دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

مدل‌سازی تنوع مکانی گونه‌های گلسنگ پوست‌زی در توده‌های جنگلی با استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

شبنم سلیمان‌نژاد[۱]، مجید اسحق نیموری[۲]، سید رضا صفوی[۳]، فرید کاظم نژاد[۴] و علی شیخ‌الاسلامی[۵]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران
۲- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران، (نویسنده مسوول: es.nimvari65@gmail.com)
۳- استادیار پژوهش، رده بندی گیاهان بی گل، بخش تحقیقات گیاهشناسی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران
۵- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۵
صفحه: ۲۳ تا ۳۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنوع زیستی دارای نقش بسیار مهمی در پایداری و خود تنظیمی بوم‌سامانه‌ها می‌باشد و به‌عنوان شاخصی برای مقایسه وضعیت اکولوژیک اکوسیستم‌های جنگلی به‌کار می‌رود. گلسنگ‌ها یکی از متداول‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده تنوع‌زیستی در جامعه جنگلی می‌باشند. بالا بودن تنوع گلسنگ‌ها در یک منطقه نشان‌دهنده تنوع زیستی و پایداری یک اکوسیستم می‌باشد. یکی از مهم‌ترین رویکردها جهت تفسیر و ردیابی تغییرات مکانی تنوع زیستی استفاده از مدل رگرسیونی است. هدف از این مطالعه مدل‌سازی تنوع گونه‌ای گلسنگ‌های پوست‌زی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در بخش ۲ شوراب از طرح‌های جنگلداری گلبند در شهرستان نوشهر (استان مازندران) انجام گرفت. ابتدا با استفاده از جنگل گردشی و روش نمونه‌برداری انتخابی تعداد ۵۴ قطعه نمونه برداشت شد. سپس گونه‌های پوست‌زی موجود در قطعات شناسایی شد. وقعیت مکانی کلیه قطعه‌های نمونه با استفاده از GPS ثبت شد. در هر قطعه نمونه تمامی گلسنگ‌های پوست‌زی برداشت شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از منابع معتبر گلسنگ‌شناسی و هم‌چنین روش‌های آزمایشگاهی، شناسایی شدند. در این مطالعه برای تعیین تنوع زیستی در مرحله بعد مقدار شاخص‌های تنوع شانون وینر و N1 هیل و شاخص یکنواختی J پیلو برای هر یک از قطعات نمونه محاسبه شد. سپس نقشه عوامل جغرافیایی و توپوگرافی تأثیرگذار در تنوع شامل فاصله از جاده و فاصله از آبراهه و شیب، ارتفاع، شاخص خیسی، شاخص قدرت جریان و فاکتور فرسایش‌پذیری تهیه شد. از روش‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و حداقل مربعات معمولی برای مدل‌سازی استفاده شد.

یافته‌ها: در این مطالعه ۱۷ گونه گلسنگ که متعلق به ۱۴ جنس و ۱۱ خانواده بود شناسایی شد. نتایج نشان داد رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای شاخص‌های شانون وینر و N1 هیل و J پیلو براساس مقادیرضریب تبیین و معیار اطلاعاتی آکایکه اصلاح شده نسبت به رگرسیون حداقل مربعات معمولی دارای نتایج بهتری بود. مقدار تنوع گلسنگ بر اساس شاخص شانون- وینر و N1 هیل به‌ترتیب با دامنه‌ای از ۱/۲۴ تا ۲/۹۸ و ۲/۰۶ تا ۶/۹۹ و میزان شاخص یکنواختی J پیلو ۰/۲۰۵ تا ۰/۸۳۰ محاسبه شد. همچنین نتایج مربوط به شاخص موران I نشان داد که همبستگی مکانی در گلسنگ‌های پوست‌زی معنی‌دار و الگوی پراکنش آنها خوشه‌ای است.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای قابلیت نسبتا مناسبی در مدل‌سازی تنوع مکانی گونه‌های گلسنگ پوست‌زی در توده‌های جنگلی می‌باشد. از این مدل رگرسیونی می‌توان در مدلسازی تنوع گلسنگ استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تنوع زیستی، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، حداقل مربعات معمولی، شاخص موران، شورآب

مقدمه

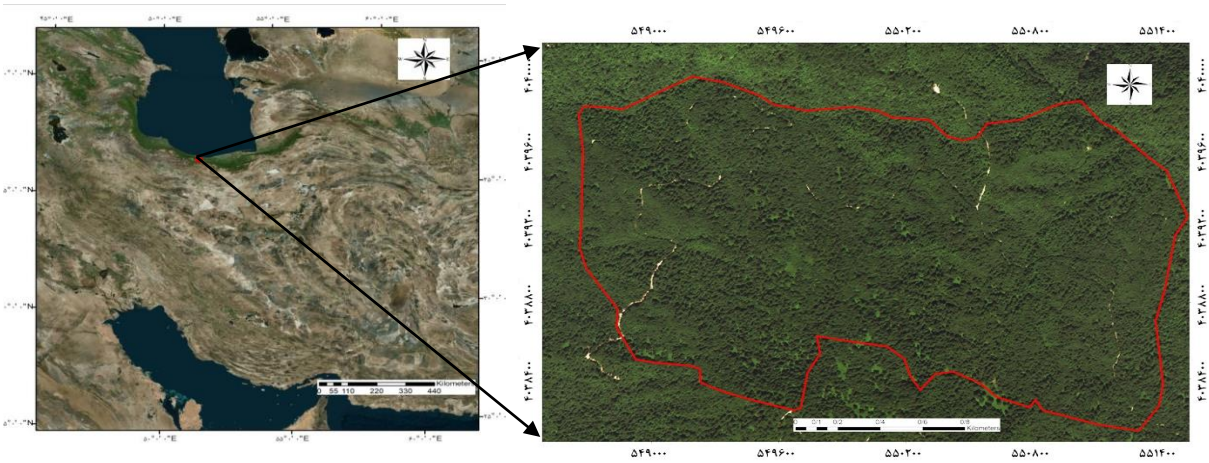
تنوع‌زیستی دارای اهمیت بالایی در حفظ ثبات اکوسیستم می‌باشد و به‌عنوان شاخصی برای مقایسه وضعیت اکولوژیک اکوسیستم‌های جنگلی به‌کار می‌رود. تغییرات کوتاه‌مدت و سریع همانند برداشت درختان یکی از عوامل مهم در نابودی زیستگاه‌ها می‌باشد که سبب کاهش تنوع زیستی می‌شود. بهترین راه برای جلوگیری از کاهش تنوع زیستی، شناخت کامل اجزای اکوسیستم می‌باشد تا با آگاهی از نیازهای اکولوژیک گونه‌ها، مدیریتی مناسب با ظرفیت آن‌ها ارائه شود (۱۶). گلسنگ‌ها یکی از متداول‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده تنوع زیستی در جامعه جنگلی می‌باشند (۱۹). گلسنگ‌ها، قارچ‌های هم‌زیستی هستند که از یک شریک قارچی و یک یا دو شریک جلبکی پدید می‌آیند. این موجودات روی سنگ‌ها، صخره‌ها، تنه درختان و درختچه‌ها و در سطح زمین می‌رویند و حدود هشت درصد گیاهان زمین را به خود اختصاص می‌دهند (۲۶). این گونه نسبت تغییرات محدود و کوچک در شرایط محیطی و زیستی در جنگل سریع‌ترین واکنش را نشان خواهد داد. به‌همین دلیل به عنوان شاخص تعیین کیفیت و ارزیابی بوم‌سامانه‌های جنگلی در نظر گرفته می‌شود (۱۵). درنتیجه وقتی یکی از عوامل محیطی مانند رطوبت یا نور، در اثر آشفتگی در جنگل تغییر می‌کند، مجموعه عوامل فیزیولوژیک و محیطی دیگر نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و دگرگون می‌شود که این موضوع، نشان از روابط پیچیده و وابستگی معنی‌دار عناصر مختلف جامعه جنگلی دارد (۲،۱۴،۲۸). در بسیاری از مطالعات در دنیا، از گلسنگ‌ها به‌عنوان ابزاری برای تشریح آشفتگی در بوم‌سامانه و کیفیت آن استفاده می‌شود (۲،۱۴،۹،۲۳). برخی از پژوهشگران معتقدند وجود گلسنگ در یک منطقه در مقایسه با منطقه‌ی دیگری (با فرض ثابت بودن شرایط خصوصیات اقلیمی و گیاهی)، نشان از عدم بروز آشفتگی آن قسمت دارد زیرا گلسنگ‌ها توان زیست در نقاطی با آشفتگی شدید را ندارند (۲۵)، ازاین‌رو می‌توان به‌عنوان معیاری طبیعی برای سنجش آشفتگی و پایداری اکوسیستم در نقاط مختلف از آن استفاده کرد. در واقع حضور یا عدم حضور گلسنگ‌ها در یک

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

منطقه کیفیت و پایداری آن محیط را نشان می‌دهد. بنابراین حفاظت و نگهداری از این گونه‌ها از اهداف مدیریت پایدار جنگل می‌باشد. به‌طور کلی تنوع گلسنگ‌ها با تنوع زیستی دارای ارتباط مستقیم می‌باشد زیرا افزایش گلسنگ‌ها نشان‌دهنده شرایط ایده‌آل و متعادل در محیط جنگل است (۲۱). تا به امروز مطالعات محدودی در کشور به منظور تعیین تنوع زیستی گلسنگ‌های پوست‌زی در توده‌های جنگلی انجام شده است که می‌توان به مطالعه اسحق نیموری (۱۶) اشاره نمود. ایشان در این مطالعه مقایسه‌ای را بین تنوع زیستی در توده جنگلی ممرز- انجیلی و افرا شیردار در ماشلک نوشهر انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که میانگین غنای گونه‌ای در تیپ انجیلی- ممرز بیشتر از تیپ افرا بود. مانینگ و همکاران (۱۵) مطالعه‌ای در جنگل‌های معتدله به‌منظور تعیین تأثیرات ساختار جنگل بر تنوع گلسنگ‌ها انجام داد. ایشان در این مطالعه نتیجه گرفتند که ساختارهای گوناگون در تیپ‌های مختلف جنگلی، سبب پیدایش و پراکنش میکروکلیماهای متفاوت در سطح جنگـل می‌شود. یکـی از مهم‌ترین رویکردها جهت تفسیر و ردیابی تغییرات مکانی تنوع زیستی استفاده از یک مدل رگرسیونی بهینه است. رگرسیون‌های معمولی، برای دو متغیر مستقل و وابسته مکانی تنها متوسطی از داده‌های غیر مکانی ارائه می‌دهد و نمی‌تواند خود همبستگی‌های بین متغیرها را بیان کند و عموما در نشان دادن واقعیت ارتباطات مختلف مکانی ناتوان است (۲۰). از اینرو تحلیل‌های مکانی می‌کوشد الگوها و قوانین پراکندگی‌ها را تشریح کند (۱۱). برخلاف روش‌های کلاسیک، روش‌های آمار مکانی از فاصله، مکان و محیط و روابط مکانی به‌طور مستقیم در محاسبات خود استفاده می‌کند. از آن جایی که مدل‌های رگرسیون سنتی بدون درنظر گرفتن ویژگی‌های مکانین می‌توانند با دقت مناسب توزیع مکانی تنوع زیستی را شبیه‌سازی کنند، مدل‌های مختلفی با در نظر گرفتن ابعاد مکانی این پدیده‌ها ابداع شده‌اند. از پرکاربردترین این مدل‌ها، می‌توان به رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) و رگرسیون مربعات معمولی (OLS) اشاره کرد. گرچه روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در بخش‌های مختلف جنگل همانند برآورد حجم سرپا استفاده شده است، اما در بخش مدل‌سازی تنوع زیستی به ندرت استفاده شده است. لذا هدف از این مطالعه مدل‌سازی توزیع مکانی تنوع گلسنگ پوست‌زی در بخش ۲ شوراب از طرح‌های جنگلداری گلبند در شهرستان نوشهر (استان مازندران) می باشد. در این مطالعه تأثیر متغیرهای توپوگرافی و جغرافیایی بر روی توزیع تنوع گلسنگ‌ها نیز بررسی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بخش ۲ شوراب از طرح‌های جنگلداری گلبند در شهرستان نوشهر (استان مازندران) انجام گرفت. این بخش دارای دامنه ارتفاعی بین ۱۰۰۰ تا ۲۴۰۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. این بخش بین طول جغرافیایی ″۴۶ ،′۳۰ ، °۵۱ تا ″۵۵ ،′۳۶ ،°۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۰ ،′۲۷، °۳۶ تا ″۳۰ ، ′۳۱ ، °۳۶ شمالی واقع شده است و دارای مساحت ۲۶۲۰ هکتار است. با توجه به اهداف پژوهش، سه پارسل ۲۰۹، ۲۳۴ و ۲۴۱ انتخاب شد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در کشور ایران، سری ۲ شورآب
Figure 1. Study Areas in Iran and District 2 of Shorab

روش پژوهش

با پیمایش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش انتخابی تعداد ۵۴ قطعه نمونه برداشت شد. قطعات به شکل مربع و با مساحت ۱۰۰ متر مربع و مطابق با ابعاد پیکسل سایز لایه‌های مورد استفاده انتخاب شد. موقعیت مکانی کلیه قطعه‌های نمونه با GPS ثبت شد. در هر قطعه نمونه تمامی گلسنگ‌های پوست‌زی برداشت شد (۱،۱۸). نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از منابع معتبر گلسنگ‌شناسی و همچنین روش‌های آزمایشگاهی، شناسایی شدند. پس از شناسایی دقیق نمونه‌ها، اسامی علمی جایگزین کدهای داده شده در طبیعت شد. در این مطالعه از شاخص‌های تنوع شانون وینر و N_1 هیل و مقدار یکنواختی نیز با استفاده از شاخص J پیلو محاسبه شد. همچنین برای مدل‌سازی از داده‌های جغرافیایی و توپوگرافی شامل فاصله از جاده و فاصله از آبراهه و شیب، ارتفاع،

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

شاخص خیسی، شاخص قدرت جریان و فاکتور فرسایش‌پذیری استفاده شد. در جدول ۱ رابطه هر یک از متغیرهای استفاده شده در این مطالعه آورده شده است. شاخص خیسی، شاخص ترکیب پستی و بلندی است که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه نشان می‌دهد و شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم‌انداز زمین است.

که در آن H، G، D، S و E ضرایبی است که توسط نرم‌افزار SAGA GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. Aspect جهت دامنه، Slope شیب، flow ccumulation جریان تجمعی، A_S مساحت حوزه آبخیز و β گرادیان شیب برحسب درجه می‌باشد. نقشه عوامل مورد استفاده در این مطالعه در شکل ۲ آورده شده است.

جدول ۱- معادله‌های فاکتورهای جغرافیایی و توپوگرافی مورد استفاده شده در این مطالعه

Table 1. Equations of topographic and geographic factors used in this study

فاکتور	شاخص	معادله مربوطه	منابع
	ارتفاع (متر)	ارتفاع از سطح آب‌های آزاد	
	شیب (درصد)	$\sqrt{H^2+G^2}$	
توپوگرافی	جهت (درجه)	$Ns=\cos\left(\frac{aspect\times\pi}{180}\right)$ 360=1, 180=0	(۲۷)
	شاخص خیسی(-)	$W=\ln\left(\frac{flow\ accumulation+1}{slope+1}\right)$	(۲۷)
	انحنای افقی (درجه بر متر)	$Plan\ C=-\left(\frac{H^2\times D-2\times G.H\times F+G^2\times E}{(G^2+H^2)^{1.5}}\right)$	(۲۹)
	انحنای قائم (درجه بر متر)	$Prof\ C=\left(\frac{G^2+2\times G\times H\times F+H^2\times E}{(G^2+H^2)(1+G^2+H^2)^{1.5}}\right)$	(۲۹)
	شاخص قدرت جریان (-)	$SPI=A_s\tan\beta$	(۲۷)
جغرافیایی	فاصله از آبراهه	فاصله اقلیدسی	
	فاصله از جاده	فاصله اقلیدسی	

روش‌های مدل‌سازی

رگرسیون حداقل مربعات

این رگرسیون یکی از اشکال رگرسیون‌های خطی است که علاوه بر مدل‌سازی و پیش‌بینی، می‌توان به برای آزمون تحلیل‌های مکانی نیز استفاده شود (۲۲). در رگرسیون‌های عمومی فرض اساسی اینست که یک مدل رگرسیونی برای کل منطقه تعیـــین می‌شود که این نمی‌تواند در مواقعی‌که منطقه دارای شرایط ناهمگنی می‌باشد دقت کافی داشته باشد. در رابطه ۱، رگرسیون چند متغیره کلی آورده شده است.

$$R_i = b_0 + \sum_{k=1}^{m} b_k x_k + \varepsilon_k \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، R_iمتغیر وابسته، b_0عرض از مبدأ، b_kضرایب برآوردی برای متغیر مستقل x_k، m تعداد متغیر مستقل و ε جز خطاست و فرض می‌شود که به‌صورت نرمال توزیع شده است.

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR)

روش آماری- محلی است که اساس آن بر پایه قانون جغرافیایی اصل نزدیکی همانندی است (Fotheringham) که هرچقدر مشخصه‌ها به هم نزدیک‌تر باشد ارتباط بیشتر و قوی‌تری دارند و با افزایش فاصله ارتباطات کمتر می‌شود. بر اساس نتایج براندسون و همکاران (۳) و فوترینگام و همکاران (۷) می‌توان گفت که این مدل روشی جدید برای مدل‌سازی فرایندهای ناهمگن مکانی است. ناهمگنی مکانی بیانگر این‌است که در هر نقطه رابطه متفاوتی بین متغیر مستقل و وابسته بدلیل وابستگی پارامترها یا ضرایب مدل نسبت به مکان وجود دارد (۸). این روش از روش‌های هموارسازی و رگرسیون محلی نشات گرفته است و برپایه قانون اصل جغرافیایی توبلر بنا نهاده شده است. مدل رگرسیونی وزن‌دار جغرافیایی در رابطه ۲ آورده شده است.

$$Y_i = \beta_0(u_i.v_i) + \sum_{K} B_k(u_i.v_i)X_{ik} + \varepsilon_i) \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که $(u_i.v_i)$مختصات فضای نمونه i، و $\beta_0(u_i.v_i)$مقدار i در تابع پیوسته $\beta_0(u_i.v_i)$ است. اگر $\beta_0(u_i.v_i)$ برای همه محل‌ها یکسان باشد آن یک مدل رگرسیون عمومی خواهد بود. در مدل ذکر شده در بالا، وزن یک مشاهده با نزدیکی به i تعریف می‌شود. از این‌رو، وزن یک مشاهده همراه با تغییر i تغییر می‌کند معادله به صورت زیر دنبال می‌شود (رابطه ۳):

$$\beta_0(u_i.v_i) = (X^T W(u_i.v_i)X)^{-1} X^T W(u_i.v_i)\gamma \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

ماتریس ۱:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} \dots x_{11} \\ 1 & x_{21} \dots x_{21} \\ \dots & \dots \dots \dots \\ 1 & x_n^1 \dots x_n^1 \end{bmatrix}$$

ماتریس ۲:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ 2 \\ \dots \\ y_3 \end{bmatrix}$$

ماتریس ۳:

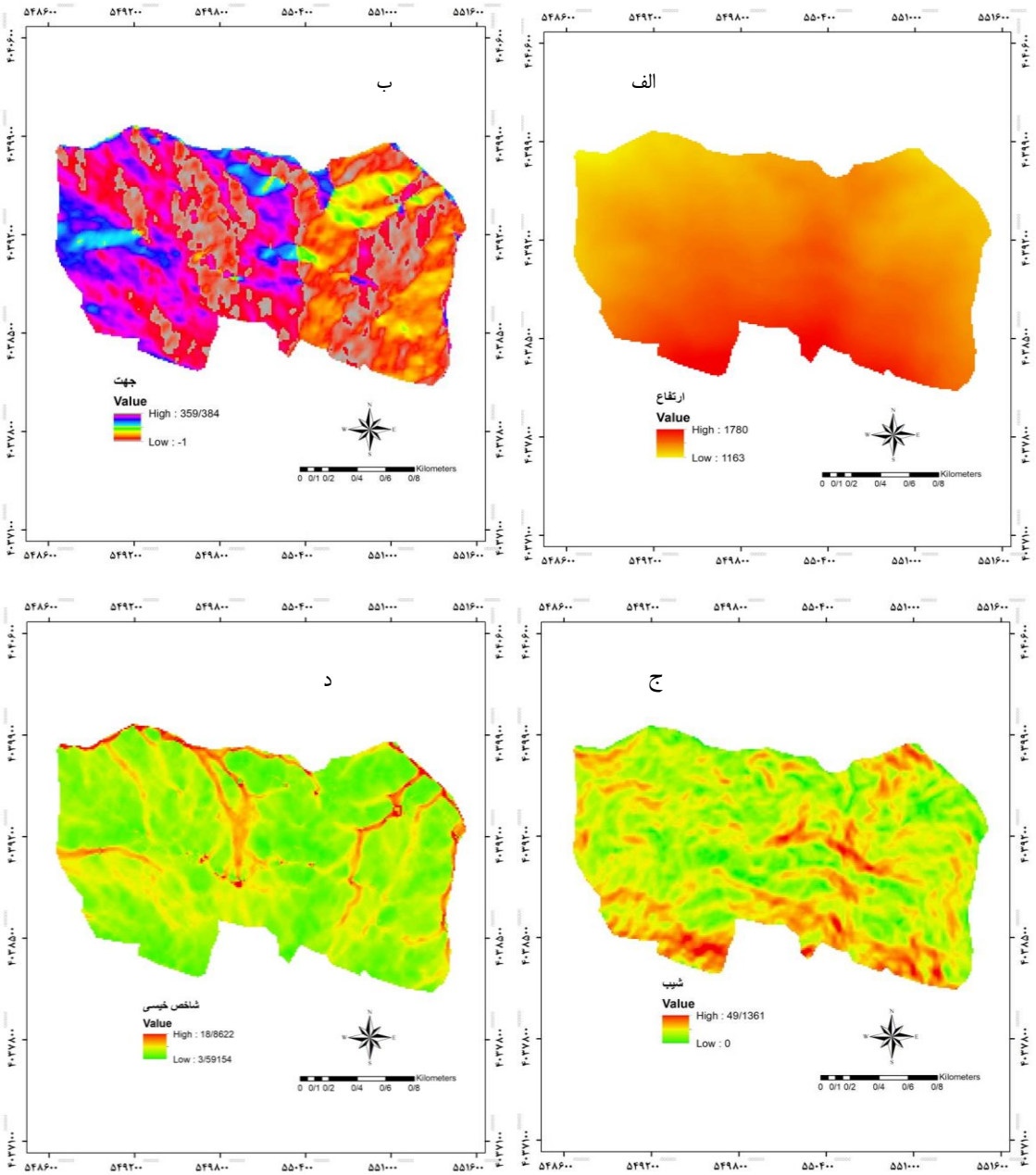
$$w(u_i.v_i) = w(i) = \begin{bmatrix} w_n & 0 & \dots & 0 \\ 1 & x_{12} \dots & & 0 \\ & \dots \dots \dots & & \\ 0 & 0 & 0 & w_{in} \end{bmatrix}$$

ماتریس ۴:

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0(u_1.v_1)\beta_1(u_1.v_1) \dots \beta_k(u_1.v_1) \\ \beta_0(u_1.v_1)\beta_1(u_2.v_2) \dots \beta_k(u_2.v_2) \\ \dots \dots \dots \dots \\ \beta_0(u_n.v_n)\beta_1(u_2.v_2) \dots \beta_k(u_2.v_2) \end{bmatrix}$$

در ماتریس ۳، $w(u_i.v_i)$ وزن داده شده به مشاهده n در تخمین مدل برای مرجع i است. β0 مقدار برآورد شده β، n تعداد نمونه‌ها، k تعداد متغیرها، w_{in} وزنی از n مطابق i است.

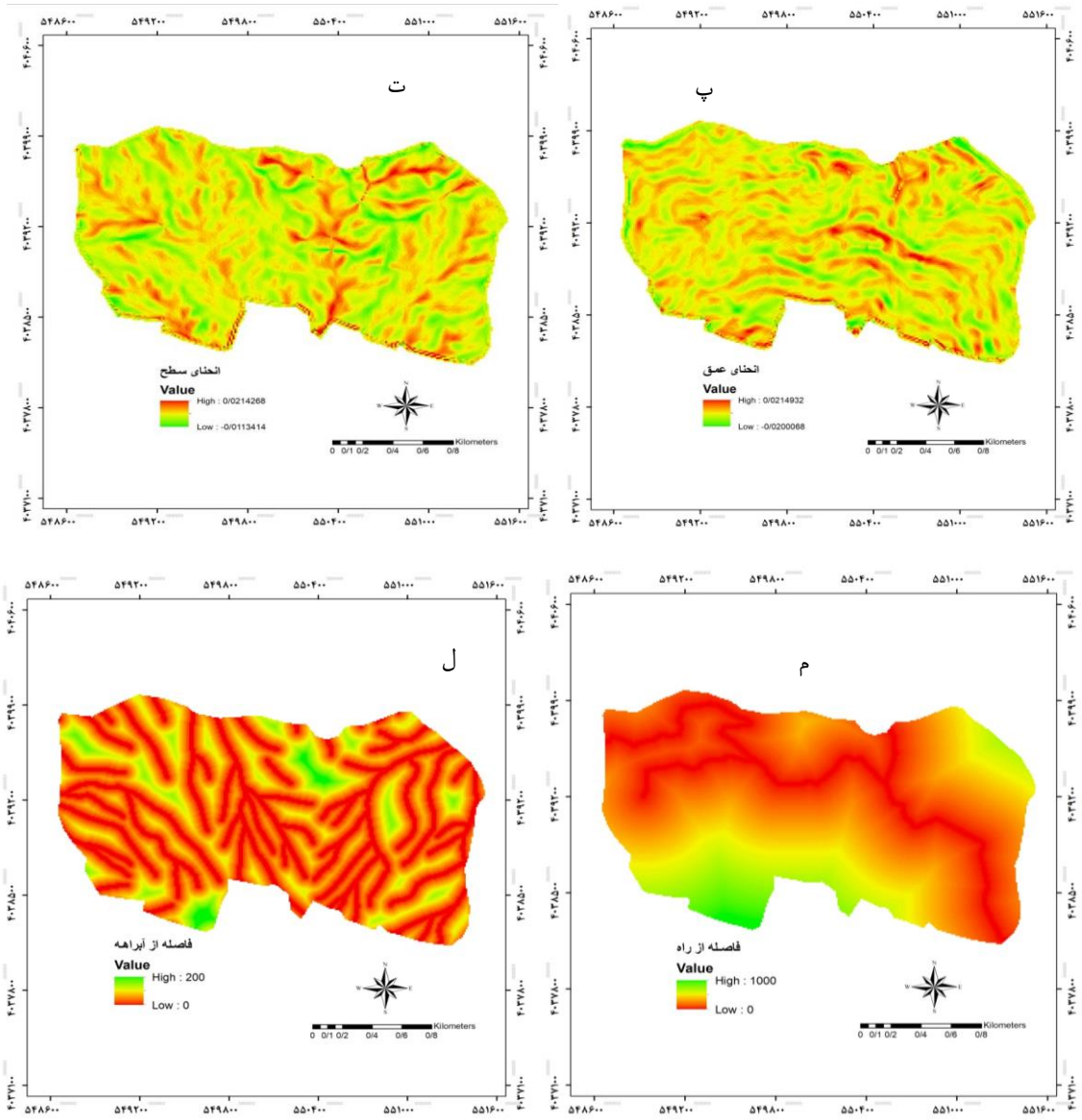
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]



شکل ۲- نقشه عوامل مورد استفاده در این مطالعه شامل ارتفاع (الف)، جهت (ب)، شیب (ج)، شاخص خیسی (د)، انحنای قائم (پ)، انحنای افقی (ت)، فاصله از آبراهه (ل) و فاصله از راه (م)

Figure 2. the map of used of factors in study include Elevation, Aspect, Slope, Wetness index, Profile index, Curvature Plan, Distance from water, Distance from road

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]



ادامه شکل ۲- نقشه عوامل مورد استفاده در این مطالعه شامل ارتفاع (الف)، جهت (ب)، شیب (ج)، شاخص خیسی (د)، انحنای قائم (پ)، انحنای افقی (ت)، فاصله از آبراهه (ل) و فاصله از راه (م).

Continued Figure 2. the map of used of factors in study include Elevation, Aspect, Slope, Wetness index, Profile index, Curvature Plan, Distance from water, Distance from road

ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل در این مطالعه از معیارهای مختلفی به شرح ذیل استفاده شد:

ضریب تبیین

این ضریب، میزان درصد واریانس متغیر وابسته که توسط متغیرهای مستقل تبیین می‌شود را بیان می‌کند. مقدار این معیار بین صفر تا یک قرار دارد. مقدار صفر نشان‌دهنده عدم وجود نقش متغیرهای مستقل در برآورد متغیر وابسته است و مقدار یک بیانگر تخمین ۱۰۰ درصد واریانس متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل است. ضریب تبیین با استفاده از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که R^2: ضریب تبیین yi و ȳ مقدار مشاهده شده برای هر متغیر، میانگین مقدار مشاهدات و xi مقدار پیش بینی برای هر متغیر است.

روش معیار اطلاعات آکایکه (AIC)

این روش معیاری برای ارزیابی کارایی نسبی مدل است و نشان‌دهنده اینست که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می‌شود. بر اساس مطالعات فودی و همکاران (۶)، هر چقدر این معیار دارای مقدار کمتری باشد نشان‌دهنده این‌است که مقدار برآوردی با

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

مقدار مشاهده شده به هم نزدیک است. مقدار تصحیح شده آکایکه از رابطه ۵ محاسبه می‌شود

$$AIC=AIC+\frac{2K(K+1)}{N-K-1}$$ (رابطه ۵)

$$AIC= 2k-2h(L)$$ (رابطه ۶)

که k تعداد پارامتر مدل و L مقدار حداکثر درستنمایی می‌باشد.

شاخص موران I (IMoran's)

این شاخص برای تشخیص خودهمبستگی مکانی در مدل‌ها استفاده می‌شود. مقدار این آزمون نشان دهنده این‌است که نواحی مجاور در یک لایه رستری، دارای ارزش‌های مشابه و یا غیر مشابه هستند. مقدار I براساس مفاهیم وزن‌دهی میزان مجاورت مشاهدات زمینی و کواریانس با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$I=\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=k}^{n}w_{i,j}}\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=k}^{n}w_{i,j}(z_i-\bar{z})(z_j-\bar{z})}{\sum_{i=1}^{n}(z_i-\bar{z})^2}$$ (رابطه ۷)

که n تعداد کل متغیرها، $w_{i,j}$ وزن مکانی بین دو متغیر i و j، z_iمقدار متغیر در مکان i، z_j مقدار متغیر در سایر مکان‌ها، $\bar{z}$ مقدار میانگین متغیر z می‌باشد. مقدار این پارامتر بین ۱- تا ۱+ متغیر است. مقدار نزدیک به ۱ نشان دهنده اینست که نواحی با ارزش‌های مشابه دارای الگوی خوشه‌ای و مقدار ۱- نشان‌دهنده اینست که نواحی با ارزش‌های غیرمشابه در کنار هم قرار گرفته‌اند (۱۱). اما زمانی که مقدار این پارامتر صفر باشد، نشان‌دهنده الگوی تصادفی مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

در این پژوهش ۱۷ گونه گلسنگ شناسایی شد که متعلق به ۱۴ جنس و ۱۱ خانواده هستند (جدول ۲).

جدول ۲- گونه‌های گلسنگ‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

Table 2. Lichens identified in study area

ردیف	گونه	جنس	خانواده
۱	*Caloplacacerina*(Ehrh. ex Hedw.) Th. Fr.	Caloplaca	Teloschistaceae
۲	*Flavoparmeliacaperata* (L.) Hale	Flavoparmelia	Parmeliaceae
۳	*Graphis scripta* (L.) Ach.	Graphis	Graphidaceae
۴	*Lecanoraallophana*(Ach.) Röhl.	Lecanora	Lecanoraceae
۵	*Lecanorathysanophora R. C. Harris*	Lecanora	Lecanoraceae
۶	*Lecidellaelaeochroma (Ach.) M. Choisy*	Lecidella	Lecanoromycetes
۷	*LeprarialobificansNyl.*	Lepraria	Stereocaulaceae
۸	*Leptogiumsaturninum (Dicks.) Nyl.*	Leptogium	Collemataceae
۹	*Melanelixia glabra (Schaer.) O. Blanco*	Melanelixia	Parmeliaceae
۱۰	*Nephroma parile (Ach.) Ach.*	Nephroma	Nephromataceae
۱۱	*Parmotremaperlatum (Huds.) M. Choisy*	Parmotrema	Parmeliaceae
۱۲	*Pertusariaalbescens (Huds.) M. Choisy& Werner*	Pertusaria	Pertusariaceae
۱۳	*RamalinasinensisJatta*	Ramalina	Ramalinaceae
۱۴	*Ramalinathrausta (Ach.) Nyl.*	Ramalina	Ramalinaceae
۱۵	*Xanthomendozafallax (Hepp) Søchting , Kärnefelt& S. Kondr*	Xanthomendoza	Teloschistaceae
۱۶	*Puncteliasubrudecta (Nyl.) Krog*	Punctelia	Parmeliaceae
۱۷	*Lecanora*sp	Lecanora	Lecanoraceae

در جدول ۳ مشخصه‌های آماری تنوع و یکنواختی در توده جنگلی آورده شده است. نتایج نشان داد میانگین شاخص تنوع شانون وینر (H) برابر ۲/۰۳ و میانگین شاخص‌های N1 هیل و J پیلو به‌ترتیب برابر با ۳/۰۹ و ۰/۴۰۳ می‌باشد.

جدول ۳- مشخصه‌های آماری تنوع و یکنواختی در توده جنگلی

Table 3. Statistical characteristics of diversity and evenness in forest stands

شاخص آماری / مشخصه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
H	۱/۲۴	۲/۹۸	۲/۰۳	۰±/۴۵
N1	۲/۰۸	۶/۹۹	۳/۰۹	۰±/۷۴
J	۰/۲۰۵	۰/۸۳	۰/۴۰۳	۰±/۱۵

تعیین میزان همبستگی

در این مطالعه ضرایب همبستگی در دامنه‌ای بین ۰/۰۳ تا ۰/۴۴ قرار داشت. در این مطالعه عامل تورم واریانس برای تمام پارامترها کمتر از ۱۰ بود و هیچ گونه هم‌خطی بین متغیرهای مستقل وجود نداشت. بنابراین، تمام پارامترها برای مدل‌سازی انتخاب شدند (جدول ۴).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

جدول ۴- همبستگی بین فاکتورهای توپوگرافی و جغرافیایی مورد استفاده در این مطالعه
Table 4. Correlation between topographic and geographical factors used in this study

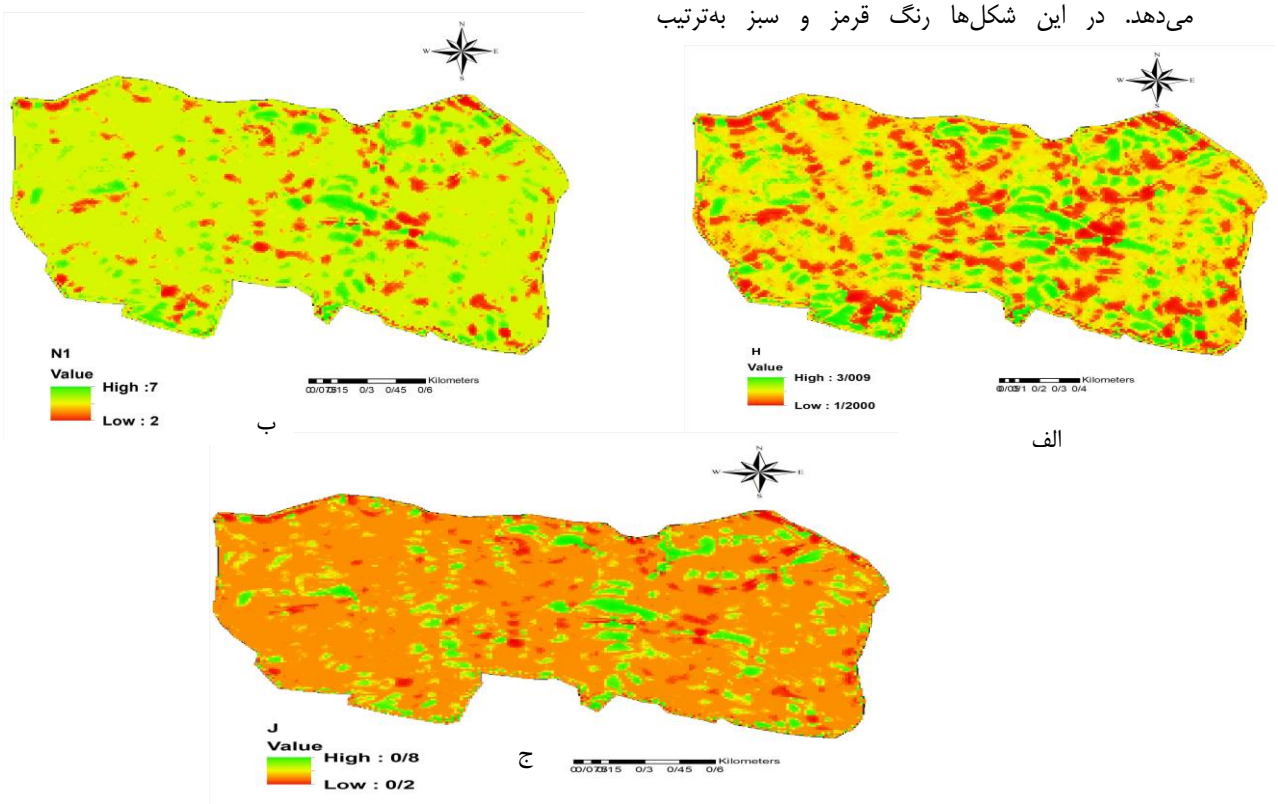
	ارتفاع	شیب	جهت	خیسی	انحنای افقی	انحنای قائم	SPI	فاصله از آبراهه	فاصله ازجاده	عامل تورم واریانس
ارتفاع										۲/۴۶
شیب	−۰/۱۲									۳/۲۰
جهت	−۰/۱۶	−/۱۰								۱/۱۲
خیسی	−۰/۳۲*	−۰/۴۴*	۰/۲۶							۱/۰۵
انحنای افقی	۰/۴۴*	۰/۴۲*	−۰/۳۲*	−۰/۲۹*						۶/۲۵
انحنای قائم	۰/۴۲*	۰/۳۸*	−۰/۳۴*	−۰/۲۷						۵/۷۵
SPI	۰/۳۲*	۰/۳۴*	−۰/۳۱*	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۵				۴/۶۰
فاصله از آبراهه	۰/۲۲	−۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳۲	۰/۱۸	۰/۰۴			۲/۸۶
فاصله از جاده	۰/۲۴	−۰/۰۱۹	۰/۰۳	۰/۰۲۲	−۰/۰۲۷	−۰/۰۴	۰/۰۲۸	۰/۱۸		۱/۲۹

نتایج انتخاب بهترین مدل برای هر سه شاخص با استفاده از دو روش رگرسیون در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- نتایج ارزیابی بهترین مدل رگرسیونی برای شاخص‌های مختلف مورد استفاده در این مطالعه
Table 4. results of evaluation of the best regression model for different indices used in this study

OLS				GWR				
Moran's I (Z-Score)	AIC_C	$RMSE_r$ (%)	R^2	Moran's I (Z-Score)	AIC_C	$RMSE_r$ (%)	R^2	شاخص
۰/۱۹۳ (۴۷/۲۲)	۷۵/۲۸	۱۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۶۳ (۱۵۱/۷)	۶۸/۸	۰/۸۰	۰/۳۳	H
۰/۳۷۴ (۹۳/۶۹)	۸۴/۲۹	۱۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۵۷ (۶۷/۷۱)	۷۲/۲۱	۷/۳۱	۰/۴۱	N1
۰/۱۶۹ (۳۹/۳۸)	−۵۸/۵۶	۹/۶۷	۰/۲۸	۰/۵۲ (۱۲۸/۲۵)	−۴۵/۱۱	۶/۶۹	۰/۵۲	J

شکل ۳ نقشه حاصل از بهترین مدل تهیه شده برای هر سه شاخص با استفاده از رگرسیون وزن دار جغرافیایی را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها رنگ قرمز و سبز به‌ترتیب نشان‌دهنده کمترین و بیشترین مقدار برای هر متغیر می‌باشد.



شکل ۳- نقشه تهیه شده با استفاده مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای شاخص‌های شانون وینر H (الف)، N_1 هیل (ب) و مقدار شاخص J پیلو (ج)
Figure 3. prepared Map using Geographically Weighted Regression model for diversity indices Shannon-wiener H (a), Hill N1 (b) and J Pillo (c)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

نتیجه‌گیری کلی

تاکنون مطالعاتی اندکی در مورد تنوع گونه‌های گلسنگ در جنگل‌های کشور به‌ویژه جنگل‌های شمال انجام شده است. لذا هدف از این مطالعه مدل‌سازی تنوع گونه‌های گلسنگ پوست‌زی در جنگل‌های هیرکانی می‌باشد. در این پژوهش ۱۷ گونه گلسنگ شناسایی شد که متعلق به ۱۴ جنس و ۱۱ خانواده هستند. امروزه بسیاری از پژوهش گران بر این عقیده استوارند که با بهره‌گیری از طبیعت و با استفاده از برخی شاخص‌های زیستی، به‌راحتی می‌توان تأثیردست‌کاری بشر در هر اکوسیستم را تعیین کرد (۴) و می‌توان با استفاده از گلسنگ به تأثیر مدیریت جنگل بر اکوسیستم‌ها پی برد، امری که تاکنون در پژوهش‌های داخل کشور به آن اهمیت داده نشده است. نتایج این مطالعه نشان داد تنوع گلسنگ بر اساس شاخص شانون- وینر و N1 هیل به‌ترتیب دارای دامنه‌ای از ۱/۲۴ تا ۲/۹۸ و ۲/۰۶ تا ۶/۹۹ می‌باشد. این دامنه نسبت به مطالعات مشابه همانند نیموری و همکاران (۱۶) این دامنه نسبت به مطالعات مشابه همانند اسحق نیموری و همکاران (۱۶) دارای دامنه محدودتری بود. شاید از جمله پایین‌تر بودن این دامنه می‌توان به کم‌تر بودن تنوع گونه‌های درختی با ویژگی فیزیولوژیک و مورفولوژیک متفاوت اشاره کرد. میزان pH و شکل ظاهری پوست درختان میزبان که گلسنگ به عنوان بستری برای استقرار استفاده می‌کنند نقش مهمی در تنوع گلسنگ پوست‌زی ایفا می‌کند (۵). علاوه بر این وضعیت تاج پوشش و ساختمان عمودی و افقی خاک نیز با تأثیرگذاری بر میزان رطوبت و شدت نور نسبی تأثیر زیادی در استقرار گونه‌های گلسنگ دارد (۱۳). در این مطالعه میزان شاخص یکنواختی J پیلو ۰/۲۰۵ تا ۰/۸۳۰ محاسبه شد که دارای دامنه نسبتاً وسیعی می‌باشد. سوبودا و همکاران (۲۱) در مطالعه‌ای چنین بیان می‌کنند تنوع و پراکنش گونه‌های درختی در سطح جنگل، دلیل مهمی در تعیین یکنواختی و پراکنش گونه‌های درختی دارد. در این مطالعه از رگرسیون وزن دار جغرافیایی و رگرسیون حداقل مربعات معمولی برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد برای هر سه شاخص رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای دقت بهتری نسبت به رگرسیون حداقل مربعات معمولی بود. نتایج این مطالعه نشان داد رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای محیط‌هایی که پیچیدگی و تغییرات بیشتری از جهت روابط بین متغیرهای وابسته و کمکی وجود داشته باشد، می‌تواند عملکرد مناسب‌تری نشان دهد. پارک و همکاران (۱۷) نیز در مطالعات مشابه‌ای تایید نموده‌اند که دقت مدل‌سازی تنوع زیستی با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای نتایج بهتری نسبت به رگرسیون حداقل مربعات معمولی می‌باشد. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با اندازه‌گیری محلی بین متغیر هدف و متغیرهای کمکی که در هر موقعیت متفاوت است، مسئله ناهمگنی و ناایستایی را برطرف می‌نماید (۱۷). زمانی که همبستگی مکانی و ناهمگنی در اطلاعات مربوط به جنگل یا داده‌های اکولوژیکی وجود داشته باشد، فرض‌های استقلال و همگنی برای روش‌های اولیه آماری مانند رگرسیون حداقل مربعات نقض می‌شود (۸). در واقع روش‌های محلی مانند رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، روابط رگرسیونی را برای هر موقعیت مکانی با استفاده از نقاط همسایه، ارائه می‌دهد. در این مطالعه برای هر سه شاخص و هر سه مدل رگرسیونی معیار Moran's I مثبت و دارای دامنه‌ای از ۰/۱۹۳ تا ۰/۶۳ محاسبه شد. مثبت بودن این شاخص نشان‌دهنده اینست که الگوی پراکنش خوشه‌ای است. همچنین مقدار Z برای تمام مدل‌ها استاندارد بود که نشان دهنده اینست که همبستگی مکانی معنی‌دار بود. همچنین با توجه به اینکه مقادیر نمره Z مثبت و بالا به‌دست آمد، خوشه‌بندی در این مطالعه دارای ارزش بالایی می‌باشد (۱۰). در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای قابلیت نسبتاً مناسبی در مدلسازی شاخص تنوع می‌باشد.

منابع

1. Asta, J.W., M. Erhardt, F. Ferretti, U. Fornasier, P.L. Kirschbaum, O.W. Nimis, S. Purvis, C. Pirintsos, C. Scheidegger, V. Haluwyn and V. Wirth. 2002. European guideline for Mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress, NATO Science Series, British Lichen Society, 7: 273 -279.
2. Benitez, A., G. Aragon, Y. Gonzalez and M. Prieto. 2018. Functional traits of epiphytic lichens in response to forest disturbance and as predictors of total richness and diversity. Ecological Indicators, 86: 18-26.
3. Brunsdon, C. and S.A. Fotheringham, and M. Charlton. 1998. Geographically Weighted Regression-Modelling Spatial NonStationarity, Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician), 47: 431-443.
4. Cowden, P., M. DeBues and C. Dean. 2018. The Influence of Vehicular Air Pollution on Lichen Abundance in Two Central Ontario Forests. Journal of Undergraduate Studies at Trent (JUST), 6(1): 47-52.
5. Emborg, J., M. Christensen and J. Heilmann Clausen. 1999. The structural dynamics of Suserupskov, a near natural temperate deciduous forest in Denmark. Forest Ecology and management, 126: 173-189.
6. Foody., G.M. 2003. Geographical weighted as a further refinement to regression modeling: an example focused on the NDVI-rainfall relationship. Remote Sensing of Environment, 88: 283-293.
7. Fotheringham, A.S., M. Charlton and C. Brunsdon. 2001. Spatial variations in school performance: A local analysis using geographically weighted regression. Geogr. Environ. Model. 2001, 5: 43-66.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

8. Fotheringham, S.A., C. Brunsdon and M. Charlton. 2002. Geographically Weighted Regression the analysis of spatially varying relationships, John Wiley & Sons.
9. Girard, F., S. Pavette and R. Gagnon. 2008. Rapid expansion of lichen woodlands within the closed-crown boreal forest zone over the last 50 years caused by stand disturbances in eastern Canada. Journal of Biogeography, 35(3): 529-537.
10. Golubkova, N.S. 1988. The Lichen Family Acarosporaceae in the USSR.Komarov Botanical Institute, Academy of Sciences of the USSR. Leningrad: Nauka (In Russian).
11. Hu, S., L. Chen, L. Li, B. Wang, L. Yuan, L. Cheng, Z. Yu and T. Zhang. 2019. Spatiotemporal dynamics of ecosystem service value determined by land-use changes in the urbanization of Anhui Province, China. Int. J. Environ. Res. Public Health, 16: 5104.
12. Huo, X.N., H. Li, D.F. Sun, L.D. Zhou and B.G. Li. 2012. Combining geostatistics with Moran's I analysis for mapping soil heavy metals in Beijing, China. International journal of environmental research and public health, 9(3): 995-1017.
13. Johansson, P. 2008. Consequences of disturbance on epiphytic lichens in boreal and near boreal forests. Biological conservation, 141: 1933-1944.
14. Kantvilas, G., S.J. Jarman and P.R. Minchin. 2015. Early impacts of disturbance on lichens, mosses and liverworts in Tasmania's wet eucalypt production forests. Australian Forestry, 78(2): 92-107.
15. Moning, C., S. Werth, F. Dziock, C. Bassler, J. Bradtka, T. Hothorn and J. Muller. 2009. Lichen diversity in temperate montane forests is influenced by forest structure more than climate, FOREST ECOLOGY and MANEGMENT, 258: 745-751.
16. Nimvari, M.E., A. Mataji, M.H. Moniri and S.M. Hosseini. 2013. Corticolous lichen diversity in the Quercus-Carpinus type to separate tree species (Case study: Nowshahr forests), 5(2): 119-130 (In Persian).
17. Park, J., B. Choi and J. Lee. 2019. Spatial Distribution Characteristics of Species Diversity Using Geographically Weighted Regression Model. Sensors and Materials, 31(10): 3197-3213.
18. Purvis, O. W. 1992. Lichen Flora of Great Britain and Ireland. Natural History Museum Publications in association with the British Lichen Society.
19. Pykala, J., R.K. Heikkinen, H. Toivonen and K. Jaaskelainen. 2006. Importance of Forest Act habitats for epiphytic lichens in Finnish managed forests. Forest Ecology and Management 223: 84-92.
20. Shao, Y., X. Yuan, C. Ma, R. Ma and Z. Ren. 2020. Quantifying the Spatial Association between Land Use Change and Ecosystem Services Value: A Case Study in Xi'an, China. Sustainability, 12, 4449; doi:10.3390/su12114449.
21. Svoboda, D., O. Peksa and J. Vesela. 2010. Epiphytic lichen diversity in central European oak forests: Assessment of the effects of natural environmental factors and human influence. Environmental Pollution 158: 812-819.
22. Tu, J. and Z. Xia. 2008. Examining Spatially Varying Relationships Between Land Use and Water Quality Using Geographically Weighted Regression I: Model Design and Evaluation", Science of The Total Environment, 407: 358-378.
23. Uboni, A., A. Blochel, D. Kodnik and J. Moen. 2019. Modelling occurrence and status of mat-forming lichens in boreal forests to assess the past and current quality of reindeer winter pastures. Ecological Indicators, 96: 99-106.
24. Veiskarami, Z., B. Pilehvar and A. Haghizadeh. 2018. Effects of Anthropogenic Disturbance on Diversity, Biomass and Storage of N and P Nutrients by Herbaceous Vegetation of Gall Oak Stands (Case Study: Shine Qellaii Forests, Lorestan Province). Ecology of Iranian Forests, 6(12): 18-29.
25. Williams, D. 2013. Naturalist's Guide to Canyon Country. Rowman & Littlefield. 231 pp.
26. Will-Wolf, S., S. Jovan, P. Neitlich, J.E. Peck and R. Rosentreter. 2015. Lichen-based indices to quantify responses to climate and air pollution across northeastern USA. The Bryologist, 118(1): 59-82.
27. Wolock, D.M., G.M. Horenberg, K.J. Beven and W.G. Campbell. 1989. The relationship of catchment topography and soil hydraulic characteristics to lake alkalinity in the Northerne United States, Water Resour, Resource, 25: 829-837.
28. Zarafshar, M., M.J. Rousta, M. Matinizadeh, S.K. Bordbar, K. Enayati, Y. Kooch, M.N. Saber and A. Abbasi. 2021. Comparison of Carbon and Nitrogen Sequestration in Soils Under Plantations, Natural Forest and Agricultural Farm Land Uses in Arjan Plain in the Fars Province. Ecology of Iranian Forests, 8(16): 165-172.
29. Zevenbergen, L.W. and C.R. Thorne. 1987 Quantitative analysis of land surface topography. Earth Surf. Process Landforms 12: 47-56.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]

Modeling of Corticolouslichen Spatial diversity in Forest Stands using Geographically Weighted Regression

Shabnam Soleimannejad[1], Majid Ishaq Nimuri[2], Seyed Reza Safavi[3], Farid Kazemnejad[4] and Ali Sheikhul Islami[5]

1- Ph.D. of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Chalus Branch, Chalus, Iran
2- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Chalus Branch, Chalus, Iran (Corresponding author: es.nimvari65@gmail.com)
3- Assistant Professor, Non-Flowering Plants Group, Plant Taxonomy Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization, (AREEO), Tehran, Iran
4- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Chalus Branch, Chalus, Iran
5- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Chalus Branch, Chalus, Iran
Received: 11 February, 2021 Accepted: 15 June, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Biodiversity has a very important role in the sustainability and self-regulation of ecosystems and is used as an indicator to compare the ecological status of forest ecosystems. Corticolous lichen are one of the most common components of biodiversity in the forest community. The high diversity of Corticolous lichenes in an area indicates the biodiversity and sustainability of an ecosystem. One of the most important approaches to interpreting and tracking spatial variations of biodiversity is to use a regression model. The aim of this study is to model the diversity of Corticolous lichen species.

Materials and Methods: This research was carried out in section 2 of Shurab of Golband forestry projects in Noshahr city (Mazandaran province). Firstly, 54 samples were collected using rotating forest and selective sampling method. Then the Corticolous lichenes species in the parts were identified. Spatial location of all sample plots was recorded using GPS. All skin lichens were collected in each sample plot. Collected specimens were identified using valid lithological sources as well as laboratory methods. In this study, to determine the biodiversity in the next step, the values of Shannon Wiener and N1-Hill diversity indices and J-Pilo uniformity index were calculated for each of the sample plots. Then, a map of geographical and topographic factors affecting diversity including distance from road and distance from waterway and slope, height, wetting index, flow strength index and erodibility factor was prepared. weighted geographical regression and Ordinary Least Squares for modeling were used.

Results: In this study, 17 species of lichens belonging to 14 genera and 11 families were identified. The results showed that the weighted geographical regression for Shannon Wiener, N1 Hill and J Pilo indices based on the coefficients of explanation coefficient and the modified Akaike information criterion had better results than the Ordinary least squares regression. The amount of lichen diversity based on Shannon-Wiener and N1 Hill indices was calculated with a range from 1.24 to 2.98 and 2.06 to 6.99, respectively, and the amount of J Pilo uniformity index was 0.205 to 0.830. Also, the results of Moran I index showed that the spatial correlation in dermatological lichens is significant and their distribution pattern is clustered.

Conclusion: In general, the results of this study showed that the geographical weighted regression method has a relatively good capability in modeling the spatial diversity of bark lichen species in forest stands. This regression model can be used to model lichen diversity.

Keywords: Biodiversity, Geographical weighted regression, Moran I index, Ordinary least squares, Shorab

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.5.2]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.23]