

بررسی تغییرات ساختاری ناشی از جاده در پارک ملی گلستان در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ با استفاده از متریک‌های اکولوژی سیمای سرزمین

لعبت زبردست*^۱، احمدرضا یآوری^۲، اسماعیل صالحی^۳، مجید مخدوم^۴

۱ دانش‌آموخته دکترای برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲ دانشیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳ استادیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۴ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۱۳؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱۰/۱۲)

چکیده

افزایش عمق آثار ناشی از فعالیت‌های انسان موجب شده است که پژوهاک این فعالیت‌ها در همه مکان‌ها حتی نواحی کاملاً طبیعی (مانند پارک‌های ملی) نیز احساس شود. به‌نحوی که وجود کاربری‌های معارض و ناسازگار که با هدف اولیه حفاظت در آن‌ها در تضاد کامل است، باعث تخریب ساختار و جلوگیری از تحقق اهداف و عملکردهای این مناطق حساس و با اهمیت شده است. در میان کاربری‌های ناسازگار درون مناطق حساس و تحت حفاظت، جاده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ چرا که به علت طول زیاد، محدوده تحت تأثیر و آثار ناشی از آن‌ها وسعت و پیچیدگی بیشتری خواهد داشت. با توجه به تأثیرات منفی ساختاری عملیات راهسازی و بهره‌برداری همزمان از جاده گذرنده از پارک ملی گلستان، در این تحقیق از متریک‌های اکولوژی سیمای سرزمین برای کمی‌سازی تغییرات ساختاری در راستای تعیین تأثیرات فضایی ناشی از این جاده استفاده شده است. نتایج اندازه‌گیری متریک‌ها، نشان‌دهنده افزایش از هم‌گسیختگی در پارک ملی گلستان است که در سطح سیمای سرزمین و طبقه جنگل متراکم قابل مشاهده است.

کلید واژه‌ها: پارک ملی گلستان، اکولوژی سیمای سرزمین، تغییرات ساختاری، از هم‌گسیختگی

سرآغاز

مناطق تحت حفاظت، از جمله پارک‌های ملی، در صورت مدیریت مطلوب، می‌توانند کارکردهایی مانند حفظ فرایندهای اکولوژیک اساسی و سیستم‌های حیات‌بخش، تنوع ژنتیکی، فراهم آوردن زیستگاه برای گونه‌های حساس و بسیاری خدمات دیگر را عرضه کنند (مجنونیان، ۱۳۸۰). اما افزایش عمق آثار ناشی از فعالیت‌های انسان موجب شده‌است که پژوهاک این فعالیت‌ها در همه مکان‌ها حتی نواحی کاملاً طبیعی (مانند پارک‌های ملی) نیز احساس شود (Green, et al, 2006). این آثار اغلب به صورت غیرمستقیم و به علت تغییرات روی داده در اراضی مجاور مناطق تحت حفاظت و گاه به صورت مستقیم و از طریق حضور کاربری‌های ناسازگار درون آن‌ها که با هدف اولیه حفاظت در تضاد کامل است، باعث تخریب ساختار و جلوگیری از تحقق اهداف و عملکردهای این مناطق می‌شوند (Zeng and Wu, 2005).

در میان کاربری‌های ناسازگار درون مناطق حساس و تحت حفاظت، جاده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ چرا که به علت طول زیاد، محدوده تأثیرگذاری و آثار ناشی از آن‌ها وسعت و پیچیدگی بیشتری خواهند داشت (Forman and Lauren, 1998; Coffin, 2007). از سوی دیگر شکل خاص جاده‌ها و ابعاد فضایی - زمانی^(۱) آثار ناشی از آن‌ها، استفاده از اکولوژی سیمای سرزمین را برای مطالعه تأثیرات فضایی آن‌ها بسیار نوید بخش ساخته است (Forman, 1995; Forman, et al., 2003; Fu, 2010). از مهمترین تأثیرات جاده‌ها بر ساختار سیمای سرزمین، ازهم‌گسیختگی است (Avon, et al., 2010; Byron, et al., 2000; Coffin, 2007; Forman and Lauren, 1998; Forman, et al., 2003; Frohn and Hao, 2006; Fu, et al., 2010; Serrano, et al., 2002). عبارت است از شکسته شدن و تبدیل پوشش خاص سرزمین، یا زیستگاه به قطعات کوچکتر بدون ارتباط با یکدیگر (Turner et al, 2001; Quintana, 2010). این اثر فضایی که یکی از مهمترین تهدیدات برای اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی آن‌ها به شمار می‌رود (Naveh, 1998; Zeng and Wu, 2005; Laurance, 2008)، از طریق تغییر در توزیع فضایی عناصر ساختاری (Green, et al, 2006; Lloyd, et al., 2006) منجر به کاهش پیوستگی^(۲) در سیمای سرزمین، یا میزان سهولت

گردش مواد، انرژی و جانداران می‌شود (Selman, 2006). از هم‌گسیختگی دارای چندین جزء، یا حالت است که عبارتند از (Forman, 1995; Leitao and Ahern, 2002):

سورخ‌شدگی^(۳): شامل ایجاد لکه‌های جدید و اختلالی در پوشش اولیه است.

دو تکه شدن^(۴): شامل عبور عنصر خطی (مانند جاده) از پوشش اولیه و تبدیل آن به دو قسمت است.

حذف^(۵): در این حالت لکه زیستگاهی مورد نظر به طور کامل ناپدید شده و به این ترتیب از تعداد کلی لکه‌ها کاسته می‌شود.

کاهش اندازه^(۶): در این حالت اندازه لکه‌های زیستگاهی کوچکتر می‌شود.

جدا افتادگی^(۷): در این حالت لکه‌های زیستگاهی از یکدیگر جدا شده و ارتباط مؤثر خود را از دست می‌دهند.

جاده‌ها به صورت مستقیم، یا غیر مستقیم در ایجاد همه تأثیرات فضایی مرتبط با از هم‌گسیختگی نقش دارند (Forman, 1995).

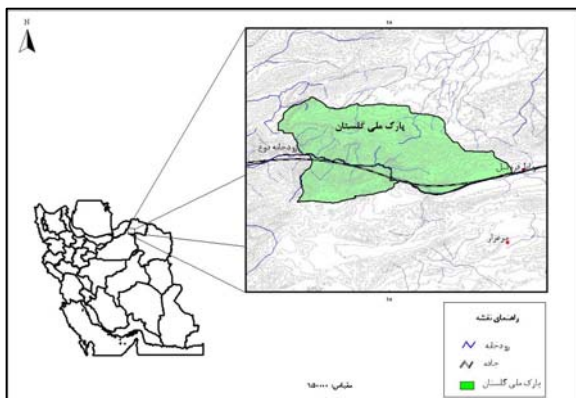
یکی از اهداف اصلی اکولوژی سیمای سرزمین، مطالعه ساختار موزایک سرزمین و تأثیرات آن بر فرایندهای اکولوژیکی است (Farina, 1998; Uuemaa, et al., 2009) و از نقاط قوت این رشته، امکان کمی کردن این ساختارها و فرایندهاست. با استفاده مناسب از این امکان می‌توان تفاوت‌های ساختاری، تغییر در الگوها در طول زمان و نشانه‌های مربوط به فرایندهای اکولوژیکی را بخوبی در سیمای سرزمین متفاوت نشان داد و امکان مقایسه آن‌ها را با هم فراهم کرد (Collinge, 2009).

متریک‌های سیمای سرزمین بر ویژگی‌های فضایی و توزیع لکه‌ها در سیمای سرزمین تمرکز دارند. با آنکه لکه‌های منفرد دارای خصوصیات فضایی اندکی هستند، مجموعه لکه‌ها، می‌توانند ویژگی‌های جمعی متنوعی داشته باشند که ممکن است این به یک نوع لکه، یا مجموعه‌ای از طبقات لکه‌ها مربوط باشد. بنابراین معمولاً متریک‌ها در سه سطح تعریف شده و محاسبه می‌شوند (Farina, 2000):

متریک‌های سطح لکه^(۸): این متریک‌ها برای لکه‌های منفرد تعریف می‌شوند و ویژگی‌های فضایی و بافت لکه را مورد نظر قرار می‌دهند.

متریک‌های سطح طبقات^(۹): در مورد مجموعه لکه‌های مربوط به

زیستگاه‌های متعدد و متنوعی برای زیست جانوران گوناگون به‌ویژه حیات‌وحش به‌طور عمده و بارز شکل گرفته است (مجنوبیان و همکاران، ۱۳۷۸).



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده پارک ملی گلستان

از مهمترین عوامل شکل‌زایی در هر منطقه، نابسامانی^(۱۱) با منشاء طبیعی و انسانی هستند (Farina, 1998). از جمله اختلالات طبیعی قابل ذکر در منطقه مورد مطالعه، آتش‌سوزی‌های طبیعی و سیل است که البته رژیم‌های مربوط به آن‌ها با دخالت‌های انسانی و تأثیر عوامل دارای مقیاس‌های وسیع (مانند تغییرات اقلیمی) دچار تغییرات مهمی شده است (حسین‌زاده و جهادی طرقي، ۱۳۸۵).

تعارضات مختلف موجود در منطقه، از عوامل نابسامانی با منشاء انسانی به‌شمار می‌روند که یکی از مهمترین آن‌ها حضور و توسعه جاده است. به‌طور کلی حضور جاده در هر اکوسیستم نه تنها منجر به افزایش وسعت، شدت و تناوب اختلالات انسانی (از طریق افزایش دسترسی، آلودگی و...) خواهد شد، بلکه به صورت بالقوه می‌تواند اختلالات طبیعی (مانند افزایش سرعت رواناب ناشی از سیل به دلیل غیرقابل نفوذ بودن و آتش‌سوزی‌های با منشاء انسانی) را نیز تسریع کند (Forman, et al., 2003). سایر تعارضات (اختلالات انسانی دیگر) در منطقه عبارتند از برداشت گیاهان، چرای دام، آتش‌سوزی و حضور انسان در مناطق بکر (مجنوبیان و همکاران، ۱۳۷۸)، که همه این عوامل به‌طور همزمان با اختلالات و عوامل شکل‌زایی طبیعی منجر به تغییر در ساختار سیمای سرزمین شده است. یکی از مهمترین تعارضات

طبقه‌ای خاص محاسبه می‌شوند.

متریک‌های سطح سیمای سرزمین^(۱۰): این متریک‌ها در کل محدوده محاسبه شده و برآیند ویژگی‌های لکه‌ها و طبقات هستند. جاده موجود در پارک ملی گلستان که به علت مکان‌یابی غلط (واقع شدن در حریم رودخانه دوغ) در اثر سیل‌های اوایل دهه ۱۳۸۰ تخریب شد، مجدداً در محل قبلی خود همزمان در حال بازسازی و بهره‌برداری است (مهندسان مشاور پاسیلو، ۱۳۸۸). با توجه به تأثیرات منفی عملیات راهسازی و بهره‌برداری همزمان از جاده، در این تحقیق سعی بر آن است که با استفاده از متریک‌های مرتبط با آثار فضایی ناشی از جاده‌ها، تغییرات ساختاری سیمای سرزمین پارک در دوره زمانی مورد بررسی به صورت کمی نشان داده شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پارک ملی گلستان نخستین پارکی است که در ایران عنوان پارک ملی را به خود اختصاص داده است. این پارک در شمال‌شرقی ایران در حدفاصل ۳۷° ۱۶' ۴۳" تا ۳۷° ۳۱' ۳۵" عرض شمالی و ۲۵° ۴۳' ۵۵" تا ۲۵° ۱۷' ۴۸" طول شرقی قرار داشته و از نظر تشکیلات و مسئولیت حفاظتی تحت نظر اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان قرار دارد (مجنوبیان و همکاران، ۱۳۷۸). مساحت پارک حدود ۹۱ هزار هکتار و محیط آن ۱۴۷ کیلومتر است. از جمله شهرهای نزدیک پارک می‌توان به گنبد کاووس و بجنورد اشاره کرد که به ترتیب در ۵۵ کیلومتری غرب و ۱۱۵ کیلومتری شرق پارک قرار دارند (آخانی، ۱۳۸۳). در شکل (۱) نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

پارک ملی گلستان منطقه‌ای کوهستانی با ارتفاع متوسط ۱۳۷۸ متر بوده و دره عمیقی که رودخانه دوغ، یا مادرسو از وسط آن می‌گذرد پارک را به دو نیمه شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند (حسین‌زاده کبابی و همکاران، ۱۳۷۲). مهمترین رودخانه موجود در پارک، رودخانه مادرسو یا دوغ، از سر شاخه‌های گرگان رود است (عباس‌زاده تهرانی، ۱۳۸۱). به علت تنوع شکل زمین و شرایط اقلیمی، پارک دارای رویشگاه‌های متنوع و تنوع گیاهی چشمگیری است. در سرتاسر منطقه جنگلی پارک ملی گلستان،

نبودن تصاویر ماهواره‌ای به روز در کشور (به نحوی که در زمان انجام تحقیق، تصاویر مربوط به سال ۲۰۰۸ جدیدترین تصاویر موجود است) نقشه به‌دست آمده به کمک نرم‌افزار Google Earth و تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۱۰ این نرم‌افزار، بروزرسانی شد. مهمترین محدودیت در استفاده از تصاویر Google Earth توان تفکیک متفاوت آن با تصاویر دیگر مورد استفاده در این تحقیق بود. به منظور کاهش تأثیر این محدودیت، تصویر محدوده با فرمت Tiff ذخیره شد و با استفاده از تصویر IRS محدوده تصحیح هندسی و یکسان‌سازی اندازه پیکسل‌ها انجام شد. پس از آن نقشه پوششی تهیه شده برای سال ۱۳۸۷ بر روی این تصویر قرار داده شد و تفاوت‌های روی داده در فاصله زمانی دو ساله بروزرسانی شده و نقشه پوشش اراضی منطقه برای سال ۱۳۸۹ تهیه شد. مهمترین پوشش‌های قابل شناسایی در منطقه مورد مطالعه برای دو مجموعه زمانی مورد بررسی عبارتند از جنگل متراکم، رویش‌های مرتعی، پوشش درختی پراکنده، اراضی زراعی، انسان‌ساخت، رودخانه و جاده.

در مرحله بعد با استفاده از نقاط برداشت شده از منطقه با (GPS)، نقشه جوامع و رویشگاه‌های گیاهی (مجنونیان و همکاران، ۱۳۷۸) و نقشه‌های توپوگرافی منطقه (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۵) طبقات پوششی استخراج شده دقیق‌تر شد. برای نمونه مشخص شد که پوشش‌های درختی پراکنده در حاشیه شمالی جاده از نوع جنگل تخریب یافته (توالی ثانویه) و در سایر قسمت‌ها، مراتع مشجر (دارستان و بیشه‌های ارس) است. صحت نقشه تولید شده از طبقه‌بندی صورت گرفته برای سال ۱۳۶۶، ۹۰/۶۹ درصد و برای سال ۱۳۸۷، ۹۳/۰۲ درصد است. از آنجا که تبدیل نقشه ۱۳۸۷ به ۱۳۸۹ از طریق دیجیت بر روی صفحه نمایش^(۱۵) انجام گرفته‌است، ارزیابی صحت این نقشه از طریق تطابق نقاط برداشت شده (واقعیت زمینی) بر روی این نقشه صورت گرفت و عدم تطابق تا میزان ۴۱ نقطه از ۴۳ نقطه برداشت شده رفع شد که این میزان برابر صحتی معادل ۹۵/۳۴ درصد است.

نتایج مقایسه‌ای تغییرات روی داده در پوشش اراضی منطقه مبین کاهش بیش از ۹ درصد در پوشش‌های جنگلی متراکم در محدوده مورد مطالعه است. با توجه به اهمیت بالای این جنگل‌ها از دیدگاه اکولوژیکی و واقع شدن جاده مورد نظر در درون آن‌ها،

موجود در پارک ملی گلستان، وجود جاده آسیایی گرگان-مشهد در داخل پارک است که عملاً پارک را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم کرده است. این جاده در همین موقعیت هم‌زمان در حال استفاده و تعریض است. این مسیر در مجاور بستر رودخانه مادرسو (دوغ) است که در اثر سیل سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ تخریب شده است. موقعیت محور جدید تقریباً منطبق بر محور موقت فعلی است که تردد وسایط نقلیه سبک و سنگین بین شهرهای مجاور روی آن انجام می‌شود (مهندسان مشاور پارسیلو، ۱۳۸۸).

روش پژوهش

بررسی تغییرات ساختاری سیمای سرزمین

تهیه نقشه‌های پوشش اراضی

به‌منظور بررسی تغییرات ساختاری در منطقه مورد مطالعه، ابتدا نقشه پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره‌های زمانی منتخب استخراج شد تا در تحلیل ساختاری با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین استفاده شود.

برای تهیه نقشه پوشش اراضی قدیمی‌تر، از تصویر سال ۱۳۶۶ ماهواره لندست^(۱۲) سنجنده تی‌ام^(۱۳) با تاریخ دریافت ۱۹۸۷/۶/۱۶ استفاده شده است. استفاده از تصاویری با توان تفکیک مشابه در سنجش تغییرات ساختاری سیمای سرزمین با استفاده از متریک‌ها متداول بوده و می‌توان مثال‌های بسیاری در این زمینه ارائه کرد (Zeng and Wu, 2005; Honnay, et al., 2003; Southworth, et al., 2004) با آن که استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست، امکان مقایسه تغییرات را در چندین دوره فراهم می‌کند، اما به علت در دسترس نبودن، استفاده از تصاویر این ماهواره برای بررسی تغییرات اخیر ساختاری در منطقه مورد بررسی امکان‌پذیر نیست.

برای استخراج نقشه پوششی جدید منطقه ابتدا از تصویر ماهواره ای آی آر اس^(۱۴) با تاریخ دریافت ۲۰۰۸/۰۶/۰۶ استفاده شده است. با توجه به یکسان نبودن توان تفکیک تصاویر مورد استفاده، یکسان‌سازی اندازه پیکسل‌های آن‌ها صورت گرفت تا امکان مقایسه تغییرات دو مجموعه زمانی میسر شود. به این ترتیب توان تفکیک تصویر IRS (۲۳/۵ متر) به توان تفکیک لندست (۳۰ متر) تبدیل شد. از سوی دیگر به علت در دسترس

متریک مرتبط	تأثیر بر ویژگی‌های سیمای سرزمین	فرایند فضایی از هم‌گسیختگی
TE, ED, MPE, MPAR	افزایش میزان لبه و مرز افزایش نسبت محیط به مساحت	دو تکه سازی (Dissection)
MSI, MPFD	افزایش پیچیدگی شکلی	

نحوه محاسبه متریک‌های منتخب به صورت زیر است (McGarigal and Marks, 1995; Farina, 2000; Frohn and Hao, 2006):

۱. مساحت هر طبقه (CA): شامل مجموعه مساحت تمامی لکه‌های طبقه است که معمولاً برحسب هکتار محاسبه می‌شود.
۲. تعداد لکه‌ها (NumP): در صورت استفاده در سطح سیمای سرزمین نشان‌دهنده تعداد کل لکه‌های موجود در سیمای سرزمین و در سطح طبقات، نشان‌دهنده کل لکه‌های موجود در هر طبقه است.
۳. متوسط اندازه لکه (MPS): متوسط اندازه لکه مبین میانگین اندازه لکه‌ها در هر طبقه بوده و از تقسیم مساحت هر طبقه به تعداد لکه‌ها در هکتار محاسبه می‌شود.
۴. کل لبه (TE): کل لبه نشان‌دهنده طول کل لبه‌ها و مرزهای موجود در درون سیمای سرزمین است که از طریق فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$TE = \sum_{k=1}^{m'} eik \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن eik طول لبه بین لکه‌های i و k است. واحد اندازه‌گیری آن متر است.

۵. تراکم لبه (ED): تراکم لبه، مقدار لبه نسبت به کل مساحت سیمای سرزمین است که برحسب متر بر هکتار بیان شده و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^{m'} eik}{A} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن eik طول لبه بین لکه‌های i و k و A مساحت کل سیمای سرزمین مورد بررسی است.

۶. متوسط لبه لکه (MPE): متوسط لبه لکه مبین نسبت طول کل لبه‌ها به تعداد لکه در سیمای سرزمین است.

۷. متوسط شاخص شکلی (MSI): عبارت است از میانگین نسبت محیط به مساحت که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

جنگل‌های متراکم به‌عنوان طبقه مورد بررسی در مطالعه تغییرات ساختمانی انتخاب شد. محاسبات مربوط به سطح سیمای سرزمین نیز در کل محدوده پارک انجام گرفته است.

نرم‌افزار مورد استفاده

به‌منظور استخراج متریک‌ها، از نرم‌افزار Patch Analyst 2.2 استفاده شده است. این نرم‌افزار نوعی ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی است که در نرم‌افزار ArcView نصب می‌شود و مزیت آن نسبت به سایر نرم‌افزارهای محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین (مانند Fragstats) این است که اولاً به علت امکان استفاده از فایل‌های برداری، دقت بالاتری داشته و ثانیاً به طور مستقیم به نقشه ارتباط دارد و می‌توان شاخص‌های کمی استخراج شده را به نقشه مورد نظر مرتبط ساخت و نیاز به نرم‌افزار واسطه‌ای ندارد. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان تحلیل ساختار فضایی سیمای سرزمین را به نحو موثرتری انجام داد.

معرفی متریک‌های سیمای سرزمین

برای دستیابی به متریک‌هایی که بتواند به خوبی گویای تغییرات ناشی از فرایند از هم‌گسیختگی در سیمای سرزمین باشد، اجزای مختلف این فرایند (سوراخ‌شدگی، حذف، کاهش اندازه، جدا افتادگی، دو تکه سازی) و تأثیرات آن‌ها بر ویژگی‌های سیمای سرزمین و متریک‌های مرتبط با آن‌ها به شرح جدول (۱) مشخص شد.

جدول (۱): تأثیرات فضایی ناشی از هم‌گسیختگی و

برخی از متریک‌های مرتبط با آن‌ها

متریک مرتبط	تأثیر بر ویژگی‌های سیمای سرزمین	فرایند فضایی از هم‌گسیختگی
NumP, MPS	افزایش تعداد و تنوع و کاهش اندازه لکه‌ها	سوراخ‌شدگی (Perforation)
CA, NumP	کاهش تعداد لکه‌های زیستگاهی	حذف (Attrition)
MPS	کوچک شدن اندازه لکه‌ها	کاهش اندازه (Shrinkage)
TE, ED, MPE, MPA R	افزایش میزان لبه و مرز افزایش نسبت محیط به مساحت	جدا افتادگی (Isolation)
MNN	افزایش فاصله بین لکه‌های همسان	

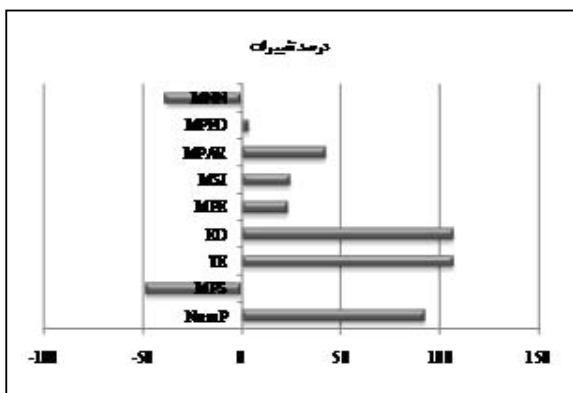
یافته‌ها

محاسبه متریک‌ها و تغییرات آن‌ها

در این مرحله با استفاده از نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۰، متریک‌ها در دو سطح طبقه جنگل متراکم و سیمای سرزمین برای کل محدوده پارک ملی گلستان محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفت. نکته قابل ذکر این است که متریک مساحت طبقه، فقط در سطح طبقه قابل محاسبه است. به علت تفاوت دامنه تغییرات متریک‌ها (ناشی از تفاوت ماهوی آن‌ها)، به منظور مقایسه بهتر، اعداد به صورت نرخ رشد در هر متریک به درصد تبدیل شده و مورد مقایسه قرار گرفته‌است.

محاسبه متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین

در جدول (۲) متریک‌های سطح سیمای سرزمین برای فرایند ازهم‌گسیختگی در پارک ملی گلستان محاسبه شده‌اند. همان‌طور که در جدول (۲) و نمودار (۲) مشخص است، متریک‌های کاهش یافته در سطح سیمای سرزمین مربوط متوسط فاصله از نزدیک‌ترین همسایه و متوسط اندازه لکه است که اولی نشان‌دهنده کاهش فاصله لکه‌های هم‌نوع و دیگری مبین کوچک شدن اندازه لکه‌ها در فاصله زمانی مورد بررسی است. تفسیر کاهش اندازه لکه‌ها آسان‌تر بوده و نشان‌دهنده افزایش ازهم‌گسیختگی است. اما تفسیر نتیجه کاهش فاصله لکه‌های هم‌نوع به سادگی متریک اول نبوده و ممکن است نتیجه ساده‌سازی سیمای سرزمین باشد.



شکل (۲): نمودار مقایسه درصد تغییرات متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین در مقیاس پارک ملی گلستان در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۰

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این فرمول P_{ij} محیط هر لکه و h_{ij} مساحت همان لکه و N برابر با تعداد لکه‌هاست. اگر این متریک برابر با یک باشد، لکه‌ها شکل مربعی داشته و با افزایش پیچیدگی شکل لکه‌ها مقدار آن افزایش پیدا می‌کند.

۸. متوسط نسبت محیط به مساحت (MPAR): زیاد شدن این متریک نشان‌دهنده افزایش لبه لکه‌ها و در نتیجه آسیب‌پذیر شدن بیشتر آن‌ها است که حاصل بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین است.

۹. متوسط ابعاد فرکتال لکه (MPFD): این متریک متوسط ابعاد فرکتال لکه را اندازه‌گیری کرده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{2 \ln(.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right)}{N} \quad \text{رابطه (۴)}$$

مقدار عددی این متریک بین یک و دو بوده و رشد آن نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی و پیچیدگی شکل لکه‌هاست.

۱۰. متوسط فاصله از نزدیک‌ترین همسایه (MNN): عبارت است از متوسط فاصله بر حسب متر از نزدیک‌ترین لکه از همان نوع که بر حسب کوتاه‌ترین فاصله لبه به لبه لکه‌ها محاسبه می‌شود. نحوه محاسبه آن عبارت است از:

$$MNN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{N'} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن h_{ij} فاصله از نزدیک‌ترین لکه هم‌نوع در سیمای سرزمین و N تعداد لکه‌های موجود در همسایگی لکه مورد نظر است. افزایش این شاخص، به معنی افزایش فاصله میان لکه‌های هم‌نوع و دشواری ارتباط میان آن‌هاست که از علائم بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین است.

جدول (۲): مقایسه متریک‌های فرایند از هم‌گسیختگی در سطح سیمای سرزمین در مقیاس پارک ملی گلستان در سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۰

نام متریک	علامت اختصاری	مقدار در سال ۱۹۸۷	مقدار در سال ۲۰۱۰	درصد تغییرات
تعداد لکه‌ها	NumP	۳۷	۷۱	۹۱٫۸۹
متوسط اندازه لکه	MPS	۲۴۶۶٫۳۶	۱۲۵۸٫۲۸	-۴۷٫۸۹
کل لبه	TE	۷۱۴۵۱۰	۱۴۷۲۵۸۰	۱۰۶٫۱۰
تراکم لبه	ED	۷٫۸۳	۱۶٫۱۴	۱۰۶٫۱۳
متوسط لبه لکه	MPE	۲۷۱۵۶٫۵۵	۳۳۳۲۸٫۳۲	۲۲٫۷۳
متوسط شاخص شکلی	MSI	۲٫۵	۳٫۰۹	۲۳٫۶۰
متوسط نسبت محیط به مساحت	MPAR	۸۴٫۸۲	۱۲۰٫۴۷	۴۲٫۰۳
متوسط ابعاد فرکتال لکه	MPFD	۱٫۱۱	۱٫۱۴	۲٫۷۰
متوسط فاصله از نزدیکترین همسایه	MNN	۱۲۹۶٫۲۰	۷۹۷٫۷۰	-۳۸٫۴۶

جدول (۳): مقایسه متریک‌ها در سطح طبقه برای جنگل‌های متراکم در مقیاس پارک ملی گلستان در سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۰

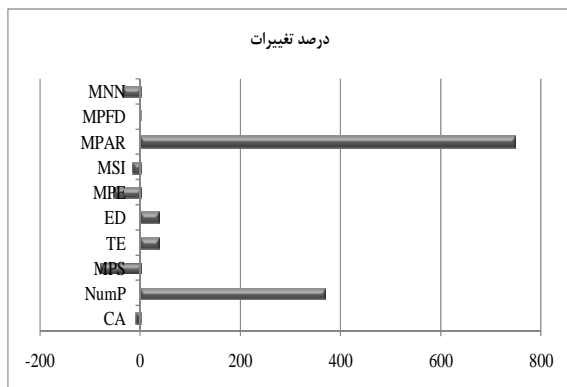
نام متریک	علامت اختصاری	مقدار در سال ۱۹۸۷	مقدار در سال ۲۰۱۰	درصد تغییرات
مساحت طبقه	CA	۴۲۱۶۰٫۰۵	۳۸۶۱۹٫۰۹	-۸٫۴۰
تعداد لکه‌ها	NumP	۳	۱۴	۳۶۶٫۶۷
متوسط اندازه لکه	MPS	۱۴۰۵۲٫۳۵	۲۷۵۸٫۵۱	-۸۰٫۳۷
کل لبه	TE	۴۰۸۵۴۰٫۰۰	۵۵۹۶۲۰٫۰۰	۳۶٫۹۸
تراکم لبه	ED	۴٫۴۸	۶٫۱۳	۳۶٫۸۳
متوسط لبه لکه	MPE	۱۰۹۷۹۴٫۲۰	۵۰۵۶۰٫۸۷	-۵۳٫۹۵
متوسط شاخص شکلی	MSI	۲٫۸۷	۲٫۴۳	-۱۵٫۳۳
متوسط نسبت محیط به مساحت	MPAR	۲۲٫۴۰	۱۸۹٫۵۳	۷۴۶٫۱۳
متوسط ابعاد فرکتال لکه	MPFD	۱٫۱۱	۱٫۱۲	۰٫۹۰
متوسط فاصله از نزدیکترین همسایه	MNN	۸۰٫۰۰	۵۲٫۷۳	-۳۴٫۰۹

افزایش چشمگیر سایر متریک‌ها نیز به معنی افزایش از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین، آسیب پذیر شدن لکه‌ها به علت افزایش طول لبه و پیچیده‌تر شدن شکل آن‌ها و افزایش نواحی مرزی است که بیشترین مقدار در مورد متریک تراکم لبه به چشم می‌خورد.

محاسبه متریک‌ها در سطح طبقه

همان‌طور که ذکر شد، محاسبات مربوط به سطح طبقات برای طبقه جنگل‌های متراکم صورت گرفته‌است که نتایج آن در جدول (۳) و نمودار (۳) نشان داده شده‌است.

همان‌طور که در جدول و نمودار (۳) مشخص است، مهمترین متریک افزایش یافته در مورد طبقه جنگل، متریک نسبت محیط به مساحت است که به میزان بیش از ۷۰۰ درصد افزایش نشان می‌دهد. متریک تعداد لکه‌ها نیز با رشد بیش از ۳۰۰ درصد در



شکل (۳): نمودار مقایسه درصد تغییرات متریک‌ها در سطح طبقه برای جنگل متراکم در مقیاس پارک ملی گلستان در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۰

جایگاه بعدی قرار دارد. رشد این متریک‌ها مبین تبدیل شدن

تخریب پوشش‌های جنگلی متراکم پارک ملی گلستان، حاشیه این جاده است. به طور کلی می‌توان گفت برآیند کلیه عوامل اختلالی در پارک، شامل تغییری ساختاری در منطقه بوده که مهمترین شاخص آن تخریب جنگل‌های متراکم است. براساس نقشه جوامع گیاهی پارک ملی گلستان (مجنونیان و همکاران، ۱۳۷۸)، محل عبور این جاده از میان جنگل‌های خزان‌کننده مناطق پست هیرکانی بوده که در حالت اوج توالی خود قرار دارند، و با توجه به تغییر اقلیم و افزایش بیابان‌زایی در منطقه، تخریب و بروز توالی ثانویه در آن‌ها منجر به ایجاد آثار برگشت‌ناپذیر در این اکوسیستم ارزشمند خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده افزایش تخریب‌های ساختاری مرتبط با از هم‌گسیختگی در این نواحی جنگلی می‌باشد که به معنی کاهش کیفیت و پیوستگی زیستگاه‌های درونی نواحی جنگلی و افزایش نواحی مرزی و آسیب‌پذیری بیشتر این اکوسیستم است.

یادداشت‌ها

1. Spatio-temporal dimensions
2. Connectivity
3. Perforation
4. Fragmentation
5. Attrition
6. Shrinkage
7. Dissection
8. Patch level
9. Class level
10. Landscape level
11. Disturbance
12. Landsat
13. Thematic Mapper (TM)
- 14- IRS
15. On- screen digitizing

بخش‌های یکپارچه به لکه‌های کوچکتر و افزایش نواحی مرزی است که هر دو نشان‌دهنده افزایش از هم‌گسیختگی در طبقه جنگل متراکم است. سایر متریک‌های افزایش یافته (لبه لکه و تراکم لبه) نیز مبین افزایش میزان نواحی مرزی در اکوسیستم جنگلی بوده که نشان‌دهنده از هم‌گسیختگی در این بخش‌هاست.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از متریک‌های اکولوژی سیمای سرزمین به منظور کمی‌سازی از هم‌گسیختگی روی داده در پارک ملی گلستان در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ (۱۹۸۷ میلادی) تا ۱۳۸۹ (۲۰۱۰ میلادی) استفاده شده است. با توجه به این که مهمترین تغییر ساختاری روی داده در فاصله این سال‌ها، تخریب جنگل‌های متراکم ناشی از عملیات راه‌سازی و بهره‌برداری از جاده و اختلالات طبیعی (احتمالاً به علت وجود جاده تشدید شده‌اند) مانند سیل و آتش‌سوزی بوده‌است، کمی‌سازی تغییرات به منظور از هم‌گسیختگی به عنوان مهمترین اثر فضایی جاده‌ها صورت گرفته و شاخص‌های کمی با هدف محاسبه این اثر فضایی انتخاب شده است.

نتایج اندازه‌گیری متریک‌ها، نشان‌دهنده افزایش از هم‌گسیختگی در پارک ملی گلستان است که در سطح سیمای سرزمین و طبقه جنگل متراکم قابل مشاهده است.

با توجه به تعدد عوامل ایجاد تغییر ساختاری در منطقه و ناشناخته بودن ارتباطات و تأثیرات متقابل آن‌ها، نمی‌توان گفت که تغییر ساختاری مورد بحث ناشی از کدام یک از عوامل مذکور بوده است. اما بی‌شک حضور جاده و عملیات عمرانی مربوط به آن نقش مهمی در این مسئله داشته‌است. دلیل این موضوع با مقایسه و روی هم‌گذاری نقشه‌های پوشش اراضی منطقه در دو دوره مورد بحث مشخص می‌شود، چرا که یکی از موقعیت‌های اصلی

فهرست منابع

آخانی، ح. ۱۳۸۳. فلور مصور پارک ملی گلستان. انتشارات دانشگاه تهران.

حسن‌زاده کیابی، ب.؛ زهزاد، ب.؛ فرهنگ دره‌سوری، ب.؛ مجنونیان، ه. و گشتاسب میگونی، ح. ۱۳۷۲. پارک ملی گلستان. انتشارات سازمان محیط‌زیست.

- حسین‌زاده، ر.؛ جهادی طرقي، م. ۱۳۸۵. تجزيه و تحليل ژئومرفولوژيك سيلاب‌هاي کاتاستروفيك، رودخانه مادرسو (جنگل گلستان). مجله جغرافيا و توسعه ناحيه‌اي. (۷): ۸۹ تا ۱۱۵.
- سازمان جغرافيايي نيروهاي مسلح، ۱۳۸۵. نقشه‌هاي توپوگرافي ۱:۵۰۰۰۰ تنگراه، آق قميش، رباط قره بيل، چشمه‌خان، اينچه بالا، بهکده رضوي، شهرک گلیداغ، پاشايي.
- عباس زاده تهراني، ن. ۱۳۸۱. بررسي نقش تغيير کاربري اراضي بر روي ميزان دبي سيلاب ها با استفاده از GIS/RS منطقه مور مطالعه: حوزه آبريز رودخانه دوغ. پايان نامه کارشناسي ارشد. دانشکده محيط زيست. دانشگاه تهران. ۲۳۴ صفحه.
- مجنونيان، ه.؛ زهزاده، ب.؛ کيایي، ب.؛ فرهنگ دره‌شوري، ب. و ميگوني، ح. ۱۳۷۸. شناسنامه پارک ملی گلستان. سازمان حفاظت محيط‌زيست.
- مجنونيان، ه. ۱۳۸۰. پارک‌هاي ملی و مناطق حفاظت شده (ارزش‌ها و کارکردها). انتشارات سازمان حفاظت محيط‌زيست. تهران. ۴۸۰ صفحه.
- مهندسان مشاور پاسيلو. ۱۳۸۸. گزارش پيشرفت کار طرح جاده ويژه جنگل گلستان. شرکت ساخت و توسعه زيربناهاي حمل و نقل کشور. وزارت راه و ترابري.

Avon, C.; Berge`s, L.; Dumas, Y. & Dupouey, J. 2010. Does the effect of forest roads extend a few meters or more into the adjacent forest? A study on understory plant diversity in managed oak stands. *Forest Ecology and Management* (259): 1546- 1555.

Byron, H. J.; Treweek, J. R. & Sheate, W. R. 2000. Road developments in the UK: an analysis of ecological assessment in environmental impact statements produced between 1993 and 1997. *Journal of Environmental Planning and Management*. (43): 71-97.

Coffin, A. W. 2007. From road kill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* (15): 396- 406.

Collinge, S. K. 2009. *Ecology of Fragmented Landscapes*. Johns Hopkins University Press. 340 pp.

Farina, A. 1998. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. London: Chapman and Hall. 235 pp.

Farina, A. 2000. *Landscape Ecology in Action*. London: Kluwer Academic Publisher. 317 pp.

Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaic. The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press. 607 pp.

Forman, R. T. T. and Lauren, E. A. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* (29): 207-231.

Forman, R. T. T.; Sperling, D.; Bissonette, J. A.; Clevenger, A. P.; Cutshall, C. D.; Dale, V. H.; Fahrig, L.; France, R.; Goldman, C. R.; Heanue, K.; Jones, J. A.; Swanson, F. J.; Turrentine, T. & Winter, T. C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washinton, 481 pp.

Frohn, R. C. & Hao, Y. 2006. Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon basin of rondonia, Brazil. *Remote Sensing of Environment*. (100): 237- 251.

Fu, W.; Liu, S.; Degloria, S.; Dong, S. & Beazley, R. 2010. Characterizing the fragmentation- barrier effect of road networks on landscape connectivity: A case study in xishuangbanna, southwest China. *Landscape and Urban Planning* (95): 122-129.

Green, D. G.; Klomp, N.; Rimmington, G. & Sadedin, S. 2006. *Complexity in Landscape Ecology*. Springer. 208 pp.

Honnay, O.; K. Piessens, K.; Van Landuyt, W.; Hermy, M. & Gulinck, H. 2003. Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity. *Landscape and Urban Planning* (63): 241– 250.

Laurance, W. F. 2008. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological Conservation* (141): 1731-1744.

Leitao, A. B. and Ahren, J. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning* (59): 65- 93.

Lloyd, P.; Martin, T. E.; Redmond, R. L.; Hart, M. M.; Langner, U. & Bassar, R. D. 2006. Assessing the influence of spatial scale on the relationship between avian nesting success and forest fragmentation. in Wu, J., Jones, K. B., Li, H., Loucks, O. L. (eds.). *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Springer. Netherlands: 259-273.

McGarigal, K. & Marks, B. J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.

Naveh Z. 1998. From biodiversity to ecodiversity– holistic conservation 159 of the biological and cultural diversity of Mediterranean landscapes. In: Rundel P., Montenegro G., Jaksic F. M.(eds.) *Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean– Type Ecosystems*. Ecological Studies Vol. 136 Springer, Berlin: 23- 50.

Quintana, S. M.; Ramos, B. M.; Martinez, M. A. C. & Pastor, I., O. 2010. A model for assessing habitat fragmentation caused by new infrastructures in extensive territories– Evaluation of the impact of the Spanish strategic infrastructure and transport plan. *Journal of Environmental Management* (91): 1087-1096.

Selman, P. 2006. *Planning at the Landscape Scale*. Routledge. USA.

Serrano, M.; Sanz, L.; Puig, J. & Pons, J. 2002. Landscape fragmentation caused by the transport network in Navarra (Spain). Two-scale analysis and landscape integration assessment. *Landscape and Urban Planning* (58): 113-123.

Southworth, J.; Munroe, D. & Nagendra, H. 2004. Land cover change and landscape fragmentation— comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (101): 185– 205.

Turner, M. G., Gardner, R. H., O' Neil, R. V. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer, New York. 401 pp.

Uuemaa, E.; Antrop, M.; Roosaare, J.; Marja, R. & Mander, U. 2009. Landscape metrics and indices: An overview of their Use in landscape research. *Living Reviews in Landscape Research* (3): 1- 28.

Zeng, H. & Wu, X. B. 2005. Utilities of edge- based metrics for studying landscape fragmentation. *Computers, Environment and Urban Systems* (29): 159- 178.