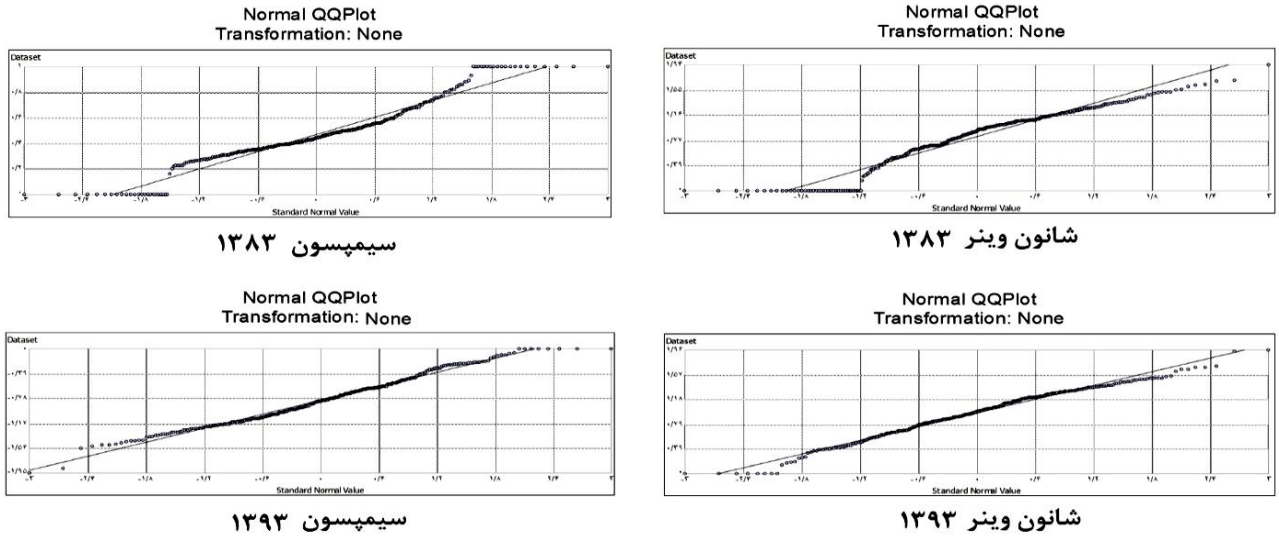
نظر به اینکه تغییرات تعداد در هکتار گونه‌ها بر شاخص‌های تنوع گونه شانون- وینر و سیمپسون تأثیرگذار است، تعداد در هکتار نیز در هر نمونه آماری، محاسبه شد. علاوه بر آن با توجه به تأثیر احتمالی برش‌های مختلف طرح‌های جنگلداری بر تنوع گونه‌های درختی جنگل، پارامتر حجم در هکتار نیز در هر قطعه نمونه محاسبه شد.

جداول اطلاعاتی به‌دست آمده و مختصات مکانی قطعات نمونه آماری در نرم‌افزار ArcGIS لینک شد و نقشه نقطه‌ای حاوی اطلاعاتی نظیر شماره قطعه نمونه و تعداد در هکتار هر نمونه، شاخص شانون- وینر و سیمپسون تولید شد. با بررسی مطالعات مختلف مقایسه روش‌های درون‌یابی اطلاعات، از روش کریجینگ، برای تهیه نقشه زمین‌آمار موجودی حجمی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. کارایی روش کریجینگ در تهیه نقشه‌های مورد استناد، با بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از بررسی هیستوگرام، نمودار Q-Q، سمی‌واریوگرام و محاسبه RMSE آزمایش شد. با استفاده از قطعات نمونه (۳۶۹ قطعه نمونه) و روش Ordinary، پارامترهای اپتیمم Lag Size،Nugget و Partial Sill برای تولید نقشه کریجینگ

جدول ۱. پارامترهای بررسی نرمال بودن داده‌ها و کارایی روش درون‌یابی کریجینگ

تابع	سال	چولگی (Skewness)	کشیدگی (Kurtosis)	RMSE*
شانون–وینر	۱۳۸۳	۰/۵۰۹	۲/۶۳۴	۰/۳۹۷
شانون–وینر	۱۳۹۳	۰/۳۵۱	۲/۹۵۸	۰/۳۵
سیمپسون	۱۳۸۳	۰/۳۴۵	۳/۵۶۳	۰/۲۲
سیمپسون	۱۳۹۳	۰/۹۳۸	۳/۳۹۷	۰/۱۷۵

Root Mean Square Error *



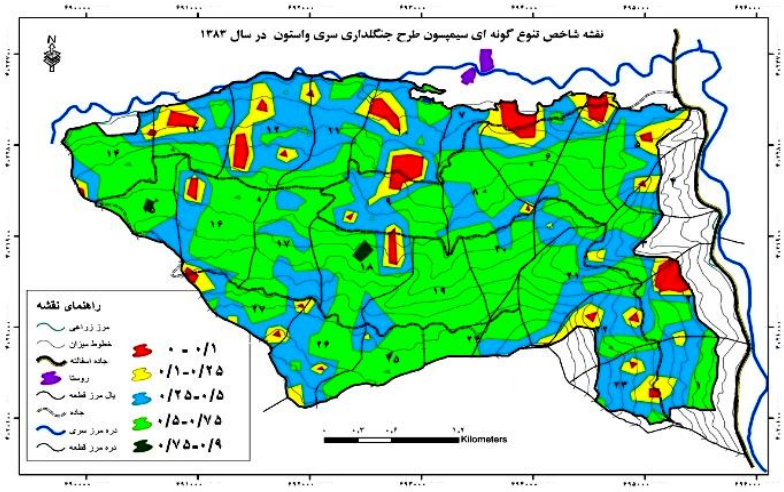
شکل ۲. نمودار Q-Q شاخص‌های تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون- وینر قطعات نمونه در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳

مورد نظر بررسی قرار گرفتند و درنهایت بهترین حالت ممکن انتخاب شد. نقشه‌های درون‌یابی شده شانون- وینر و سیمپسون در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ برای مقایسه، کلاسه‌بندی و مساحت هر کلاسه محاسبه و نقشه تغییرات (Change Detection) این دو تابع نیز تولید و مساحی شد. در نقشه تغییرات، مناطقی که شاخص شانون- وینر و یا سیمپسون طی دوره ۱۰ ساله از کلاسه‌ای با تنوع گونه‌ای پایین‌تر به یک کلاسه یا بیش از یک کلاسه با تنوع گونه‌ای بیشتر تغییر کرده بودند به‌عنوان مناطق بهبودیافته طبقه‌بندی شدند و مناطقی که طی این دوره به یک کلاسه یا بیش از یک کلاسه پایین‌تر از نظر تنوع گونه‌ای کاهش یافته بودند، به‌عنوان مناطق کاهش تنوع گونه‌ای درنظر گرفته شدند. مناطقی نیز وجود داشتند که تغییر کلاسه نداشتند و به‌عنوان مناطق بدون تغییر طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های تغییرات تعداد در هکتار و حجم در هکتار نیز با توجه به تقسیم‌بندی گفته شده، تولید و مساحی شدند.

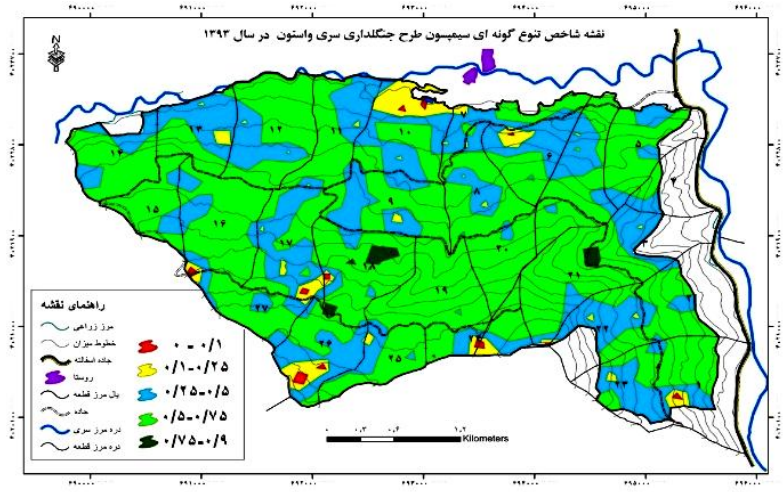
نتایج

بررسی‌ها نشان داد که بهترین نقشه درون‌یابی به‌روش کریجینگ زمانی تولید شد که روش کریجینگ معمولی(Ordinary Kriging)، پارامتر Lag size برابر ۱۴۰ تا ۳۵۰، پارامتر Partial sill برابر ۰/۰۵ بوده است. جدول ۱ نتایج پارامترهای سنجش نرمال بودن داده‌های مورد استفاده در تهیه نقشه کریجینگ با استفاده از بررسی هیستوگرام و سمی‌واریوگرام را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز نمودار Q-Q شاخص‌های تنوع گونه‌ای قطعات نمونه را در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها و کارایی روش کریجینگ را در تهیه نقشه‌های مورد نظر مشخص می‌کند.

(الف)



(ب)



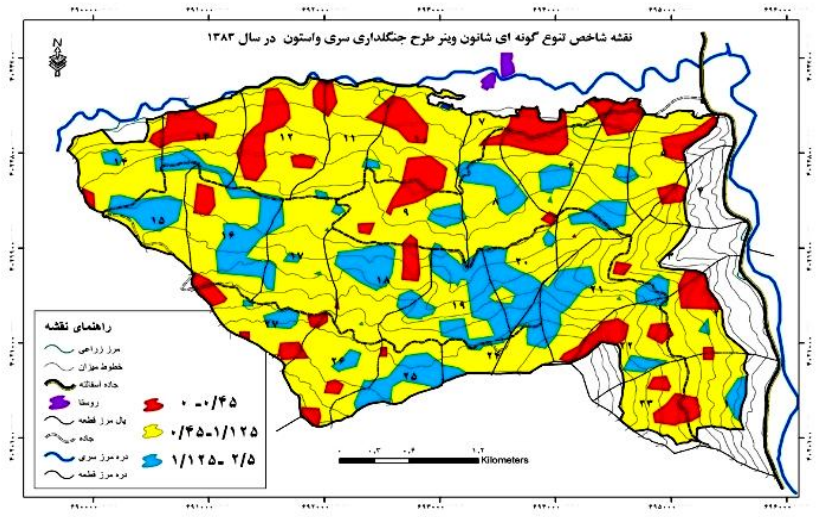
شکل ۳. نقشه شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون طرح جنگلداری سری واتسون در سال‌های: الف) ۱۳۸۳ و ب) تا ۱۳۹۳ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

همچنین، شبکه آماری استاندارد سازمان جنگل‌ها با ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر، بیانگر نرمال بودن داده‌ها از نظر پراکنش مکانی بوده است.

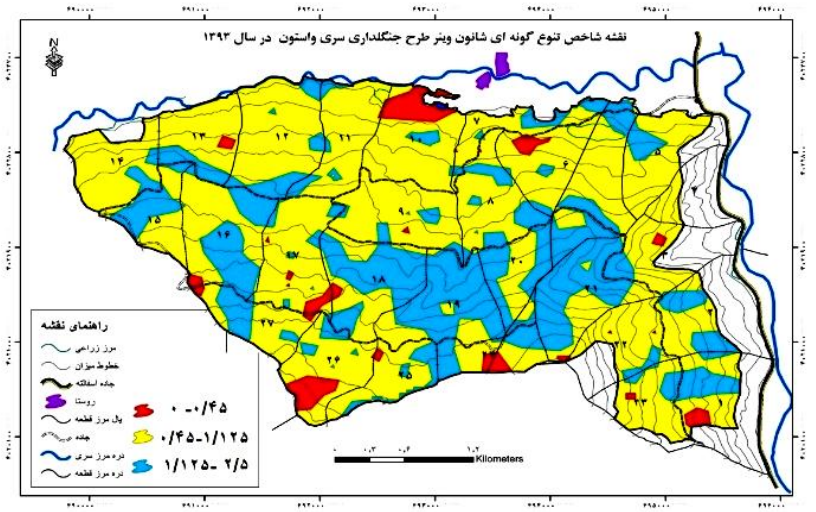
شکل ۳، نقشه زمین آمار شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ و شکل ۴ نقشه شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر را طی این دوره نشان می‌دهد. شکل ۵ نقشه تغییرات شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون- وینر را طی این دوره بازگو می‌کند. شکل ۶ نیز نقشه تغییرات تعداد در هکتار و حجم در هکتار را طی دوره ۱۰ ساله اجرای طرح جنگلداری مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۲ تغییرات کلاسه‌های شاخص سیمپسون در سطح سری برحسب درصد طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. سطح مناطقی که شاخص سیمپسون کمتر از ۰/۵ بوده کاهش یافته و سطح مناطقی که این شاخص بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ بوده بیشترین افزایش را دارا بوده است. جدول ۳ تغییرات کلاسه‌های شاخص شانون- وینر را در سطح سری برحسب درصد طی این دوره نشان می‌دهد. سطح مناطقی که شاخص شانون- وینر کمتر از ۰/۴۵ بوده، کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته و سطح مناطقی که این شاخص بین ۱/۱۲۵ تا ۲/۵ بوده، بیشترین افزایش را شاهد بوده است. جدول ۴ نیز تغییرات شاخص‌های تنوع گونه‌ای و پارامترهای توده در سطح سری برحسب درصد طی این دوره ۱۰ ساله را با توجه

(الف)



(ب)



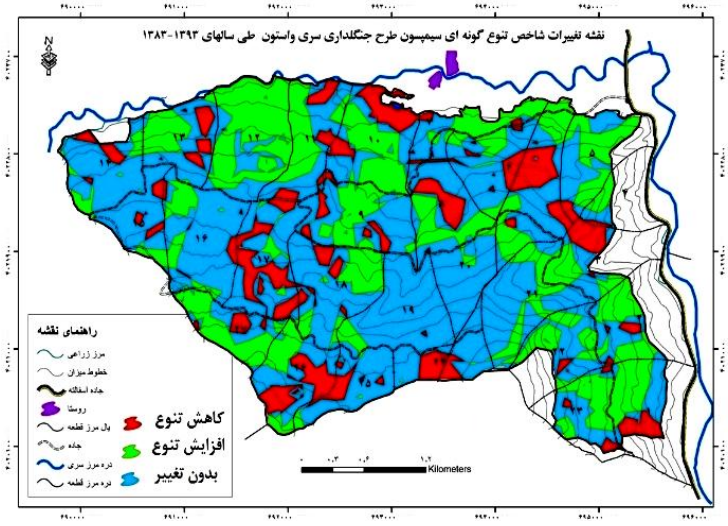
شکل ۴. نقشه شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر طرح جنگلداری سری واستون در سال‌های: الف) ۱۳۸۳ و ب) ۱۳۹۳(رنگی در نسخه الکترونیکی)

به بهبود شاخص تنوع گونه درختی و یا کاهش آن نشان می‌دهد. شاخص تنوع گونه‌های درختی در حدود ۳۰ درصد عرصه افزایش یافته و حدود ۶۲ -۵۵ درصد عرصه از نظر تنوع گونه‌ای تغییری نداشته است و حدود ۱۳/۵ -۹/۵ درصد عرصه کاهش تنوع گونه‌ای را داشته است. حدود ۴۵ درصد عرصه بهبود تعداد در هکتار، ۴۸ درصد بدون تغییر و حدود ۷ درصد عرصه کاهش تعداد در هکتار را تجربه کرده است. حدود ۲۷ درصد عرصه افزایش حجم در هکتار، ۵۴ درصد بدون تغییر و ۱۹ درصد عرصه کاهش حجم در هکتار داشته است.

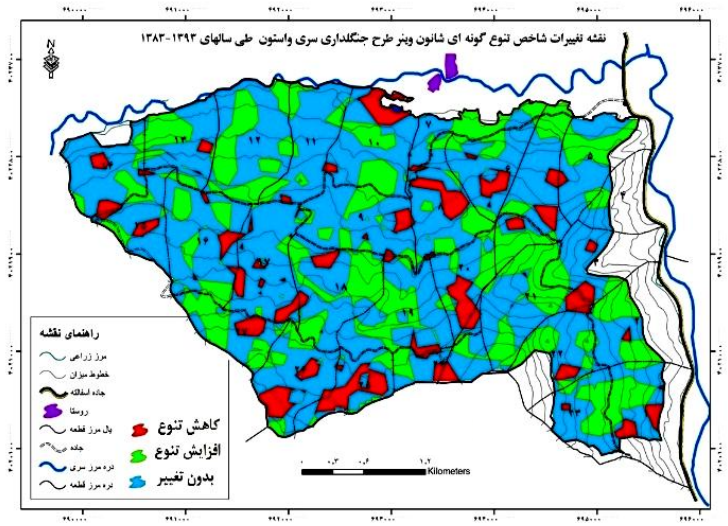
بحث

بررسی نرمال بودن توده از نظر توزیع مکانی و اطلاعات شاخص‌های تنوع گونه‌ای قطعات نمونه برای استفاده از روش کریجینگ ضروری است تا میزان همگنی توده بررسی شود (۲). زیرا وجود اثر قطعه‌ای زیاد در واریوگرام، براورد مناسبی از پهنه‌بندی شاخص‌های تنوع گونه‌ای تولید نمی‌کند. جدول ۱، شاخص‌های چولگی (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis)، نرمال بودن داده‌های شاخص‌های شانون- وینر و سیمپسون قطعات نمونه را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۲ نشان‌دهنده این موضوع با توجه به نمودار Q-Q است. اجرای طرح جنگلداری

(الف)



(ب)

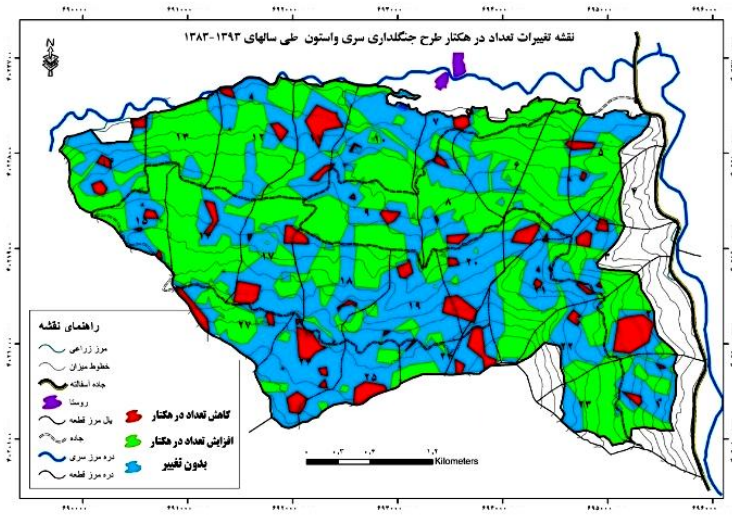


شکل ۵. نقشه تغییرات شاخص تنوع گونه‌ای الف) سیمپسون و ب) شانون- وینر در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

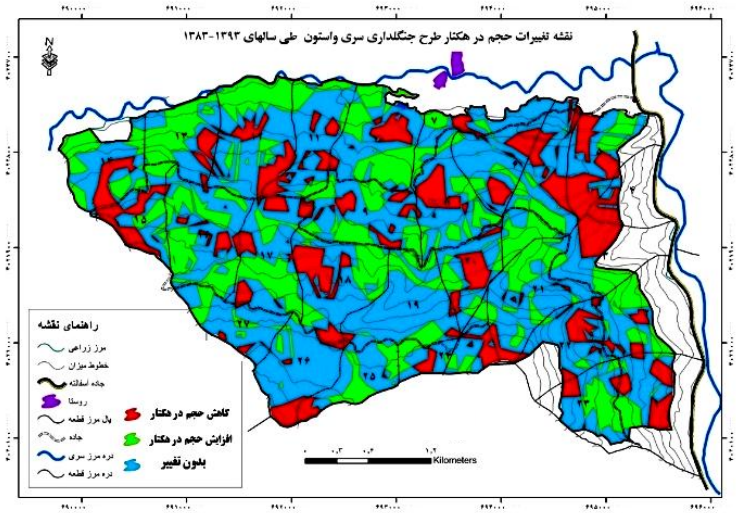
سبب بهبود نمودار Q-Q شاخص شانون- وینر نیز در این دوره شده است. بررسی سمی‌واریوگرام توده نیز آن را فاقد اثرات قطعه‌ای زیاد نشان داد. اثرات قطعه‌ای در واریوگرام از موانع کاربرد روش کریجینگ است (۲). بررسی جذر میانگین مربع خطا (RMSE) نیز نتایج قابل قبولی را نشان داده است. فواصل کاملاً منظم قطعات نمونه در این تحقیق نیز حاکی از نرمال بودن پراکنش مکانی قطعات نمونه است. در مجموع، این تحقیق نشان‌دهنده قابلیت روش کریجینگ در تهیه نقشه درون‌یابی پارامترهای جنگل است و با نتایج تحقیقات اخوان و همکاران (۳ و ۴)، فریمن و مویسن (۱۰)، هولونگ و همکاران (۱۲)، کراوچنکو و بولوگ (۱۴)، لو و ونگ (۱۵)، رایزر (۱۹) و سیمئوناکیس (۲۱) مطابقت دارد. البته با نتایج تحقیقات اخوان و همکاران (۲) مطابقت ندارد زیرا در جنگل مورد مطالعه، داده‌ها نرمال بوده و اثر قطعه‌ای و ناهمگنی داده‌ها وجود ندارد و روش کریجینگ قابلیت مناسبی برای تهیه نقشه دارد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۳ کلاسه‌های پایین شاخص سیمپسون (مناطق قرمز و زرد) وسعت و پراکنش بیشتری (شکل ۳- الف) نسبت به سال ۱۳۹۳ (شکل ۳- ب) داشتند. جدول ۲ نیز نشان می‌دهد که کلاسه‌های این شاخص در سال ۱۳۸۳ که کمتر از ۰/۵ بوده، در سال ۱۳۹۳ از نظر سطح کاهش

(الف)



(ب)



شکل ۶. نقشه تغییرات الف) تعداد در هکتار و ب) حجم در هکتار طی سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۳ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. تغییرات شاخص سیمپسون در سطح سری برحسب درصد طی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳

کلاسه	سطح کلاسه در سال ۱۳۸۳ (درصد)	سطح کلاسه در سال ۱۳۹۳ (درصد)	تغییرات سطح کلاسه (درصد)
۰–۰/۱	۳/۶۵	۰/۳۶	–۳/۲۹
۰/۱–۰/۲۵	۸/۸۹	۳/۴۷	–۵/۴۲
۰/۲۵–۰/۵	۳۷	۳۲/۴۷	–۴/۵۳
۰/۵–۰/۷۵	۵۰/۲۰	۶۳/۰۷	۱۲/۸۷
۰/۷۵–۰/۹	۰/۲۶	۰/۶۲	۰/۳۶

جدول ۳. تغییرات شاخص شانون- وینر در سطح سری بر حسب درصد طی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳

کلاسه	سطح کلاسه در سال ۱۳۸۳ (درصد)	سطح کلاسه در سال ۱۳۹۳ (درصد)	تغییرات سطح کلاسه (درصد)
۰–۰/۴۵	۱۳/۳۶	۳/۴۸	–۹/۸۸
۰/۴۵–۱/۱۲۵	۶۸/۵۳	۶۶/۷۹	–۱/۷۴
۱/۱۲۵–۲/۵	۱۸/۱۲	۲۹/۷۴	۱۱/۶۲

جدول ۴. تغییرات شاخص‌های تنوع گونه‌ای و پارامترهای توده در سطح سری برحسب درصد طی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳

تغییرات	سیمپسون	شانون- وینر	تعداد در هکتار	حجم در هکتار
کاهش یافته	۱۳/۴۷	۹/۵۷	۶/۹۸	۱۸/۷۹
بهبود یافته	۳۰/۷۸	۲۸/۶۶	۴۵/۱۰	۲۷/۳۷
بدون تغییر	۵۵/۷۶	۶۱/۷۷	۴۷/۹۲	۵۳/۸۳

یافته، اما کلاسه ۰/۷۵ –۰/۵ افزایش سطح داشته‌اند. شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۳ کلاسه پایین شاخص شانون- وینر (مناطق قرمز) سطح و پراکنش بیشتری (شکل ۴- الف) نسبت به سال ۱۳۹۳ (شکل ۴- ب) دارد و جدول ۳ نیز نشان می‌دهد که کلاسه این شاخص در سال ۱۳۸۳ که کمتر از ۰/۴۵ بوده در سال ۱۳۹۳ از نظر سطح کاهش یافته‌اند اما کلاسه بالاتر (۲/۵–۱/۱۲۵) افزایش سطح دارند. این نتایج نشانگر این موضوع است اگرچه بهره‌برداری از جنگل به‌عنوان آشفتگی در بوم‌نظام جنگل به رسمیت شناخته شده است (۱۰)؛ اما طراحی و اجرای درست طرح جنگلداری از طریق دخالت در ترکیب گونه‌های درختی با استفاده از برش‌های تک‌گزینی و تنک‌کردن و نیز نهال‌کاری با گونه‌های مختلف سبب افزایش سطح کلاسه‌های بالاتر شاخص‌های تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون-وینر شده است. شکل ۵ به ما کمک می‌کند تغییرات شاخص‌های تنوع گونه‌ای را از نظر توزیع مکانی بررسی کنیم. شکل ۵-الف و جدول ۴ نشان می‌دهد عرصه مورد مطالعه از نظر شاخص سیمپسون در حدود ۳۰ درصد بهبود یافته (مناطق سبز) اما حدود ۱۳ درصد عرصه (مناطق قرمز) نیز کاهش تنوع گونه‌ای را داشته است. شکل ۵- ب و جدول ۴ نیز نشان‌دهنده همین موضوع است. شکل ۵ همچنین بازگو کننده اختلاف شاخص سیمپسون و شانون- وینر در شرایط مساوی است و نشانگر این موضوع است که توزیع مکانی تغییرات شاخص سیمپسون و شانون- وینر یکسان نیست و با وجود تغییرات یکسان قطعات نمونه، روش و پارامترها طی ۱۰ سال، توزیع مکانی تغییرات این شاخص‌ها یکسان نیست، هر چند از نظر تغییرات عددی نزدیک به هم هستند. با توجه به درصد سطح بهبود یافته و نیز سطح بدون تغییر می‌توان نتیجه گرفت که عملیات‌های اجرایی این طرح جنگلداری در مجموع سبب بهبود شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون- وینر شده است اما در حدود ۱۱ درصد منطقه نیز کاهش تنوع گونه‌ای داشته است و این موضوع، حساسیت برای جلوگیری از دخالت‌هایی که سبب کاهش تنوع گونه‌های درختی می‌شود، را بیشتر می‌کند. نتایج این پژوهش در زمینه تغییر تنوع گونه‌ای منتج از اجرای طرح جنگلداری، با نتایج تحقیقات گاتوی و همکاران (۱۱)، هولونگ و همکاران (۱۲) و منگ و همکاران (۱۶) در زمینه اثر بهره‌برداری در تغییر الگوهای تنوع زیستی مطابقت دارد.

شکل ۶- الف و جدول ۴ نشانگر بهبود تعداد در هکتار عرصه طی دوره ۱۰ ساله است اما توجه به توزیع مکانی مناطق بهبودیافته نقشه تعداد در هکتار و مقایسه آن با مناطق بهبودیافته نقشه تغییرات شاخص سیمپسون و شانون- وینر (شکل ۵) روشن می‌سازد که بهبود تعداد در هکتار در عرصه جنگلی حتماً منجر به بهبود شاخص‌های تنوع گونه‌ای در همان منطقه نمی‌شود و حتی ممکن است منجر به کاهش شاخص تنوع گونه‌ای شود. توجه به زادآوری و جنگل‌کاری و استقرار گونه‌هایی که تعداد در هکتار آنها در عرصه کم است، می‌تواند رابطه‌ای مستقیم بین افزایش تعداد در هکتار گونه‌ها و افزایش شاخص‌های تنوع گونه‌ای ایجاد کند. مناطقی که کاهش تعداد در هکتار داشته‌اند نیز کاهش تنوع گونه‌ای حادث نشده است و حتی در برخی مناطق منجر به افزایش تنوع گونه‌ای شده است و این موضوع اهمیت مهارت نشانه‌گذار را طی برش‌های تک‌گزینی و تنک کردن نشان می‌دهد. شکل ۶- ب و جدول ۴ بهبود حجم در هکتار را در ۲۷ درصد سطح عرصه نشان می‌دهد، اما کاهش حجم در هکتار در ۱۹ درصد سطح نیز دیده

می‌شود. توجه به توزیع مکانی مناطق کاهش یافته حجم در هکتار و مقایسه آن با تغییرات شاخص سیمپسون و شانون- وینر (شکل ۵) روشن می‌سازد که کاهش حجم در هکتار در عرصه جنگلی در اغلب مناطق منجر به کاهش شاخص‌های تنوع گونه‌ای در همان منطقه نشده است و این موضوع نشانگر توجه به تنوع گونه‌ای در هنگام نشانه‌گذاری طی برش‌های تک‌گزینی و تنک کردن درختان بوده است. اگرچه تحقیقات نئومن و استارلینگر (۱۷) نشان داد که از میان شاخص‌های تنوع در وضعیت‌های مختلف جنگلی، تابع شانون- وینر برای بررسی تنوع گونه‌های درختی مناسب‌تر از سایر شاخص‌هاست اما نتایج مشابه شاخص‌های سیمپسون و شانون- وینر در زمینه تغییر تنوع گونه‌ای حاصل از اجرای طرح جنگلداری در این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون نیز برای این منظور مناسب است.

نتیجه‌گیری

بررسی نرمال بودن شاخص‌های تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون- وینر قطعات نمونه نشان داد روش درون‌یابی کریجینگ کارایی لازم برای تهیه نقشه‌های زمین‌آمار شاخص‌های تنوع گونه درختی با هدف بررسی اثرات طرح جنگلداری را دارد. با توجه به درصد سطح بهبود یافته و نیز سطح بدون تغییر شاخص‌های تنوع گونه‌ای بررسی شده طی دوره ۱۰ ساله اجرای طرح جنگلداری، می‌توان نتیجه گرفت که عملیات اجرایی این طرح نظیر پاک‌کردن، تنک‌کردن، نشانه‌گذاری و برداشت درختان با اولویت افزایش آمیختگی در مجموع سبب بهبود شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون- وینر شده است، اما در حدود ۱۱/۵ درصد منطقه نیز کاهش تنوع گونه‌ای داشته است. توجه به جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی سازگار و توجه به اصل حفظ و بهبود آمیختگی توده در بهبود شاخص‌های تنوع گونه‌های درختی مؤثر است. با توجه به توقف طرح‌های جنگلداری، بررسی اثرات اجرای طرح‌های جنگلداری در بهبود تنوع گونه‌ای جنگل ضروری است تا عملکرد حدود ۵ دهه طرح‌های جنگلداری در این زمینه بررسی شود و وجود داده‌های آماربرداری شده طرح‌های جنگلداری، امکان پایش تغییرات را مقدور می‌سازد. از طرفی نتایج این تحقیق نیز بیانگر قابلیت روش کریجینگ در پهنه‌بندی تغییرات تنوع گونه‌ای حاصل از اجرای طرح‌های جنگلداری است و می‌توان از این روش در بررسی سایر مناطق جنگلی دارای طرح جنگلداری استفاده کرد و از نتایج حاصل در طرح‌های جایگزین مدیریت منابع جنگلی بهره جست.

منابع مورد استفاده

1. Aertsen, W., V. Kint, K. Wilpert, D. Zirlewagen, B. Muys and J. Vanorshoven. 2012. Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. *Forestry* 85(4): 539-550.
2. Akhavan, R., M. Zobeiri, Gh. 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 of Natural Resources Research* 59(1): 89-102. (In Farsi).
3. 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 Farsi).
4. Akhavan, R., H. Kiadaliri, 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 Farsi).
5. Asakereh, H. 2008. Application of the Kriging method in precipitation modification. *Geography and Development Magazine* 12: 25-42. (In Farsi).
6. Barnes, B. V. and J. Wiley. 1998. Forest Ecology, INC., 773 p.
7. Carlsson, M. 1999. Method for integrating planning of timber production and biodiversity: case study. *Journal of Forest Research* 29: 1183-1191.
8. Fakhire, A. and M. Najafi Zilaie. 2014. Comparison of different Kriging methods to estimate the tree density. *Geography and Development Magazine* 20(7): 204-212. (In Farsi).

9. Fazelnia, G., Y. Hakimodost and Y. Balyani. 1393. Comprehensive Guide to GIS Application Models in Urban, Rural and Environmental Planning (Vol. I). Azadeh Pima Publishing, Zabol. 249 p. (In Farsi).
10. 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.
11. Gotway, C. A., R. B. Ferguson, G. W. Hergert and T. A. Peterson. 1996. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. *Soil Science Society of America Journal* 60: 1237-1247.
12. 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 of Soil Science* 5(1): 62-73.
13. Jeffrey, A. M. 2006. Lessnos from the past: Forest and Biodiversity. *Scientific American* 225(3): 116-132.
14. kravchenko, A. and D. G. Bullok. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy 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. Neumann, T. M. and F. Starlinger. 2001. The Significance of indices for stand Structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management* 145: 91-106.
18. Pausas, J. G., J. Carreras, A. Ferre and X. Font. 2003. Coarse-scale plant species richness in relation to environmental heterogeneity *Journal of Vegetation Science* 14: 661-668.
19. Risser, P. G. 1995. Biodiversity and Ecosystem Function. *Conservation Biology* 9: 742-746.
20. Robinson, T. P. and G. Metternicht. 2005. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture* 50: 97-108.
21. Symeonakis, E., R. Bonifacio and N. Drake. 2009. A comparison of rainfall estimation techniques for sub-saharan Africa, *International Journal of Applied earth Abservation and Geoinformation* 11(1): 41-53.
22. Terradas, J., R. Salvador, J. Vayreda and F. Loret. 2004. Maximal species richness: An empirical approach for evaluating woody plant forest biodiversity. *Forest Ecology and Management* 189: 241-249.
23. Tilman, D. and J. A. Downing. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367: 363-365.
24. Wilson, E. O. 1998. The current state of ecological diversity. *Biodiversity, National Academy Press* 210-231.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Investigating the Effects of Forestry Plans on Tree Diversity Indices Mapped by Kriging Method (A Case Study: Watson Forestry Plan in the Eastern of Mazandaran)

A. Hosseinpour[1*], H. Jalilvand[1], H. Parinejad[1], M. Niknejad[1] and A. Savadkohi[1]

(Received: May 05-2019; Accepted: November 2-2019)

Abstract

Forestry plans have been influential on tree species and planting in different ways, regulating tree species diversity. Investigation of the changes in tree species diversity and preservation livestock sustainability by using forestry inventory can be an appropriate tool for decision makers in management. Indicators such as the Shannon Wiener and Simpson indices can be used to study the variations in tree species diversity in the forest. In this research, the Watson series forestry inventory was used in 2004 and 2014. In the aforementioned years, 369 circular sampling plots were taken with an intensity of 3.3% and using a 200 * 150 m inventory grid with GPS. The Simpson and Shannon Wiener indices were calculated in sampling plots pieces; then, Kriging ability was investigated using histogram, QQ plot, semivariogram and RMSE, and data normalization. The land maps of these indices were analyzed in 2004, 2014; also, their change detections were prepared. The results showed that during the 10-year period of the implementation of the forestry plan, the Simpson and Shannon Wiener species diversity indices were increased by 30%, and about 60% of the area remained unchanged; also, about 11% of the area had reduced species diversity.

Keywords: Shannon Wiener Index, Simpson Index, Variogram, Interpolation, Inventory Grid

1. Dept. of Forestry, Natur. Resour. Faculty, Univ. of Agric. Sci. and Natur. Resour., Sari, Iran.
*: Corresponding Author, Email: arhoseinpour88@gmail.com