تجزیه و تحلیل مکانی تکه‌تکه‌شدگی جنگل‌های زاگرس مرکزی برای مقاصد حفاظت و احیای اراضی (مطالعه موردی: جنگل‌های پشتکوه فریدون‌شهر، استان اصفهان)

مژده صفائی[۱]، رضا جعفری[۱*] و حسین بشری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲)

چکیده

در پژوهش حاضر از خط‌مشی‌های حفاظتی بر پایه روش‌های تجزیه و تحلیل مکانی تکه‌تکه‌شدگی جنگل‌ها و ارزیابی‌های میدانی در منطقه جنگلی زاگرس مرکزی در غرب استان اصفهان استفاده شد. ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی در ۱۵ زیرحوضهٔ جنگلی با درجه انبوهی پوشش تاجی زیاد، متوسط و کم به مساحت ۸۳۹/۲ کیلومترمربع مطالعه شد. در روش *تجزیه و تحلیل عملکرد سیمای سرزمین* **Landscape Function Analysis (LFA)** یازده شاخص سطح خاک در بین لکه‌های گیاهی و خاک لخت در طول ترانسکت مستقرشده برای دستیابی سه ویژگی عملکردی شامل پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی بررسی شد. در روش سلامت ۱۷ شاخص برای ارزیابی سه ویژگی عملکردی شامل سلامت موجودات زنده، عملکرد آب‌شناختی و پایداری سایت امتیازدهی شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر **Landsat OLI** در سال ۱۳۹۴ برای اندازه‌گیری درجه تکه‌تکه‌شدگی تولید شد. نتایج **LFA** نشان داد پایداری سایت و چرخه مواد در جنگل‌های با انبوهی پوشش زیاد با مقدار ۷۲ و ۵۷ درصد به‌طور معنی‌داری از سایر پوشش‌ها بالاتربود ($P < ۰/۰۵$). نتایج سلامت نشان داد شاخص‌های هدررفت خاک سطحی، گونه‌های مهاجم و مقاومت خاک سطحی به فرسایش عوامل تأثیرگذار بر سلامت سایت هستند. مقادیر تکه‌تکه‌شدگی در سایت‌های جنگلی با انبوهی پوشش تاجی زیاد و در سایت‌های با انبوهی پوشش اندک به‌ترتیب برابر ۵۴ و ۹۶ درصد بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کارایی ترکیب روش زمینی و سنجش از دوری در ارزیابی میزان عملکرد جنگل‌های زاگرس است.

واژه‌های کلیدی: سلامت اکوسیستم، تحلیل عملکرد سیمای سرزمین، شاخص‌های ساختاری و عملکردی

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: reza.jafari@cc.iut.ac.ir

مقدمه

بروز آشفتگی‌های گوناگون در اکوسیستم‌ها منجر به تغییرات ساختار و عملکرد و درنهایت گسترش بیابان‌زایی می‌شود. تحلیل تغییرات مکانی- زمانی پوشش اراضی برای شناخت و ارزیابی پیامدهای بوم‌شناسی ناشی از عوامل بروز آشفتگی‌ها می‌تواند زمینه‌ساز اطلاعات مناسبی برای تصمیم‌گیری و مدیریت اراضی بر اساس اطلاعات ساختاری و عملکردی باشد (۱۵). عملکرد بالا یکی از شاخص‌های خود- تنظیمی محیط و کلید پایداری و سلامت محیط زیست طبیعی است که متأثر از فرایندهای بوم‌شناختی، آب‌شناختی و پس‌خوردها و واکنش‌های این فرایندها در مقیاس‌های مختلف است (۲۲). وضعیت و چگونگی پوشش گیاهی اکوسیستم جنگلی عامل تأثیرگذاری در نحوه جذب منابع حیاتی است (۲۶). محققان زیادی به اهمیت استفاده از روش‌های سلامت و تجزیه و تحلیل عملکرد سیمای سرزمین LFA در ارزیابی اکوسیستم‌های طبیعی اشاره کرده‌اند (۹، ۱۱، ۱۶ و ۱۷). روش LFA را به‌منظور بررسی عملکرد اکوسیستم ارائه و عملکرد سیمای سرزمین را به‌صورت طیف پیوسته‌ای شامل دامنه‌ای از عملکرد کامل تا سوءعملکرد کامل معرفی شد (۲۶). این روش در رویشگاه‌های مختلف کاربرد دارد و در آن برای ارزیابی سه ویژگی عملکردی شامل نفوذپذیری (به‌معنای میزان نگهداشت آب در بین خاکدانه‌ها برای دسترسی گیاه)، پایداری (به‌معنای توانایی خاک در تحمل عوامل فرسایش‌زا) و میزان بازگشت‌پذیری آن بعد از بروز آشفتگی و نیز چرخه عناصر (به‌معنای میزان برگشت مواد آلی به خاک) از ۱۱ شاخص سطح خاک استفاده شده است. در سیمای سرزمینی که وضعیت عملکردی بالایی دارد، خاک، آب و مواد غذایی در درون سیمای سرزمین حفظ شده و درون آن سیستم استفاده می‌شود. در مقابل سیمای سرزمینی با وضعیت عملکردی پایین که به‌سمت اتلاف منابع موجود پیش می‌رود قادر به جذب رویدادهای بارش نیست و در جذب مواد جایگزین ناتوان است (۹). ویژگی‌ها و شاخص‌های سطح خاک در این روش در واحد نمونه لکه بررسی می‌شوند. بسیاری از سیماهای سرزمین به‌طور طبیعی دارای لکه به‌معنای محل تجمع منابع و بین لکه‌ها یا محل انتقال آزادانه منابع هستند که منابع را به‌طور ناهمگن و غیریکنواخت کنترل می‌کنند (۲۵). جعفری و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای شرایط عملکردی بخشی از مراتع فریدن اصفهان را با استفاده از روش LFA بررسی کردند و با کمک برخی شاخص‌های سنجش از دوری از جمله شاخص نشت نیز میزان عملکرد این مراتع را در زیرحوزه ها اندازه‌گیری و نتایج دو روش را با یکدیگر مقایسه کردند (۱۱).

با مطالعه توانمندی و پتانسیل هر اکوسیستم جنگلی که متأثر از مشخصه‌های خاکی و گیاهی است می‌توان به فهم مناسبی از عملکرد آن رسید. بنابراین وضعیت و چگونگی پوشش گیاهی اکوسیستم جنگلی عامل تأثیرگذاری در نحوه جذب منابع حیاتی است (۲۶). از طرفی ارزیابی ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها با استفاده از روش‌های میدانی بسیار پرهزینه است و این ارزیابی‌ها منابع خطای زیادی دارند (۲۵) بنابراین استفاده توأم روش‌های زمینی و سنجش از دور برای بررسی حفاظت و احیای اراضی امری ضروری است (۱۱). تکنولوژی سنجش از دور ابزاری کاربردی برای بررسی تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین است (۲۱،۲۴، ۲۷ و ۲۸). دو مفهوم انتروپی و پیوستگی بر اساس اصول ریاضی به ارائه کمی و نرمال‌شده متریک‌های تکه‌تکه‌شدگی به همراه پراکنش و پهنه‌بندی تکه‌تکه‌شدگی بر اساس نقشه کاربری اراضی می‌پردازد (۲۷). کارایی شاخص‌های ساختاری و عملکردی چشم‌انداز مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل تکنیک‌های زمینی مانند روش LFA، سلامت و سنجش از دوری مانند تجزیه و تحلیل تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین مورد تأیید محققان قرار گرفته است (۹، ۱۱، ۱۶ و ۱۷). ویژگی‌های پوشش اراضی در تصاویر رستری اغلب به‌وسیله الگوها، پیوستگی و تکه‌تکه‌شدگی آنها توصیف می‌شوند (۲۷). درحالی که روش‌های کمی زیادی برای این الگوها و پیوستگی و تکه‌تکه‌شدگی‌ها وجود دارد، این ویژگی‌ها برای یک گونه فقط در محدوده مطالعاتی‌اش به‌صورت کمی برای به‌دست آوردن مجموعه‌ای از شاخص‌هایی که توصیف‌کننده همه وجوه هستند، استفاده می‌شود. با توجه به اینکه تاکنون مطالعات متعددی در

زمینه اندازه‌گیری و ارزیابی شاخص‌های ساختاری و عملکردی و درجه تکه تکه‌شدگی اکوسیستم‌ها انجام شده است (۱۱ و۲۷)، اما در هیچ‌یک از آنها به‌طور متمرکز به بررسی ویژگی‌های ساختاری و عملکردی روش LFA و سلامت و ترکیب آن با روش انتروپی و پیوستگی در محدوده مطالعاتی فریدون‌شهر نپرداخته است. به‌طور کلی، هدف از مطالعه حاضر یافتن روش‌هایی کاربردی و به‌روز در تحلیل ساختار و عملکرد سیمای سرزمین‌های جنگلی در مناطق نیمه‌خشک است تا به کمک آن به تنظیم استراتژی‌های مدیریتی بر اساس نتایج پرداخته شود. بنابراین اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از: الف) بررسی ویژگی‌های عملکردی زیرحوضه‌های جنگلی منطقه مطالعاتی به‌روش LFA، ب) بررسی ویژگی‌های عملکردی به‌روش سلامت و ج) بررسی تکه‌تکه‌شدگی سایت‌های مطالعاتی به‌روش انتروپی(Entropy) وپیوستگی (Contagion)

مواد و روش‌ها

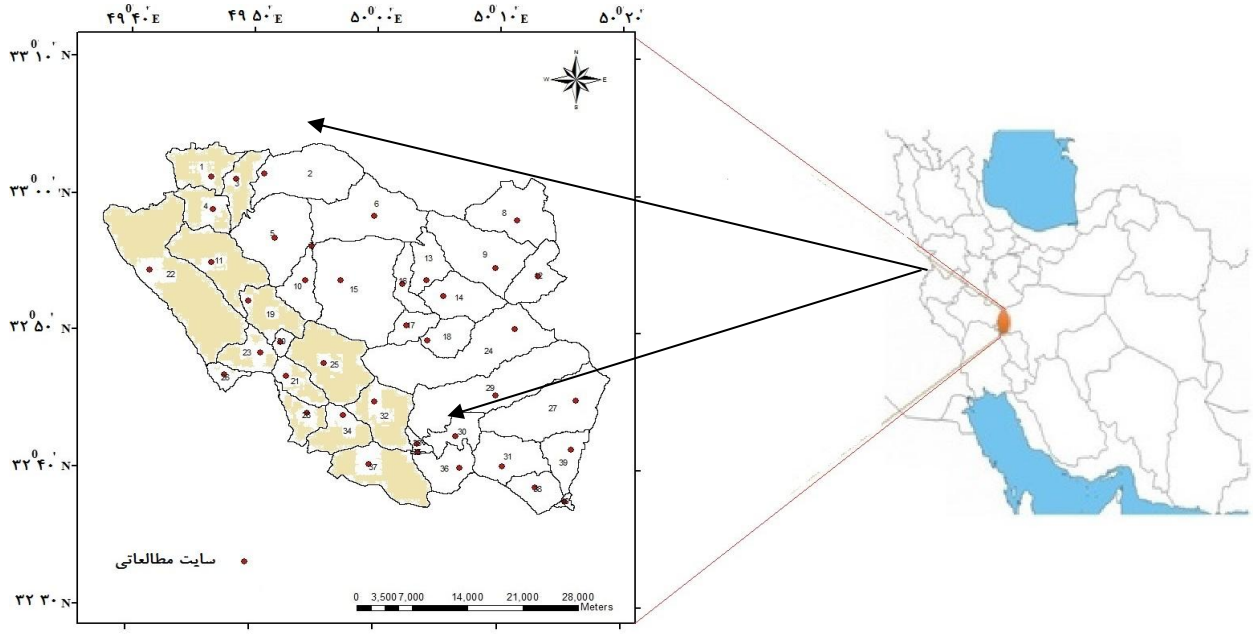
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شهرستان فریدون‌شهر و در فاصله ۱۴۰ کیلومتری مرکز شهرستان اصفهان قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی، این منطقه بین "۴۹°۳۸′۰۴ تا "۵۰°۱۹′۲۵ طول شرقی و "۳۳°۰۴′۱۸ تا "۳۲° ۳۶′۲۳ عرض شمالی واقع شده است. وسعت محدوده مطالعاتی حدوداً ۲۲۳۵/۲۸ کیلومترمربع است که بخش شرقی منطقه مطالعاتی اکوسیستم‌های مرتعی و بخش غربی آن جنگل‌های بلوط غرب قرار دارند که مطالعه حاضر در بخش غربی شهرستان انجام شده است (شکل ۱). متوسط بارش منطقه ۵۳۸ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه در منطقه مورد مطالعه نیز ۱۰/۱°C برآورد شد. اقلیم این منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن (۳) جزء نیمه‌معتدل کوهستانی طبقه‌بندی می‌شود. مطابق مدل رقومی ارتفاع حداقل ارتفاع این ناحیه برابر ۱۵۰۰ متر، حداکثر آن ۴۰۰۰ متر و بیشترین طبقه ارتفاعی آن متعلق به ۲۵۵۰ تا ۲۷۰۰ متر است. شیب غالب منطقه بین ۱۷ تا ۲۵ درصد است. بر اساس آمار و اطلاعات ارائه شده توسط اداره منابع طبیعی شهرستان فریدون‌شهر، در محدوده منطقه مورد مطالعه ۴۲۹۶۰ واحد دامی وجود دارد که حدود ۲/۱ برابر ظرفیت مجاز منطقه (۲۰۴۵۷ واحد دامی) بر اساس پروانه‌های چرایی موجود است.

کل شهرستان به ۴۰ زیرحوضه تقسیم شد که ۱۵ زیرحوضه آن شامل منطقه جنگلی را بود. در ۱۵ زیرحوضه جنگلی مطالعات میدانی LFA و سلامت انجام شد و تجزیه و تحلیل سنجش از دوری نیز انجام پذیرفت که در ادامه به توضیح هر روش پرداخته شده است.

تقسیم‌بندی سایت‌های جنگلی

در اندازه‌گیری ساختار و عملکرد هم پوشش زیر اشکوب و هم پوشش‌تاجی مهم است؛ گونه غالب سایت‌های مطالعاتی را درختان بلوط غرب *Quercus brantii* Lindl تشکیل داده است و از روش قدم نقطه برای تعیین درصد پوشش استفاده شد (۶). به این ترتیب که نقاط نمونه‌برداری در مناطق مختلف به‌صورت تصادفی انتخاب شد و موقعیت جغرافیایی آن ثبت شد. سپس تعداد ۴ ترانسکت ۱۰۰ متری در جهات مختلف به مرکز نقطه تصادفی مستقر شد و برخورد پوشش هرگونه گیاهی، خاک لخت، سنگ و سنگریزه و لاشبرگ به‌روش قدم نقطه ثبت شد. بر این اساس درصد تاج پوشش، جنگل‌ها به سه طبقه انبوهی پوشش تاجی کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شدند (جدول ۱). از آنجایی که دلیل عمده تغییرات در درصد پوشش گیاهی استفاده دام از زیراشکوب و سرشاخه‌خواری دام‌ها است، این سه طبقه‌بندی تحت شرایط مدیریتی ناشی از چرای دام در زیراشکوب بررسی می‌شود. بدین ترتیب در سایت با انبوهی پوشش تاجی زیاد، شدت چرایی کمتر و در سایت با انبوهی پوشش تاجی کم، شدت چرایی زیاد اندازه گرفته شده است و پوشش علفی زیراشکوب درختان و پوشش تاجی و مدیریت چرایی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱. منطقه مطالعاتی در غرب استان اصفهان (زیرحوضه‌های جنگلی مورد مطالعه به رنگ کرمی در نقشه مشخص شده‌اند. تصاویر نشان‌دهنده سیمای طبیعی سایت‌های جنگلی مورد مطالعه و ترانسکت‌های اندازه‌گیری روش LFA است) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. طبقه‌بندی انبوهی پوشش تاجی جنگل‌های بلوط زاگرس (۲۹) و مدیریت چرایی بررسی شده در منطقه مطالعاتی

درصد تاج پوشش	طبقه‌بندی انبوهی پوشش تاجی در جنگل‌های زاگرس	شدت چرا
۱۲-۰ درصد	تاج پوشش با انبوهی کم	زیاد
۲۵-۱۲ درصد	تاج پوشش با انبوهی متوسط	متوسط
۲۵ درصد و بیشتر	تاج پوشش با انبوهی زیاد	کم

روش تحلیل عملکرد سیمای سرزمین (LFA)

روشی است که از کشور استرالیا اقتباس شده است تا اثرات چرای دام را روی تبادل مواد در بین لکه‌ها و بین لکه‌های پوشش گیاهی ارزیابی کند. LFA هسته اصلی فرایندی است که از شاخص‌های ارزیابی بصری استفاده می‌کند تا چگونگی عمکرد یک شیب دامنه به‌عنوان یک سیستم زیست‌فیزیکی را بسنجد. ساختار هر چشم‌انداز از لکه‌های پوشش گیاهی و خاک لخت تشکیل شده است؛ ولی نسبت، اندازه، فراوانی و پراکنش لکه‌های پوشش گیاهی در چشم‌اندازهای مختلف، متفاوت است. لکه‌های پوشش گیاهی سبب تجمع منابع درون چشم‌انداز می‌شود. در مقابل هرچه فراوانی و نسبت خاک لخت افزایش یابد، تجمع منابع درون چشم‌انداز کم شده و سبب هدررفت منابع می‌شود؛ بنابراین هدف از توصیف ساختار چشم‌انداز، تعیین الگوی مکانی تجمع یا هدررفت منابع است. در توصیف ساختار چشم‌انداز طول و عرض لکه‌های گیاهی و خاک لخت در طول ترانسکت و به‌طور پیوسته اندازه‌گیری و یادداشت شد.

اندازه‌گیری ساختار به‌روش LFA

در هر یک از ۱۵ زیرحوضه مطالعاتی یک منطقه که معرف کل زیرحوضه باشد به‌عنوان سایت مطالعاتی انتخاب شد و با استقرار ترانسکت ۳۰ متری، لکه‌های بوم‌شناختی که در این روش به‌عنوان محل تجمع منابع درنظر گرفته می‌شوند (منظور از هر لکه بوم‌شناختی، گونه گیاهی که به‌صورت پایه منفرد مثل یک بوته یا یک گونه گندمی یا یک لکه ترکیبی مانند ترکیب

گندمیان-بوته- علفی می‌تواند باشد) میان لکه‌ها به‌معنی انتقال آزادانه منابع در خاک لخت بین دو گونه گیاهی است. طول و عرض لکه‌های بوم‌شناسی و طول میان‌لکه‌ها در هر ترانسکت ثبت شد. از هر یک از لکه‌ها و میان‌لکه‌ها تعداد سه تکرار روی ترانسکت تعیین و با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA)، ۱۱ پارامتر سطحی خاک (جدول ۲)، شامل حفاظت در برابر پاشمان پوشش گیاهان چندساله لاشبرگ به‌معنی مقدار و منشأ و درجه تجزیه‌شدگی آن، پوشش نهان‌زادان، شکستگی سله، نوع و شدت فرسایش، مواد رسوبی، ناهمواری سطح خاک، طبیعت سطح خاک یا مقاومت به تخریب، آزمون پایداری خاک و بافت خاک ارزیابی شد (۱۱).

با توجه به بازدیدهای میدانی متعدد از سایت‌های جنگلی مطالعاتی، اگرچه روش LFA برای ارزیابی در مقیاس تپه انجام می‌شود، اما اگر شرایط در قسمت اعظم حوضه تقریباً یکسان باشد، ارزیابی به‌روش LFA می‌تواند تاحدی به کل زیرحوضه نیز تعمیم یابد (۱۱). به‌منظور تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط ساختاری در درجات مختلف انبوهی پوشش گیاهی از رگرسیون چندمتغیره بین شاخص‌های یازده‌گانه و شاخص‌های عملکردی استفاده شد. سپس به‌کمک ۱۱ پارامتر ذکرشده شاخص‌های ساختاری شامل سطح کل لکه (طول لکه ×عرض لکه)، شاخص نظام‌یافتگی سیمای سرزمین (از جمع طول لکه‌ها تقسیم بر طول ترانسکت خطیبه دست می‌آید)، میانگین فاصله بین لکه‌های بوم‌شناسی یا در اصل فضای خالی یا خاک لخت، طول لکه، شاخص سطح لکه که (از تقسیم کل سطح لکه به حداکثر سطح به‌دست می‌آید) و عرض لکه با استفاده از نرم‌افزار LFA اندازه‌گیری شد (۲۶). از تحلیل واریانس برای نشان دادن تفاوت پارامترهای ساختاری در وضعیت‌های مختلف استفاده شد و سپس از روش توکی اختلاف معنی‌داری ($P < ۰/۰۵$) در محیط Minatab 17 بررسی‌شد.

اندازه‌گیری عملکرد به‌روش LFA

بعد از اندازه‌گیری ساختار به‌روش LFA با استفاده از نرم‌افزار روش تجزیه و تحلیل عملکرد چشم‌انداز، پارامترهای عملکرد سیمای سرزمین در سه مشخصه اصلی شامل پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی اندازه‌گیری شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های پارامترهای ساختاری در وضعیت‌های مختلف و مشخصه سه‌گانه عملکردی در این روش (شاخص پایداری، شاخص نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی) مقایسه میانگین‌ها به‌روش تست توکی ($P < ۰/۰۵$) در محیط Minatab 17 انجام شد.

روش سلامت (۲۳)

عملیات میدانی برای تعیین شاخص‌های مهم و تأثیرگذار مدل سلامت با توجه به دستورالعمل ارائه شده توسط وزارت کشاورزی ایالات متحده و بخش خدماتی حفاظت از منابع طبیعی انجام شد. بدین صورت سایت جنگلی با انبوهی پوشش تاجی زیاد به‌عنوان سایت مرجع درنظر گرفته شد و سایت‌های با انبوهی پوشش تاجی متوسط و کم به‌عنوان مناطق ارزیابی انتخاب شدند. برای تعیین ویژگی های سلامت از ۱۷ شاخص بوشناختی که مشخصات و توضیح مختصری از آنها در جدول ۳ آمده است استفاده شد. ترکیب‌های متفاوتی از ۱۷ شاخص در ارتباط با اندازه‌گیری سه صفت سلامت مرتع یعنی پایداری خاک و رویشگاه، عملکرد آب‌شناختی و سلامت جانداران مورد استفاده قرارمی‌گیرد. برای هر شاخص پنج ارزش (طبقه) توصیفی وجود دارد که با مطالعه و تجدیدنظر در شرح هر یک از این ارزش‌ها در نهایت ارزیابی مناسب برای شاخص مورد مطالعه درنظر گرفته می‌شود و اعلام می‌شود. هر یک از شاخص‌های فوق با توجه ویژگی‌های منطقه در پنج کلاس کیفی حاد، نسبتاً حاد، متعادل، ناچیز تا متعادل و عدم مشاهده طبقه‌بندی شد و از یک تا پنج امتیازبندی شد. باتوجه به کیفی بودن شاخص‌های سلامت، برای تعیین درجه انحراف از سایت مرجع از آزمون من_ ویتنی در نرم‌افزار آماری Minitab 17 استفاده شد. این آزمون غیرپارامتریک برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های کیفی کاربرد دارد. جدول ۳ شاخص‌ها و ارتباط آنها با ویژگی‌های اکوسیستم به‌همراه توضیح مختصری از شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ارتباط هر شاخص با ویژگی‌های عملکردی اصلی شامل پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد در روش LFA

شماره	شاخص‌ها	هدف از ارزیابی	ویژگی‌های عملکردی			
			پایداری	نفوذپذیری	چرخه غذایی	طبقات
۱	حفاظت در برابر پاشمان	ارزیابی میزان حفاظت از خاک در برابر باران یا فرسایش پاشمانی	×			۵
۲	پوشش گیاهان چندساله	تعیین پوشش تاجی و یقه گیاهان چندساله		×	×	۴
۳	لاشبرگ الف – مقدار	شامل درصد گندمیان یک‌ساله و درصد بقایای گیاهی قابل تبدیل به هوموس	×			۱۰
	ب– منشأ و درجه تجزیه‌شدگی آن			×	×	۴
۴	پوشش نهان‌زادان	درصد پوشش قارچ، جلبک، گلسنگ، خزه در طول ترانسکت	×		×	۴
۵	شکستگی سله	ارزیابی میزان خاک ایجاد شده و دارای پتانسیل فرسایش‌پذیری	×			۴
۶	نوع و شدت فرسایش	تعیین نوع فرسایش (شیار، خندق، تراست، فرسایش ورقه‌ای، ستون فرسایشی) و شدت آن در محدوده ارزیابی	×			۴
۷	مواد رسوبی	درصد لاشبرگ و خاک در معرض فرسایش با هدف ارزیابی ماهیت و مقدار مواد انتقال‌یافته و رسوب‌گذاری شده و نشان دادن پایداری خاک	×			۵
۸	ناهمواری سطح خاک	ارزیابی توانایی جذب و نگهداشت منابع		×	×	۵
۹	طبیعت سطح خاک (مقاومت به تخریب)	تعیین میزان سختی خاک با هدف ارزیابی توانایی جذب و نگهداشت منابع	×	×		۵
۱۰	آزمون پایداری خاک	میزان دوام و پایداری خاکدانه‌ها در آب	×	×		۴
۱۱	بافت خاک	تعیین میزان نفوذپذیری		×		۴

× ارتباط شاخص‌ها با ویژگی مورد نظر

جدول ۳ شاخص‌ها و ارتباط آنها با ویژگی‌های اکوسیستم (۲۳)

شاخص‌ها و توضیح مختصر	پایداری خاک ورویشگاه	عملکرد آب‌شناختی	سلامت موجودات زنده
۱- شیار: تعداد و توزیع مکانی فرسایش شیاری و آبراهه‌ای	×	×	
۲- الگوی جریان آب: مقدار رواناب و نحوه توزیع آن، که از طریق پراکنش لاشبرگ و نیز جابجایی خاک و سنگریزه مشخص می‌شود.	×	×	
۳- تراس و خاک رفت: تعداد سنگ‌ها و گیاهان در مکان‌هایی که خاک در اثر تخریب از محل اصلی خود جابه‌جا شده است و نحوه توزیع آنها (خاک رفت) و مکان‌هایی که خاک در اثر برخورد با مانع رسوب می‌کند (تراس).	×	×	
۴- خاک لخت: وسعت و پیوستگی مکان‌هایی که خاک به‌وسیله پوشش، پوسته‌های بیولوژیک، لاشبرگ، پوشش سرپای خشک‌شده، قلوه‌سنگ و یا تخته‌سنگ حفاظت نمی‌شود.	×	×	
۵- خندق: کانال‌هایی که بریدگی‌هایی عمیق در خاک ایجاد می‌کند و نیز شرایط استقرار پوشش در درون خندق	×	×	
۶- فرسایش بادی در مناطق برداشت و رسوب‌گذاری: وسعت اراضی که پوشش زنده و غیرزنده خاک برداشت شده و یا وسعت اراضی که رسوبات بادی انباشته شود.	×		
۷- جابه‌جایی لاشبرگ: حجم و وسعت لاشبرگ‌های جابه‌جا شده به‌وسیله باد و یا جریان آب		×	
۸- پایداری خاک سطحی نسبت به فرسایش: پایداری خاک در برابر فرسایش با توجه به نسبت حضور مواد آلی در خاک	×	×	×
۹- هدر رفت سطحی یا تخریب خاک: فراوانی و وسعت اراضی که کل و یا بخشی از افق‌های فوقانی خاک (معمولاً حجم عمده مواد آلی خاک نیز در بر می‌گیرند) تخریب می‌شود.	×	×	×
۱۰- ترکیب جوامع گیاهی و توزیع آن با توجه به شرایط نفوذپذیری و رواناب: ترکیب جوامع و توزیع گونه‌های آن که ایجاد محدودیت در خاک می‌کنند.		×	
۱۱- فشردگی خاک: شکل و ضخامت لایه‌های سطحی خاک	×	×	×
۱۲- گروه‌های ساختاری – عملکردی: تعداد این گروه‌ها و گونه‌های تشکیل‌دهنده آنها و امتیازدهی براساس میزان چیرگی گروه‌ها			×
۱۳- مرگ و میر گیاهان: تعداد گیاهان از بین رفته و یا در حال خشک شدن			×
۱۴- حجم لاشبرگ: مقدار لاشبرگ موجود در منطقه		×	×
۱۵- تولید سالانه: حجم تولید سالانه گیاهان با توجه به پتانسیل منطقه			×
۱۶- گیاهان مهاجم: فراوانی و پراکنش گیاهان مهاجم با درنظر گرفتن امکان سمی بودن گیاهان بومی و غیربومی و درجه چیرگی آنها در رویشگاه			×
۱۷- توانایی تولید مثل گیاهان چندساله: مشاهده توانایی تولید مثل گیاهان چندساله با توجه به پتانسیل اقلیمی منطقه			×

در این جدول ارتباط شاخص‌ها با ویژگی‌ها با علامت × نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل تفکیک‌شدگی سیمای سرزمین به‌روش انتروپی و پیوستگی (۲۷)

بعد از اندازه‌گیری‌ها و ارزیابی‌های زمینی که منجر به ارائه نتایج ساختاری و عملکردی منطقه مطالعاتی بود، با استفاده از روش سنجش از دور به بررسی درجه تکه‌تکه‌شدگی اکوسیستم‌های جنگلی در منطقه مطالعاتی پرداخته شد. بدین منظور از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ در خرداد ماه سال ۱۳۹۴ استفاده شد که همزمان با پایان فصل رویش که عملیات میدانی نیز انجام شد باشد. تجزیه و تحلیل تکه‌تکه‌شدگی نیازمند تهیه‌نقشه کاربری اراضی است. با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال از سنجنده لندست در تولید نقشه کاربری اراضی استفاده شد و با استفاده از روش صحت کلی ارزیابی شد. بدین منظور تعداد ۳۸۵ نقطه از کاربری‌های مختلف جمع‌آوری شد که ۳۰۵ نقطه برای تولید نقشه کاربری و ۸۰ نقطه به‌منظور ارزیابی صحت کلی نقشه تولیدی استفاده شد. بر اساس نقشه کاربری اراضی دو مفهوم انتروپی و پیوستگی مکانی برای کمی کردن تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین با استفاده از Guidos2.6 استفاده شد (۲۷).

انتروپی

بر اساس مفهوم کلاسیک شانون (۱۹۴۸)، انتروپی در این روش مجموعه مجزا از احتمالات Pi به‌عنوان احتمالی که تفاوت بین دو پیکسل مجاور برابر i و لگاریتم بر پایه دو است، تعریف می‌شود(معادله ۱):

$$H = \sum_i P_i \log(P_i) \qquad (۱)$$

این تئوری در زمینه‌های مختلفی استفاده شده است و نکته مهم آن در تمایز تعریف P_i در روش‌های مختلف مثل شاخص تنوع شانون است. در مفهوم اولیه P_i به درصد کلاس‌های گونه در یک نقشه طبقه‌بندی برمی‌گردد. در این روش تفاوت بین ارزش سلول‌ها در هشت جهت است که ارزش همان مقادیر i است. نقشه رستری به‌صورت پیوسته ارزش متغیر را نشان می‌دهد درحالی که در انتروپی یکنواختی لبه‌ها به‌وسیله جدول مجاورت به‌دست می‌آید و انتروپی مکانی به‌صورت شبکه‌های مکانی است و تعداد هشت مسیر پیوستگی برای پیکسل‌های پیش‌زمینه در یک نقشه طبقه‌بندی ارائه می‌دهد. در یک ناحیه مشخص پیش‌زمینه، یک تصویر با یک شیء پیش‌زمینه حداقل انتروپی را دارد و حداکثر آن زمانی رخ می‌دهد که یک ناحیه مشخص به حداکثر تعداد حالت‌های ممکن تجزیه و پراکنده شود. این دو محدوده حداقل و حداکثر انتروپی را تعیین می‌کنند.

پیوستگی

با استفاده از رویکرد پنجره متحرک و بر اساس مجاورت سلول-سلول این متریک محاسبه می‌شود. در این روش نسبت لبه‌های اشیاء پیش‌زمینه و تعداد کل لبه‌های بین پیکسل‌ها ارزیابی می‌شود. این نسبت احتمالات شرطی را از پیکسل‌های پیش‌زمینه تخمین می‌زند (۲۷).

روش کار

در این روش کاربری اراضی به‌عنوان یک نقشه دوگانه در سه کلاس طبقه‌بندی شامل بدون داده، پیش‌زمینه و پس‌زمینه درنظر گرفته می‌شود. بخش پیش‌زمینه کاربری اراضی شامل جنگل‌ها و مراتع و بخش مکمل پس‌زمینه شامل بخش‌های غیر از جنگل و مرتع یعنی خاک لخت، صخره و سنگ، مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی است. نقشه خروجی نشان‌دهنده تکه‌تکه‌شدگی چشم‌انداز و پراکنش آن است. تفاوت مهم بین انتروپی و پیوستگی این است که انتروپی به ارزیابی همزمان اشیاء پیش‌زمینه و پس‌زمینه می‌پردازد در حالی که پیوستگی فقط روی اشیاء پیش‌زمینه متمرکز است. به این ترتیب نقشه تکه‌تکه‌شدگی با دو روش انتروپی و پیوستگی در سال ۱۳۹۴ تولید شد.

نتایج و بحث

نتایج شاخص‌های ساختاری و عملکردی در روش LFA

مقایسه نتایج ساختار سیمای سرزمین در سایت‌های جنگلی با وانبوهی پوشش تاجی متفاوت نشان داد که در شاخص

نظام‌یافتگی سیمای سرزمین و سطح کل لکه میانگین شاخص‌های مورد بررسی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارد (P < ۰/۰۵) (جدول ۴)

نتایج نشان داد که بر اساس جدول ۴ از لحاظ متوسط طول خاک لخت بیشترین طول لکه خاک لخت متعلق به جنگل با درجه انبوهی کم پوشش تاجی که ۵ متر است و این شاخص ساختاری در جنگل با درجه انبوهی زیاد پوشش برابر ۰/۴۵ متر و متوسط ۱/۷۱ متر تفاوت معنی‌دار دارند (P < ۰/۰۵). برخلاف این شاخص، کمترین میزان شاخص طول لکه، کل سطح لکه، و شاخص سطح لکه، و شاخص نظام‌یافتگی لکه متعلق به جنگل با انبوهی پوشش تاجی کم به‌ترتیب برابر با ۷/۲۵، ۸/۴۸، ۰/۰۱۰۱ و ۰/۵۷ است و بعد از آن جنگل با انبوهی پوشش تاجی متوسط به‌ترتیب برابر ۱۹/۵، ۱۹/۷، ۰/۰۷۰۸ و ۰/۶۵و بیشترین مقدار متعلق به جنگل با انبوهی پوشش تاجی زیاد به‌ترتیب برابر ۲۹/۱۴، ۴۲/۰۲، ۰/۰۷۱ و ۰/۹۷ تفاوت معنی‌داری از لحاظ این شاخص‌ها در سطح ۵ درصد با یکدیگر دارند. با کاهش درجه انبوهی پوشش تاجی، شاخص‌های ساختاری شرایط نامناسب‌تری پیدا کرده‌اند. دلیل عمده این تغییرات ساختاری افزایش شدت چرا در زیراشکوب درختی، افزایش درصد ترکیب گیاهان یک‌ساله مانند *Bromus tectorum* L. و پهن‌برگ علفی در زیراشکوب نظیر *Phlomis persica* Boiss. و *Cousinia bakhtiarica* و افزایش درصد خاک لخت است. اما در انبوهی پوشش تاجی متوسط به لحاظ بالا بودن تاج پوشش درختی ویژگی‌های ساختاری نسبت به انبوه پوشش تاجی کم، افزایش یافته است. افزایش سطح و تعداد زیاد لکه‌های گندمیان در زیراشکوب در سایت‌های با انبوهی پوشش تاجی متوسط به‌علت چرای سبک‌تر و حجم زیاد لاشبرگ و نهانزادان است. نتایج محققان دیگر (۱۱ و ۲۶) در بررسی ویژگی‌های ساختاری چشم‌انداز با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. آنها بیان داشتند چرای شدید منجر به تغییر ویژگی‌های ساختاری از طریق افزایش سرشاخه‌خواری، کاهش گیاهان مرغوب و چندساله زیراشکوب، افزایش گیاهان یک‌ساله، افزایش فضاهای خالی و کاهش میزان تولید و حجم لاشبرگ خواهد شد.

شاخص‌های عملکرد در وضعیت‌های مختلف

مقایسه عمکرد برای شاخص‌های پایداری خاک، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی نشان می‌دهد جنگل با انبوهی پوشش تاجی زیاد اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح دارد (P < ۰/۰۵) (جدول ۵).

معنی‌دار بودن شاخص پایداری در سایت‌های جنگلی با انبوهی تاج پوشش زیاد ممکن است به بزرگ بودن شاخص سطح لکه، ربایش بیشتر آب به‌دلیل درصد تاج پوشش بیشتر در گونه‌های درختی و افزایش پوشش لاشبرگ در زیر لکه‌های گیاهی مربوط شود. همچنین به‌علت مقاومت سطحی خاک به آشفتگی‌ها و حجم مواد انباشته شده، شدت فرسایش کمتر باشد (۲۰ و ۲۵). شاخص نفوذپذیری در جنگل با انبوهی متوسط و کم پوشش تاجی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P < ۰/۰۵) و دلیل آن درجه زیاد فشردگی خاک درنتیجه فشار زیاد چرایی است (۱۱ و ۱۲). شاخص چرخه مواد در جنگل با انبوهی متوسط و کم پوشش تاجی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. مقادیر زیاد مواد بقایای گیاهی در جنگل با انبوهی زیاد پوشش تاجی فرصت خوبی برای تجزیه شدن برگ‌ها فراهم می‌کند و منجر به افزایش چرخه مواد غذایی می‌شود (P < ۰/۰۵). بر اساس نتایج حاصل از روش رگرسیون خطی مهم‌ترین عواملی که از بین شاخص‌های یازده‌گانه بر پایداری خاک، نفوذپذیری و چرخه مواد در روش LFA تأثیرگذار هستند مدل ارائه شده در (جدول ۶) هستند.

شرایط نامناسب شاخص‌های ساختاری و عملکردی نشان‌دهنده این است که هنگامی که درجه پوشش گیاهی کاهش می یابد ساختار به نحو قابل توجهی تخریب می‌شود و شرایط بوم‌شناسی به حدی تغییر یافته‌اند که نمی‌توانند ساختار و عملکرد اولیه خود را حفظ کنند. دلیل عمده این تغییرات ساختاری و عملکردی به نوع مدیریت اعمال شده در این مناطق برمی‌گردد که چرای مفرط و چرای زودرس در زیراشکوب از جمله مهم‌ترین این دلایل هستند (۱۱). هرچه اندازه لکه پوشش

جدول ۴. شاخص‌های ساختاری مورد بررسی در روش LFA

جنگل با انبوهی تاج پوشش	BSA	TAI	LOI	PL	IPA	TA
زیاد	۰/۴ ± ۰/۰۰۱^{c}	۰/۰۷ ± ۰/۰۱۴^{a}	۰/۹۷ ± ۰/۰۱۱^{a}	۲۹/۱ ± ۵/۶^{a}	۰/۰۵ ± ۰/۰۴^{b}	۴۲/۰ ± ۲/۳^{a}
متوسط	۱/۷ ± ۰/۰۰۳^{b}	۰/۰۷ ± ۰/۰۵۹^{a}	۰/۶۵ ± ۰/۰۲۴^{b}	۱۹/۵ ± ۳/۲^{b}	۱/۱۷ ± ۰/۰۳^{b}	۱۹/۷ ± ۱/۳^{b}
کم	۵/۰± ۰/۱۴۴^{a}	۰/۰۱ ± ۰/۰۱۴^{b}	۰/۵۷ ± ۰/۰۱۶^{b}	۷/۲۰ ± ۱/۳^{c}	۱۰/۰ ± ۰/۰۱^{a}	۸/۴۸ ± ۱/۷^{c}

TA: سطح کل لکه، IPA: میانگین فاصله لکه‌های بوم‌شناسی، PL: طول لکه، LOI: شاخص نظام یافتگی سیمای سرزمین، TAI: شاخص سطح لکه، BSA: متوسط طول لکه خاک لخت. حروف abc در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین گروه‌ها است.

جدول ۵. شاخص‌های عملکردی مورد بررسی در روش LFA

جنگل با انبوهی تاج پوشش	SS	IFL	NC
زیاد	۷۲/۴ ±۸/۶^{a}	۵۷/۳±۶/۵^{a}	۵۷/۹ ± ۸/۶^{a}
متوسط	۴۰/۸±۲/۳^{b}	۳۴/۶±۶/۹^{ab}	۲۲/۷ ± ۵/۶^{b}
کم	۳۲/۶±۳/۶^{b}	۲۸/۸±۳/۲^{b}	۲۳/۷ ± ۶/۳^{b}

SS: پایداری سایت، IFL: نفوذپذیری و NC: چرخه مواد است. حروف abc نشان دهنده تفات معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۶. رگرسیون بین شاخص‌های عملکردی روش LFA و پارامترهای یازده‌گانه مؤثر بر آنها

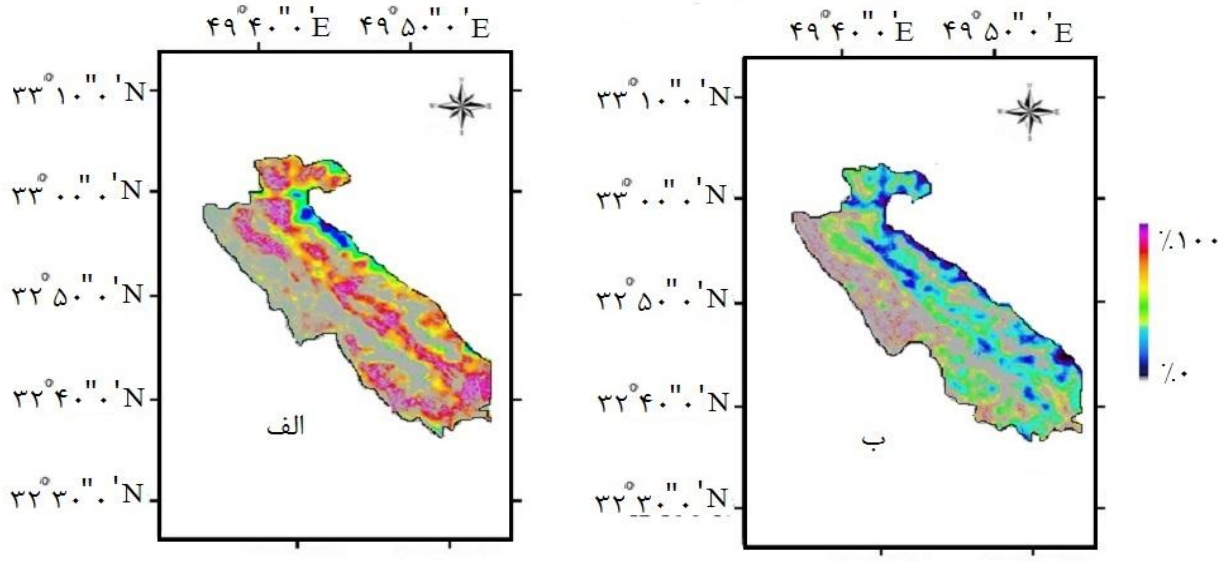
مدل رگرسیون	ضریب تبیین (درصد)
Stability = 12.50 +5.168LC+5.757ETS+2.278DM +4.091SRD. -3.96ST	۹۰
Infiltration = 0.00070 + 1.75462 PCC+ 1.75399LCOI. +1.75578SSR+3.50694ST+1.754SRD	۶۶
Nutrient = 5.84 + 3.422 LCOI + 2.326 CC	۸۵

LC: پوشش لاشبرگ، ETS: نوع و شدت فرسایش، DM: تجمع مواد،SRD: مقاومت به تخریب و ST: آزمون پایداری خاک، PCC: پوشش گیاهان چندساله، LCOI: منشأ و درجه تجزیه‌شدگی لاشبرگ، SSR: ناهمواری سطح خاک و CC: پوشش گریپتوگام

گیاهی افزایش یابد تسخیر منابع هم بیشتر می‌شود (۲۵). افزایش خاک لخت در سایت‌های جنگلی با انبوهی پوشش تاجی کم سبب کاهش عملکرد نیز می‌شود و اگر تعداد گونه‌ها و لکه‌های پوشش گیاهی در منطقه مرجع کاهش یابد نشانگر تخریب و کاهش شرایط سلامت آن منطقه است. چرای شدید سبب کاهش کیفیت و کمیت پوشش گیاهی و افزایش میزان خاک لخت شد که افزایش رواناب در اثر کاهش تراکم پوشش گیاهی و لاشبرگ را منجر خواهد شد (۴ و ۱۳). از طرفی یکی از دلایل کاهش شاخص‌های عملکرد در سایت جنگلی با انبوهی پوشش تاجی کم می‌تواند از بین رفتن نهانزادان آوندی در این سایت‌ها باشد. افزایش پوسته میکروبیوتیک در خاک، ساختمان و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشیده و علاوه بر افزایش لاشبرگ نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی و ساختمان سطح خاک ایفا می‌کند (۱۴).

نتایج شاخص‌های سلامت

نتایج حاصل از مشاهدات و اندازه‌گیری شاخص‌های منطقه نشان داد از نظر شیارها و الگوی جریان آب در منطقه وضعیت نسبتاً مطلوبی دارد. سنگ و سنگریزه به میزان کم و عدم وجود خاک لخت ، آثار تجمع رسوبات به‌صورت پراکنده در پای گیاهان بوته‌ای، قرار گرفتن پایداری سطحی خاک نسبت به فرسایش در کلاس مطلوب آزمون پایداری، هدررفت و تخریب ناچیز سطحی خاک در فواصل بین گیاهان از خصوصیات پایداری خاک و رویشگاه در این سایت است. ترکیب جوامع گیاهی و توزیع



شکل ۲. نقشه تکه‌تکه‌شدگی تولید شده از روش: الف) انتروپی و ب) پیوستگی
(رنگ طوسی نشان‌دهنده پس زمینه خاک لخت و طیف رنگی از آبی تیره (حداقل تکه‌تکه‌شدگی) تا بنفش (حداکثر تکه‌تکه‌شدگی) است)
(رنگی در نسخه الکترونیکی)

آن با غالبیت گونه‌های بلوط غرب و گندمیان بلند در زیراشکوب آنها از لحاظ درصد ترکیب و نقش مهم و تاثیرگذار این گونه‌ها در نفوذپذیری به‌دلیل سیستم ریشه‌دوانی متفاوت، حجم لاشبرگ پنج درصدی در این رویشگاه، عدم وجود مناطق لخت و جابه‌جایی لاشبرگ‌ها که از نظر اندازه ریز هستند به مقدار ناچیز نشانگر خصوصیات عملکرد آب‌شناختی در منطقه است. وجود گروه‌های ساختاری و عملکردی نظیر درختی، گندمیان و پهن‌برگان حجم لاشبرگ و کلاس پایداری متعادل از ویژگی‌های سلامت گیاهان در این رویشگاه است.

جنگل با انبوهی کم پوشش تاجی

در این منطقه آثار از فرسایش شیاری و بادی دیده می‌شود. اما اثری از خندق وجود ندارد. مناطق لخت در مقایسه با منطقه مرجع افزایش یافته است. مقاومت سطح خاک به‌خصوص در فواصل بین گیاهان کاهش یافته است (کلاس ۳ پایداری). در اثر تردد زیاد دام‌ها و لگدکوبی بیش از حد، فشردگی خاک افزایش یافته است. در اثر شدت چرا ترکیب گیاهی تغییر کرده است و گونه‌های درختی با فاصله زیاد از هم قرار گرفته‌اند. گروه‌های ساختاری و عملکردی و تعداد گونه‌ها در مقایسه با سایت مرجع کاهش یافته و حجم لاشبرگ ۱۹ درصد است. از لحاظ ویژگی سلامت گیاهان در طبقه حاد قرار گرفته است و ویژگی‌های سلامت مرتع تفاوت معنی‌داری با سایت مرجع نشان می‌دهد ($P < ۰/۰۵$). ویژگی اکوسیستم جنگل با انبوهی پوشش متوسط در شرایط بینابین حالت پوشش تاجی زیاد و کم قرار گرفت. نتایج مطالعات (۲ و ۱۶) به اهمیت این شاخص‌ها در ارزیابی اکوسیستم اشاره داشته است.

بررسی آثار تکه‌تکه‌شدگی

بر اساس نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۹۴ دو نقشه تکه‌تکه‌شدگی از منطقه جنگلی بر اساس روش انتروپی و پیوستگی تولید شد (شکل ۲). ارزشیابی نقشه کاربری اراضی به‌روش صحت کلی برابر ۹۴٪ بود.

شکل ۲ تکه‌تکه‌شدگی را بر اساس عملکردی از انتروپی مکانی و پیوستگی نشان می‌دهد. بر اساس شمار اشیاء پیش‌زمینه (جنگل‌ها و مراتع) و پس‌زمینه (خاک لخت، مناطق مسکونی و کشاورزی) و فاصله آنها از همدیگر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. بیشترین مقادیر پیوستگی (شکل ۱-ب) به لکه‌های تنها و

کوچک مربوط است. بر اساس این رویکرد، مقادیر کم تکه‌تکه‌شدگی در جنگل‌های با انبوهی پوشش تاجی زیاد دیده شد (قسمت‌های آبی تیره) و بیشترین مقادیر آن در جنگل‌های با انبوهی پوشش تاجی کم ۹۶/۳ درصد بود. جنگل‌های زاگرس اساساً تنک هستند به‌جز برخی لکه‌های دور از دسترس (۸). نتایج نشان داد مقادیر زیاد انتروپی و لکه‌های زیاد و کوچک گیاهی در بخش جنگلی است.

در جنگل‌های با انبوهی پوشش تاجی زیاد قادرند پوشش گیاهی یکپارچه‌ای ایجاد کنند و در مقابله با فرسایش مهم هستند. بنابراین این نوع کاربر ثبات بیشتری در برابر تکه‌تکه‌شدگی دارد. به‌دلیل تغییرات انسان‌ساز در نیم قرن اخیر، ارتباطات بین لکه‌های بوم‌شناسی کاهش یافته و در کل منطقه زاگرس تعداد لکه‌ها افزایش یافته است (۸). با کاهش درصد پوشش گیاهی خاک بدون محافظ می‌ماند و در خطر فرسایش قرار می‌گیرد. جنگل‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک در طی سال‌ها به‌دلیل فشار چرایی زیاد تخریب شده‌اند (۱۲ و ۲۴) و دام اهلی بر این تخریب تأثیر گذار است (۱۰) که تأثیر آن بر پایداری اکوسیستم و درجه تکه‌تکه‌شدگی است. چرای شدید و زودرس دام روستاییان و عشایر در زیراشکوب جنگلی و سرشاخه‌خواری گونه‌های درختی و درختچه‌ای منجر به کاهش پوشش تاجی شده و متعاقباً ساختار و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرارمی‌دهد (۱۸ و ۱۹). این نتایج با نتایجی که از روش میدانی (LFA) در تعیین ساختار سیمای سرزمین به‌دست آمد همسو هستند. چرا که مناطقی که در اندازه‌گیری‌های میدانی دارای ساختاری شکننده بود در نقشه به‌دست آمده هم درجه تکه‌تکه‌شدگی بالایی داشت. با گذشت زمان و در اثر تخریب، آثار لکه‌های کوچک دیده می‌شود که حاکی از گسیختگی رویشگاه‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی یکپارچه و تبدیل آن به حالت لکه‌ای است و می‌توان نتیجه گرفت، که گرایش سیمای سرزمین جنگلی به‌سمت ساختار ریزدانه است. ساختار ریزدانه از تعداد زیادی لکه‌های کوچک تشکیل شده است (۱، ۵، ۷ و ۲۱). این موضوع نشان می‌دهد که به‌دلیل افزایش تکه‌تکه‌شدگی رویشگاه‌ها اثرپذیری آثار نامطلوب جوی یا فعالیت‌های انسانی روی منطقه بیشتر می‌شود (۱۸ و ۱۹) و این وضعیت روی عملکرد است به نحوی که به‌دنبال تخریب ساختار ها عملکرد کاهش می‌یابد (۱۱ و ۲۸). ایجاد ساختارهای مصنوعی، تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین و از بین رفتن رویشگاه‌ها باعث تغییر در ویژگی‌های چشم‌اندازهای جنگلی می‌شود. در تحقیقی دیگر همانند این مطالعه نتیجه گرفتند عملکرد منطقه نسبت به مناطق طبیعی و دست نخورده ضعیف‌تر است (۲۸).

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر فشار شدید و زودرس منجر به تغییرات زیادی در سطح اکوسیستم‌های جنگل‌های باز زاگرس شده است. ارزیابی میدانی عملکرد با استفاده از دو رویکرد LFA و مدل سلامت مرتع در اکوسیستم‌های جنگلی نشان می‌دهد، که افزایش ویژگی‌های ساختاری مانند طول لکه‌های بوم‌شناسی، سطح کل لکه، شاخص سطح لکه و درصد پوشش و ویژگی‌های عملکردی مانند پایداری خاک، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی باعث بهبود شرایط سایت‌های جنگلی با وضعیت سالم نسبت به سایت‌های با وضعیت ناسالم شده است. ویژگی‌های ساختاری لکه‌های پوشش گیاهی در پی وقوع آشفتگی‌ها تغییر می‌کنند و نتیجه آن تخریب ساختارهای فیزیکی اکوسیستم و کاهش عملکرد است. افزایش تکه‌تکه‌شدگی جنگل‌های بلوط غرب منجر به گرایش منفی در شاخص‌های عملکردی و ساختاری شده است. به‌طوری که نقشه‌های تکه‌تکه‌شدگی نشان داد تعداد زیادی لکه‌های کوچک با درجه تکه‌تکه‌شدگی زیاد در جنگل‌های باز وجود دارد. درجه کم تکه‌تکه‌شدگی در جنگل‌ها با پوشش تاجی انبوه دیده شد. رویهم رفته برای مطالعه اکوسیستم‌های نیمه‌خشک نیاز به شاخص‌های کمی، سریع، قابل تکرار و حساس به تغییرات است. روش‌های LFA و سلامت می‌توانند در مواقع نیاز جانشین اندازه‌گیری‌های مستقیم باشند و پتانسیل خوبی برای

کمک به مدیران در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و احیایی فراهم کنند. این روش‌ها می‌توانند برای اولویت‌بندی مناطق تخریب شده استفاده شوند و گزینه‌های مدیریتی فراهم کنند. ترکیب نتایج این روش و روش‌های سنجش از دور می‌تواند زمینه‌ساز تولید نتایج قابل اعتمادی برای اهداف مدیریتی باشد.

منابع مورد استفاده

1. Almeida, D., J. Rocha, C. Neto and P. Arsénio. 2016. Landscape metrics applied to formerly reclaimed saltmarshes: A tool to evaluate ecosystem services? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 181(Supplement C): 100-113.
2. Arzani, H. and M. Abedi. 2004. Effect of management on rangelands health attribute and its ecological indicator. *Rangeland and desert* 13(2): 145-161 (In Farsi).
3. De Martonne, E. 1926. Une Nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. Gauthier-Villars, Paris, 532 p.
4. Don, A., T. Scholten and E. D. Schulze. 2009. Conversion of cropland into grassland: Implications for soil organic-carbon stocks in two soils with different texture. *Plant Nutrition Soil Science* 172: 53-62.
5. Eigenbrod, F. 2016. Redefining landscape structure for ecosystem services. *Current Landscape Ecology Reports* https://doi.org/10.1007/s40823-016-0010-0.
6. Evans, R. A. and R. M. Love.1957. The Step-point method of sampling-A practical tool in range research. *Journals at the University of Arizona* 10: 5-15.
7. Forman, R. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Region. Cambridge University press, USA, 656 p.
8. Henareh Khalyani, A. and A. L. Mayer. 2013. Spatial and temporal deforestation dynamics of Zagros forests (Iran) from 1972 to 2009. *Landscape and Urban Planning* 117 (Supplement C), S. 1-12, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.04.014.
9. Heshmati, Gh., P. Karami and M. Amirkhani. 2006. Evaluating rangeland ecosystem potentioal in Inche borun region, Golestan. *Journal of Agriculture and Natural Resources Science* 4(1): 1-9 (In Farsi).
10. Illius, A. W. and T. G. O'Connor. 1999. On the relevance of nonequilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecological Applications* 9: 798-813, DOI: 10.1890/1051-0761(1999)009[0798: OTRONC] 2.0.CO; 2.
11. Jafari F., R. Jafari and H. Bashari. 2017. Assessing the performance of remotely sensed landscape function indices in semi-arid rangelands of Iran. *The Rangeland Journal* 39: 253-262.
12. Jafari, R., H. Bashari and M. Tarkesh. 2017. Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid Land Research and Management* 31(1), S. 94-110, DOI: 10.1080/15324982.2016.1224955.
13. Krümmelbein, J., S. Peth, Y. Zhao and R. Horn. 2009. Grazing-induced alterations of soil hydraulic properties and functions in Inner Mongolia,PR China. *Plant Nutrition Soil Science* 172: 769-776.
14. Li, X. R., H. L. Xiao, J. G. Zhang and X. P. Wang. 2004. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger Desert, northern China. *Restoration Ecology* 12: 376-390.
15. McGarigal, K., S. Cushman, M. Neel and E. Ene. 2002. FRAGSTATS v3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.
16. Molaeinasab, A., H. Bashari, M. Tarkesh and M. R. Mosaddeghi. 2018. Soil surface quality assessment in rangeland ecosystems with different protection levels, central Iran. *CATENA* 171: 72-82, https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.004.
17. Mollaei, M. 2010. Study of LFA effectiveness for evaluating stability and organic matter content in some rangeland sites. MSc thesis, Isfahan University of Technology, Iran.
18. Naghipour, A. A., H. Bashari, S. J. Khajeddin, P. Tahmasebi and M. Iravani. 2016. Effects of smoke, ash and heat shock on seed germination of seven species from Central Zagros rangelands in the semi-arid region of Iran. *African Journal of Range & Forage Science* 33: 37-71, https://doi.org/10.2989/10220119.2015.1119194.
19. Naghipour, A., S. J. Khajeddin, H. Bashari, P. Tahmasebi and M. Iravani. 2014. Effects of fire Products on the Seed Germination of the Three Dominant Species from Astragalus Genus in Semi-Steppe Rangelands of Central Zagros, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 3(9): 71-80, http://ijae.iut.ac.ir/article-1-567-en.html. (In Farsi).
20. O'Sullivan, L., R. E. Creamer, R. Fealy, G. Lanigan, I. Simo, O. Fenton, J.Carfrae and R. P. O. Schulte. 2015. Functional land management for managing soil functions: A case-study of the trade-off between primary

productivity and carbon storage in response to the intervention of drainage systems in Ireland. *Land Use Policy* 47: 42-54.

21. Plexida, S. G., A. I. Sfougaris, I. P. Ispikoudis and V. P. Papanastasis. 2014. Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity-A comparison among Greek landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.001.
22. Popp, A., N. Blaum and F. Jeltsch. 2009. Ecohydrological feedback mechanisms in arid rangelands: Simulating the impacts of topography and land use. *Basic and Applied Ecology* 10(4): 319-329.
23. Pyke, D. A., M. Pellant, P. Shaver and J. E. Herrick. 2001. Interpreting Indicators of Rangeland Health. National Science and Technology Center, Technical Reference, Denver, Colorado, USA, 136 p.
24. Thompson N. H., A. G. Kathleen J. S. Chris, J. A. Randall, B. B. Robin and P. K. Thornton. 2008. Fragmentation of rangelands: Implications for humans, animals, and landscapes. *Global Environmental Change* 18(4): 776-785, https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.011.
25. Tongway, D. J. and A. Ludwig. 1990. Vegetation and soil patterning in semi-arid mulga lands of Eastern Australia. *Journal of Ecology* 15: 23-34.
26. Tongway, D. J. and N. Hindley. 2004. Landscape Function Analysis: Procedures for Monitoring and Assessing Landscape. CSIRO, Brisbane, Australia, 80 p.
27. Vogt, P. 2015. Quantifying landscape fragmentation. Institute of Landscape Ecology Slovak Academy of Sciences, S. 978-80-89325-27-6. http://www.uke.sav.sk.
28. Walt, L., S. S. Cilliers, K. Kellner, M. J. Du Toit and D. J. Tongway. 2015. To what extent does urbanization affect fragmented grassland functioning? *Journal of Environmental Management* 151(0): 517-530.
29. Website of forest and rangeland organization. 2018. http://frw.org.ir/00/Fa/StaticPages/Page.aspx?tid=1500.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Spatial Analysis of Central Zagros Forest Fragmentations for Conservation and Restoration Purposes (A Case Study: Posht kuh Forests, Fereydoonshahr, Isfahan Province)

M. Safaei[1], R. Jafari[1*] and H. Bashari[1]

(Received: Oct. 22-2018; Accepted: Jan. 12-2019)

Abstract

In the current study, conservation strategies were employed for the spatial analysis of forest fragmentation and field assessment approaches in a forest landscape of Central Zagros, in the western part of Isfahan province, Iran. Vegetation and soil properties were accordingly studied in 15 forest sites with various densities including dense, semi-sparse and sparse-forests with 839.2 km^2. In the Landscape Function Analysis (LFA) method, 11soil surface indicators were assessed from each patch and inter-patch zones along the established transects to obtain three functional indices including soil-stability, infiltration and nutrient-cycling. In the health method, assessors rated 17 indicators to evaluate three functional attributes of ecosystems including soil and site-stability, biotic-integrity and hydrologic-function. Land use map of the study area was produced using Landsat OLI (2016) to measure the spatial distribution of fragmentation. The results of LFA showed that the stability and nutrient-cycling indices of the dense-forest sites were 72.4 and 57.9%, respectively, which were significantly higher than those in other lands ($p < 0.05$). According to the health results, soil surface loss, invasive plants and soil surface resistance to erosion were the most important factors influencing the health of the sites. The values of normalized fragmentation in dense-forest and sparse-forest areas were 54% and 96.3%, respectively. According to the obtained results, the combined field-based and remotely-sensed approaches applied in this research could be used to assess the functionality of Zagros forests.

.

Keywords: Ecosystem health, Landscape function analysis, Structural and functional indices.

1. Dept. of Natur. Resour., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: reza.jafari@cc.iut.ac.ir