

مدل‌سازی آشفته‌گی مکانی جنگل با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در پارک ملی گلستان

ماهان قربانی^۱، علی اصغر درویش صفت^{۲*}، بهمن جباریان امیری^۳ و ماریا باقری^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۵

چکیده

هدف این پژوهش، تعیین وضعیت آشفته‌گی مکانی در بخش جنگلی پارک ملی گلستان با استفاده از فن‌آوری سنجه‌ها از دور، سنجه‌های سیمای سرزمین و GIS است. به این منظور پس از تعیین محدوده جنگلی منطقه مورد بررسی، نقشه دقیق پوشش سرزمین جنگل-غیرجنگل سال ۱۳۹۵ آن به روش تفسیر-تلفیقی از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ تهیه شد. پس از تعیین مساحت بهینه شبکه‌بندی، منطقه به شبکه‌ای از ۵۵۰ پهنه شش ضلعی ۱۰۰ هکتاری تقسیم شد. سپس از ۱۲ سنجه مکانی سیمای سرزمین شامل AREA-MN، SPLIT، CONTIG-MN، FRAC-MN، LPI، ENN-MN، PD، NP، MESH، SHAPE-MN و PLAND، DIVISION برای مشخص کردن مشخصات کمی، چگونگی توزیع مکانی، ارتباطات و ترکیب‌بندی لکه‌های غیرجنگلی در یکایک پهنه‌ها استفاده شد. در ادامه با انجام استانداردسازی مقادیر سنجه‌ها و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سنجه‌های مؤثر در آشفته‌گی و وزن آن‌ها برای تهیه مدل آشفته‌گی مکانی تعیین شد. در نهایت نقشه شاخص آشفته‌گی جنگل براساس مدل تهیه و به چهار طبقه بدون آشفته‌گی، آشفته‌گی کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. نتایج نشان داد که طبقه‌های یادشده به ترتیب ۴۸/۵۳، ۱۶/۱۵، ۱۹/۹۰ و ۱۵/۴۱ درصد از منطقه را پوشش می‌دهند. با رویکرد مورد استفاده در این پژوهش می‌توان نقشه آشفته‌گی مکانی مناطق جنگلی تحت مدیریت را به صورت دوره‌ای تهیه و به‌عنوان یکی از ابزارهای پایش به‌کار برد.

واژه‌های کلیدی: آشفته‌گی جنگل، پارک ملی گلستان، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سنجه‌های سیمای سرزمین.

مقدمه

توزیع اجزای ساختاری سیمای سرزمین (لکه و کریدور) را قابل تعریف و به صورت کمی قابل مقایسه می‌سازند (Lausch and Herzog, 2002). بر پایه سنجه‌هایی در بوم‌شناسی سیمای سرزمین امکان بررسی و کمی‌سازی الگوهای فضایی عناصر تشکیل‌دهنده محیط‌زیست و تغییرات آن‌ها در مقیاس‌های مختلف فراهم شده است.

در سال‌های اخیر در جهان و ایران پژوهش‌های زیادی در زمینه مزایای سنجه‌های سیمای سرزمین و کاربرد آن‌ها در جنگل‌ها انجام شده است، ولی کمی‌سازی آشفستگی مکانی به کمک سنجه‌های سیمای سرزمین از زمینه‌های پژوهشی جدید در جهان است، از آن می‌توان به کار Tian و همکاران (2011) اشاره کرد. آن‌ها برپایه سنجه‌های سیمای سرزمین و تحلیل مولفه‌های اصلی، اقدام به مدل‌سازی شاخص گسستگی فضای سبز شهر هنگ‌کنگ کرده و با تهیه نقشه آشفستگی مکانی فضای سبز، اندازه سرانه فضای سبز شهر هنگ‌کنگ را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش سبب درک بهتر محققین از گسستگی در سیمای سرزمین شده و همچنین ضرورت برنامه‌ریزی‌ها برای افزایش پیوستگی و تحقق پایداری میان فضاهای سبز در شهرهای متراکم را آشکار کرد. Jose و همکاران (2011) به مدل‌سازی آشفستگی جنگل در یک پناهگاه حیات‌وحش برپایه سنجه‌های مکانی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های جاده و مناطق مسکونی پرداختند. نتایج، بخشی از اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی حفاظت منطقه را ارائه داد. در پژوهشی دیگر Liu و همکاران (2014) گسسته شدن جنگل‌ها (Forest fragmentation) و از بین رفتن اتصالات زیستگاه‌های جنگلی در ارتباط با توسعه شبکه جاده و گسترش آن در یک دوره ۱۵ ساله را با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد

جنگل‌های شمال کشور با تنوع خاص ژنتیکی یکی از بزرگترین ذخایر ملی کشور محسوب می‌شوند، کاهش سطح و تغییرات آن‌ها بسیار نگران‌کننده و حائز اهمیت است. عواملی همچون جنگل‌زدایی، فروافت جنگل (Forest degradation) و گسستگی جنگل (Forest fragmentation) از عوامل اصلی این تغییرات بوده که منجر به آشفستگی جنگل (Forest disturbance) نیز می‌شوند. اقدامات نامناسب جنگلداری، فشارها و دخالت‌های انسانی برای رفع نیازهای هر چند منطقی و گاهی غیرمنطقی و سودجویانه، همچنین عوامل طبیعی مانند آتش‌سوزی، سیل، فرسایش و لغزش زمین، بهمن، آفت، طوفان و غیره نیز می‌توانند موجب آشفستگی جنگل شوند. بعضی از این عوامل موجب نابودی فوری و ایجاد فضاهای خالی در جنگل نمی‌شوند که در این صورت آشفستگی از نوع ساختاری و بیولوژیک خواهد بود. در مقابل ایجاد لکه‌های غیرجنگلی در جنگل، موجب آشفستگی مکانی (Spatial forest disturbance) می‌شود. آشفستگی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فضایی منجر به بروز تغییر در سیمای سرزمین است که شامل تبدیل پوشش یا زیستگاهی خاص به قطعات کوچک‌تر و دارای ارتباط کمتر و کاهش پایداری و زیست‌پذیری آن‌هاست. یکی از نیازهای برنامه‌ریزی برای مدیریت مؤثر و پایدار و حفاظت جنگل، درک و آگاهی بهتر از پدیده آشفستگی جنگل و الگوهای مکانی آن است (Wulder and Franklin, 2007). شناخت روند تغییرات الگوی سیمای سرزمین و آشفستگی در جنگل به صورت کمی، یک از نیازهای اطلاعاتی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌ها است. سنجه‌های سیمای سرزمین (Landscape metrics) شاخص‌هایی هستند که خصوصیت شکلی، هندسی و چگونگی پراکنش و

استان چهارمحال و بختیاری را در یک دوره شش ساله با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و به کمک فناوری سنجش از دور بررسی کردند. بررسی‌ها نشان داد که حدود ۱۷/۲ درصد از سطح آب تالاب کاهش یافته، در حالی که اراضی کشاورزی و سازه‌های بشری از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ افزایش داشته است. Zebardast و همکاران (2011) نیز با کمی‌سازی میزان از هم گسیختگی، تغییرات و تخریب‌های ساختاری سیمای سرزمین تحت تأثیر توسعه شبکه جاده در پوشش‌های جنگلی پارک ملی گلستان را بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و سنج اندازه مؤثر شبکه در دو مقطع زمانی بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش از هم گسیختگی و کاهش پیوستگی در پوشش مورد نظر (جنگل‌های متراکم) در محدوده اثر جاده است.

با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین می‌توان شاخص‌های گسستگی جنگل را کمی کرد، اما هر یک از این سنج‌ها به‌تنهایی بیانگر مقدار آشفستگی مکانی در جنگل نیستند و باید مجموعه‌ای از آن‌ها را به‌کار بست. به این منظور می‌توان مجموعه‌ای از سنج‌ها را از طریق تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis) وزن‌دهی و براساس این وزن‌ها، شاخص آشفستگی را مدل‌سازی کرد (Tian et al., 2011).

کمی‌سازی و تهیه نقشه آشفستگی مکانی جنگل از موضوعات جدید است و تنها نتایج دو پژوهش در این زمینه منتشر شده است. Tian و همکاران (2011) و Jose و همکاران (2011). برپایه رویکرد مطرح شده در این دو پژوهش، Darvishsefat و همکاران (2018)، پژوهشی را در منطقه حفاظت‌شده سرولات انجام، نقشه آشفستگی جنگل منطقه را ارائه و به دانش و تجربیاتی برای توسعه بیشتر این رویکرد رسیدند. توسعه هرچه بیشتر و پیاده‌سازی این رویکرد در مناطق با ارزش زیاد حفاظتی، مانند پارک‌های ملی و

که تغییرات منجر به کاهش سطح جنگل‌ها در کل منطقه شده بود. del Castillo و همکاران (2015) تغییرات پوشش جنگلی در پارک طبیعی مونکایو (اسپانیا) را در طول دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۰ با استفاده از فناوری سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنج‌های سیمای سرزمین بررسی کردند. اطلاعات به‌دست آمده از تحلیل سنج‌های سیمای سرزمین نشان‌دهنده افزایش تکه‌تکه شدن و در نتیجه افزایش تنوع فضایی در سطح سیمای سرزمین است.

در ایران تا کنون پژوهش‌های محدود به کمی‌کردن الگوهای سیمای سرزمین بوده و در رابطه با آشفستگی جنگل‌ها تحقیقی انجام نشده است. Nohegar و همکاران (2015) با استفاده از نقشه کاربری سال ۱۳۹۲ و سنج‌های مکانی، ساختار سیمای سرزمین بخش مرکزی استان گیلان را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که ساختار کاربری‌ها تکه‌تکه شده و تعداد لکه‌های انسان ساخت افزایش و سطح جنگل‌ها گسسته شده و کاهش یافت است. Arekhi (2015) به بررسی کاربرد سنج‌های سیمای سرزمین در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و GIS در منطقه بیابانی دهلران پرداخت. نتایج به‌دست آمده نشان داد افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش میانگین مساحت، شاخص مهم تجزیه بوده و روند تخریب و تجزیه سیمای سرزمین به‌صورت افزایشی بوده است. Asgarian and Jabbarian amiri (2013) به کمک تصاویر ماهواره‌ای و سنج‌های سیمای سرزمین تغییرات سیمای شهر قائمشهر و اطراف آن را در بازه زمانی ۱۳۷۷-۱۳۸۹ بررسی و تغییرات توسعه مناطق سکونت‌گاهی را کمی کردند. نتایج آن بیانگر لزوم تدوین برنامه‌های مدیریت، کنترل و جهت‌دهی توسعه شهری بود. Tondravan Zangene و همکاران (2015) تغییرات کاربری اراضی در تالاب چغاخور

بررسی، منطقه پژوهش به بخش جنگلی این پارک با مساحتی حدود ۳۶۱۸۶ هکتار به منظور بررسی و مدل-سازی شاخص آشفستگی مکانی محدود شد (شکل ۱).

تهیه نقشه پوشش سرزمین

لازمه تهیه نقشه آشفستگی جنگل (هدف این بررسی)، در اختیار داشتن نقشه صحیح جنگل-غیرجنگل است. به دلیل عدم وجود چنین نقشه‌ای از منطقه می‌بایست این نقشه به گونه‌ای از داده‌های ماهواره‌ای تهیه می‌شد که اطمینان بالایی از دقت و صحت آن‌ها باشد. از این-رو با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۵ و به روش تفسیر تلفیقی تصاویر ماهواره‌ای) تفسیر چشمی بر روی صفحه نمایش، (on-screen digitizing، ابتدا نقشه محدوده جنگلی منطقه مورد بررسی از تصاویر فصل‌های مختلف سال و سپس نقشه پوشش سرزمین شامل دو کاربری جنگل و غیرجنگل تهیه شد. همچنین از تصاویر Google Earth به منظور تعیین صحت و دقت نقشه استفاده شد که برای این منظور ۳۰۰ نقطه تصادفی بر روی نقشه پوشش سرزمین انتخاب شد و با روی هم‌گذاری این شبکه بر روی تصاویر Google Earth نوع کاربری مربوط به هر نقطه با اطلاعات آن نقطه روی تصاویر Google Earth مقایسه شد.

انتخاب سنجه‌های سیمای سرزمین

سنجه‌های سیمای سرزمین ساختار فضایی عناصر سیمای سرزمین، آرایش مکانی و الگوی آنها را به-عنوان مجموعه‌ای واحد و دارای هویت معین به-صورت کمی بیان می‌کنند. در پژوهش‌های Larijani و همکاران (۲۰۱۴)، Karami and Fegghi (2012)، Mirzayi و همکاران (۲۰۱۳)، Wickham و همکاران (۱۹۹۷)، Liu و همکاران (۲۰۱۴) و دیگر محققین، توانایی سنجه‌ها در کمی‌سازی مشخصات عناصر سیمای سرزمین (لکه‌ها) مانند شکل، بزرگی، تعداد،

تهیه نقشه آشفستگی مکانی آن‌ها می‌تواند به درک بهتر برنامه‌ریزان از گسستگی و آشفستگی کمک کرده تا برنامه‌ریزی و اقدامات لازم برای افزایش پیوستگی و تحقق پایداری جنگل انجام شود. در این راستا و با توجه به اهمیت ویژه پارک ملی گلستان، این بررسی الگوی پراکنش مکانی لکه‌های غیرجنگلی را در آن با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، فناوری سنجش از دور و GIS تعیین و با مدل‌سازی شاخص آشفستگی مکانی جنگل، نقشه آن را ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

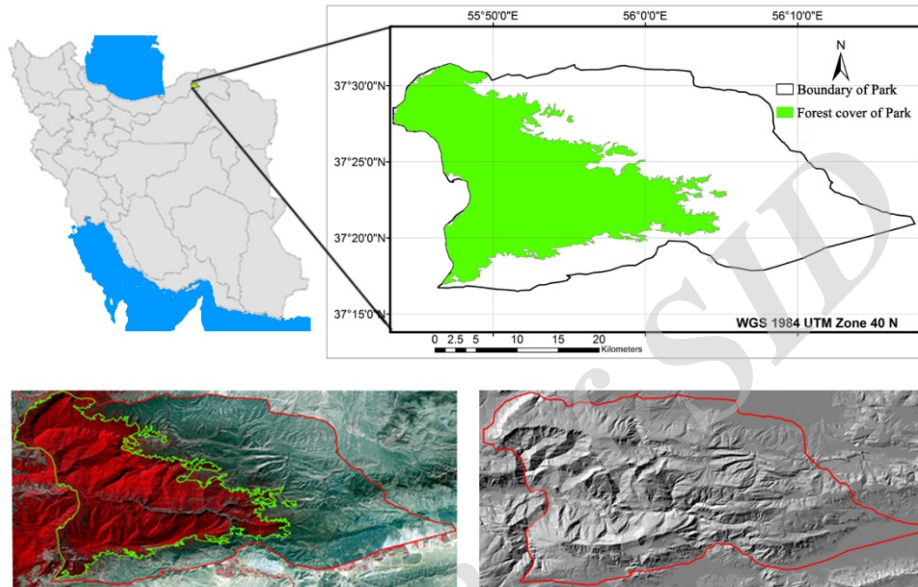
منطقه پژوهش

پارک ملی گلستان به‌عنوان نخستین پارک ملی ایران در شرق استان گلستان، شمال غربی استان خراسان و شمال استان سمنان واقع شده است. این منطقه با مساحت حدود ۸۷ هزار هکتار در حدفاصل $37^{\circ}31'35''$ تا $37^{\circ}16'43''$ عرض شمالی و $56^{\circ}17'48''$ تا $55^{\circ}43'25''$ طول شرقی و در استان-های گلستان، خراسان شمالی و سمنان و در منتهی الیه شرقی جنگل‌های خزری قرار دارد. دامنه ارتفاعی این پارک ۴۵۰ تا ۲۴۱۱ متر از سطح دریا است که همین طیف ارتفاعی تنوع زیستگاه‌ها و ریزبوم‌های متعددی را ایجاد کرده است. مقدار بارندگی در مناطق مختلف این پارک هم از حدود ۷۰۰ میلی‌متر تا ۱۵۰ میلی‌متر در سال به‌ترتیب در غرب و شرق منطقه متغیر است. اصلی‌ترین مسیر ارتباطی شمال کشور و استان خراسان از این جنگل می‌گذرد. این جاده دقیقاً در طولانی‌ترین و گودترین دره این منطقه کوهستانی احداث شده است که منطقه را به دو بخش تقسیم می‌کند (Darvishsefat, 2006).

به دلیل اختلاف ارتفاعی زیاد منطقه، تنوع زیستی بالایی در آن مشاهده می‌شود که با توجه به اهداف

AREA- ,SPLIT ,CONTIG-MN ,FRAC-MN
 MN ,DIVISION ,PLAND و SHAPE-MN به-
 علت توانایی آن‌ها در بیان ویژگی‌ها و الگوی مکانی
 لکه‌ها در سیمای سرزمین استفاده شد (جدول ۱).

تراکم، چگونگی پراکنش و همجواری مورد بررسی
 قرار گرفت. از این‌رو سنجه‌هایی که توانایی آن‌ها در
 کمی‌سازی مشخصات مکانی لکه‌ها تأیید شده بود
 انتخاب شدند. در این پژوهش از ۱۲ سنجه سیمای
 سرزمین شامل: MESH, NP, PD, ENN-MN, LPI,



شکل ۱- پارک ملی گلستان و موقعیت آن در ایران (شکل بالا) به‌همراه پوشش جنگلی (رنگ سبز پررنگ).
 وضعیت ناهمواری‌های پارک ملی گلستان (پایین راست). محدوده پارک ملی گلستان و منطقه جنگلی مورد بررسی در تصویر
 رنگی کاذب ۵۴۳ ماهواره لندست ۸ (پایین چپ).

Figure 1. Golestan National Park and its location in Iran (above) along with forest cover (Bold green highlight). The Topographic situation of Golestan National Park (bottom right).
 Golestan National Park and the forest study area in Landsat 8 false color image of 543 (bottom left)

۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هکتار) در هر نقطه
 انتخاب و الگوهای مکانی سیمای سرزمین کمی شد.
 در ادامه با رسم منحنی نتایج سنجه‌ها در مساحت‌های
 فوق و تحلیل آن‌ها، اندازه بهینه تعیین شد، به این
 ترتیب که مساحتی که در آن منحنی‌ها سنجه‌ها به هم
 نزدیک شده و به‌نسبت به‌طور موازی و افقی ادامه می-
 یابد، مساحت مطلوب پهنه در منطقه تلقی می‌شود
 (Tian et al., 2011).

تعیین مساحت بهینه پهنه و محاسبه سنجه‌ها
 به‌منظور کمی‌سازی الگوی مکانی لکه‌های غیرجنگلی
 و مدل‌سازی آشفستگی در قسمت‌های مختلف، منطقه به
 شبکه‌ای از پهنه‌های به نسبت کوچک تقسیم و
 محاسبات در این پهنه‌ها انجام شد. ابتدا برای تعیین
 اندازه مناسب پهنه، با استفاده از چهار سنجه NP,
 DIVISION, PD و LPI که کمترین ارتباط همبستگی
 را باهم داشته و مشخصات متفاوتی از سیمای سرزمین
 را ارائه می‌دهند (Jose et al., 2011)، در ۱۰ نقطه
 تصادفی پهنه‌هایی با مساحت‌های مختلف (۱۰، ۳۰،

جدول ۱- ویژگی‌های سنجه‌های مورد استفاده در پژوهش (منبع: راهنمای نرم‌افزار Fragstats)

Table 1. Characteristics of the metrics used in the study (Source: Fragstats software's manual)

| ویژگی Property | نوع سنجه Type of metric | حروف اختصاری Abbreviations | رابطه Equation | واحد unit | دامنه Range |
|--|----------------------------|-------------------------------|---|--|--|
| تعداد لکه Number of Patch | | NP | n_i | بدون واحد No unit | $NP > 0$ |
| تراکم لکه Patch's Density | | PD | $\frac{n_i}{A} (10000)(100)$ | تعداد در صد هکتار Number per hundred hectares | $PD > 0$ |
| مساحت لکه Patch's Area | | AREA_MN | $a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$ | هکتار Hectare | $AREA \geq 0$ |
| درصد لکه Patch's Percentage | | PLAND | $\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$ | درصد Percent | $0 \leq PLAND \leq 100$ |
| شاخص بزرگترین لکه Largest Patch Index | | LPI | $\frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$ | درصد Percent | $0 \leq LPI \leq 100$ |
| شاخص از هم گسستگی Discontinuity index | | MESH | $\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} \left(\frac{1}{10000} \right)$ | هکتار Hectare | مساحت کل چشم‌انداز مساخ $\leq MESH \leq$ مساحت پهنه |
| شاخص از هم گسستگی Discontinuity index | | DIVISION | $\left[1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right]$ | نسبی Relative | $0 \leq DIVISION < 1$ |
| میانگین شاخص شکل لکه‌ها Mean of patch's shapes index | | SHAPE_MN | $\frac{0.25 P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$ | بدون واحد No unit | $SHAPE \geq 1$ |
| میانگین شاخص ابعاد فراکتالی Mean of fractal dimension index | | FRAC_MN | $\frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln a_{ij}}$ | بدون واحد No unit | $1 \leq FRAC \leq 2$ |
| میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه Mean of Euclidean Nearest-Neighbor Distance | | ENN_MN | h_{ij} | متر Meter | $ENN > 0$ |
| شاخص سوراخ شدگی Perforation index | | SPLIT | $\frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$ | بدون واحد No unit | تعداد لکه $\leq SPLIT \leq 1$ |

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

| دامنه Range | واحد Unit | رابطه Equation | حروف اختصاری Abbreviations | نوع سنجه Type of metric | ویژگی Property |
|-------------------------------|----------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|--|
| $0 \leq \text{CONTIG} \leq 1$ | بدون واحد No unit | $\left[\frac{\sum_{r=1}^z c_{ijr}}{a_{ij}} \right] - 1$ $V - 1$ | CONTIG_MN | شاخص مجاورت Proximity index | جدا افتادگی / مجاورت Contiguity / proximity |

n_i : تعداد لکه‌ها در سیمای سرزمین براساس نوع لکه (کلاسه‌ها)، A: مساحت سیمای سرزمین a_{ij} ، (m²): مساحت هرکدام از لکه‌ها (m²), P_{ij} : محیط هرکدام از لکه‌ها (m), h_{ij} : فاصله بین هر لکه با نزدیک-

ترین لکه کناری همسان (m), c_{ijr} : ارزش مجاورت، V: مجموع ارزش‌ها در پنجره 3×3

تحلیل نمودار نتایج سنجه‌ها

پس از تعیین اندازه پهنه مناسب برای منطقه، تمامی ۱۲ سنجه مورد نظر که در جدول ۱ معرفی شده‌اند، در یکایک ۵۵۰ پهنه ایجاد شده، در محیط نرم‌افزار Faragsats 4.2 در سطح کلاس محاسبه و مقادیر خروجی حاصل در یک جدول اکسل ذخیره شد.

مدل‌سازی شاخص آشفستگی

از آنجایی که هیچ یک از سنجه‌های سیمای سرزمین به‌تنهایی نمی‌توانند به‌طور کامل بیانگر وضعیت آشفستگی هستند، Tian و همکاران (2011) پیشنهاد کرده‌اند که همانند یک رابطه چند متغیره، مجموعه‌ای از سنجه‌ها با وزن‌های (ضرایب) متناسب با هم ترکیب شود. این کار می‌تواند با اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی نتایج سنجه‌ها و استفاده از مقادیر ویژه (Eigen value) و بارعاملی (Loading) حاصل از آن، به‌عنوان ضرایب مدل انجام شود (Tian *et al.*, 2011). از آنجایی که دامنه تغییرات مقادیر سنجه‌ها متفاوت بود، برای ورود به تحلیل PCA و با توجه به اهمیت تغییرات داده در اطراف میانگین در این نوع پژوهش‌ها، ابتدا مقادیر سنجه‌ها به روش انحراف‌معیار استانداردسازی شده و سپس وارد تحلیل PCA شدند (Cumming and Vernier, 2002; Lausch and Herzog, 2002). در نهایت بر پایه نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سنجه‌های تأثیرگذار در آشفستگی بر اساس مقادیر ویژه آن‌ها گروه‌بندی شده و با استفاده از بارعاملی آن‌ها به‌عنوان ضریب هر سنجه در مدل، مدل آشفستگی جنگل بر پایه سه مؤلفه اول در منطقه تهیه شد. رابطه ۱ فرم کلی مدل شاخص آشفستگی مکانی جنگل را نشان می‌دهد (Herzog *et al.*, 2001; Uemaa *et al.*, 2005; Tian *et al.*, 2011). مدل حاصل در تمامی ۵۵۰ پهنه به‌طور

جداگانه اجرا و شاخص آشفستگی جنگل در هر پهنه محاسبه و از مجموعه آن‌ها نقشه آشفستگی جنگل در منطقه تهیه شد. از مجموعه پهنه‌هایی که سنجه NP (تعداد لکه) در آن‌ها برابر با صفر بود در محیط ArcGIS یک ماسک به‌عنوان مناطق بدون آشفستگی تهیه و در نقشه آشفستگی حاصل از مدل اعمال شد. در ادامه نقشه آشفستگی جنگل به چهار طبقه بدون آشفستگی (صفر)، آشفستگی کم (۷/۷۵ تا ۲۳/۲۵)، متوسط (۲۳/۲۶ تا ۳۹/۲۲) و زیاد (۳۹/۲۳ تا ۱۰۵/۰۷) طبقه‌بندی شد.

رابطه (۱)

$$DI = E_1 \times (L_1 \times M_1 + \dots + L_n \times M_n) + E_2 \times (L_1 \times M_1 + \dots + L_n \times M_n) + \dots + E_n (L_1 \times M_1 + \dots + L_n \times M_n)$$

DI: شاخص آشفستگی (Disturbance Index)

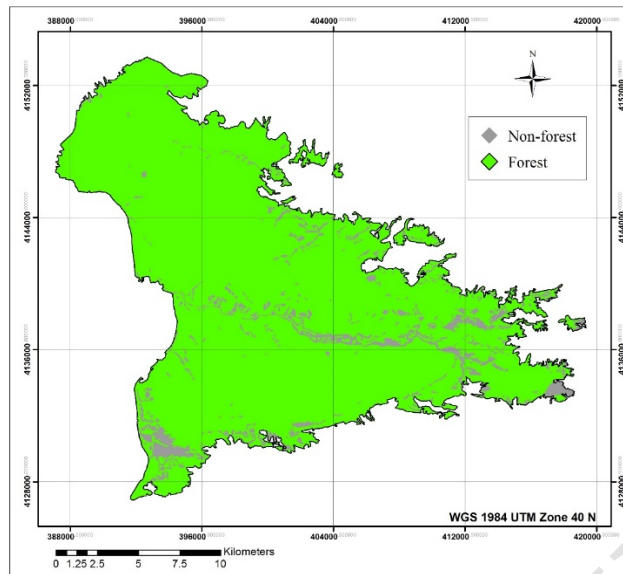
E: مقدار ویژه مؤلفه (Component's Eigen Value)

L_i : بارعاملی هر سنجه در مولفه (Loading of each metric in the component)

M_i : مقدار استاندارد شده سنجه (Standardized value of metric)

نتایج

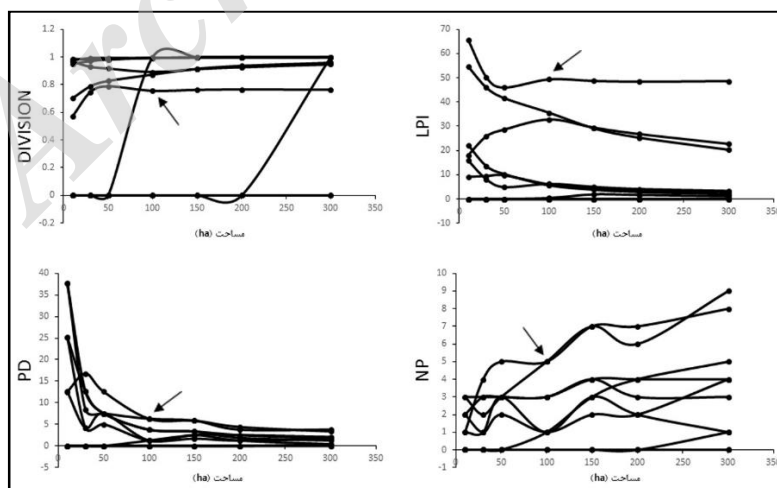
نقشه پوشش زمین حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای نقشه پوشش زمین که بر اساس روش تفسیر تلفیقی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ شامل دو طبقه جنگل و غیرجنگل تهیه شده، در شکل ۲ آورده شده است. طبق نقشه حاصله مساحت مناطق جنگلی و غیرجنگلی به ترتیب ۳۳۷۵۷/۴۷ و ۲۴۲۸/۲۹ هکتار که قسمت‌های غیرجنگلی متشکل از ۳۴۴ لکه بوده که ۶/۷۱ درصد از منطقه را پوشش می‌دهند. همچنین حداقل، میانگین و حداکثر مساحت این لکه‌ها به ترتیب ۰/۹۱، ۷/۰۵ و ۳۵۳/۶۵ هکتار است.



شکل ۲- نقشه پوشش سرزمین (جنگل غیرجنگل) منطقه مورد بررسی حاصل از تفسیر تلفیقی تصاویر ماهواره‌ای
 Figure 2. Land cover map (forest/non- forest) of the study area, resulted from on-screen digitizing of satellite images

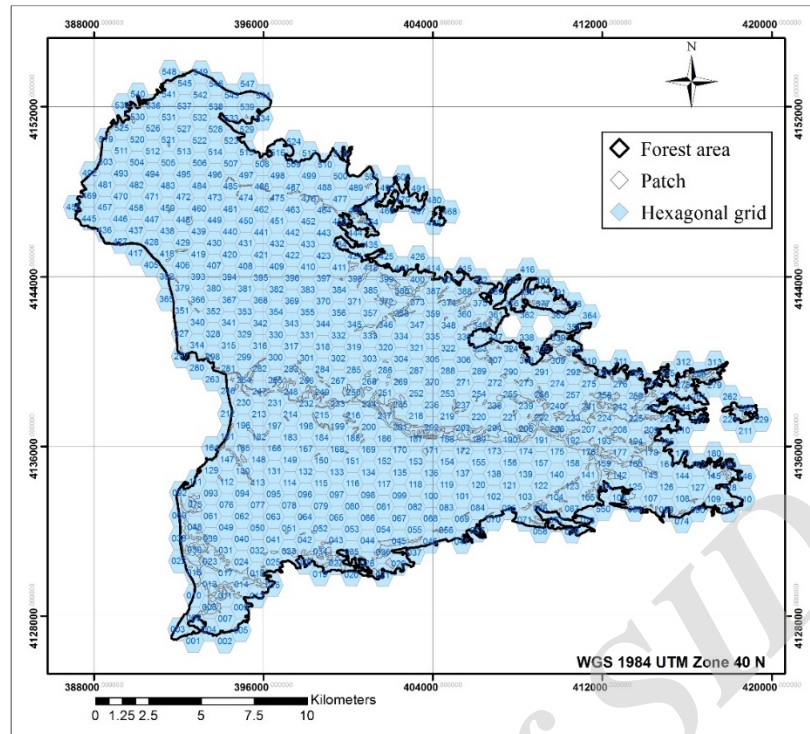
بهینه برای محاسبه سنج‌ها و تقسیم منطقه به این پهنه‌ها انتخاب کرد (Tian et al., 2011). همچنین در شکل ۴ نقشه تقسیم‌بندی منطقه به پهنه‌های ۱۰۰ هکتاری آورده شده است.

شش ضلعی‌ها به‌عنوان واحدهای نمونه
 شکل ۳ نمودار نتایج محاسبه چهار سنج در ۱۰ نقطه تصادفی در پهنه‌هایی با مساحت‌های مختلف (۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هکتار) را نشان می‌دهد. براساس این نمودارها و تفسیر بصری آن‌ها می‌توان پهنه‌های ۱۰۰ هکتاری را به‌عنوان پهنه‌های با سطح

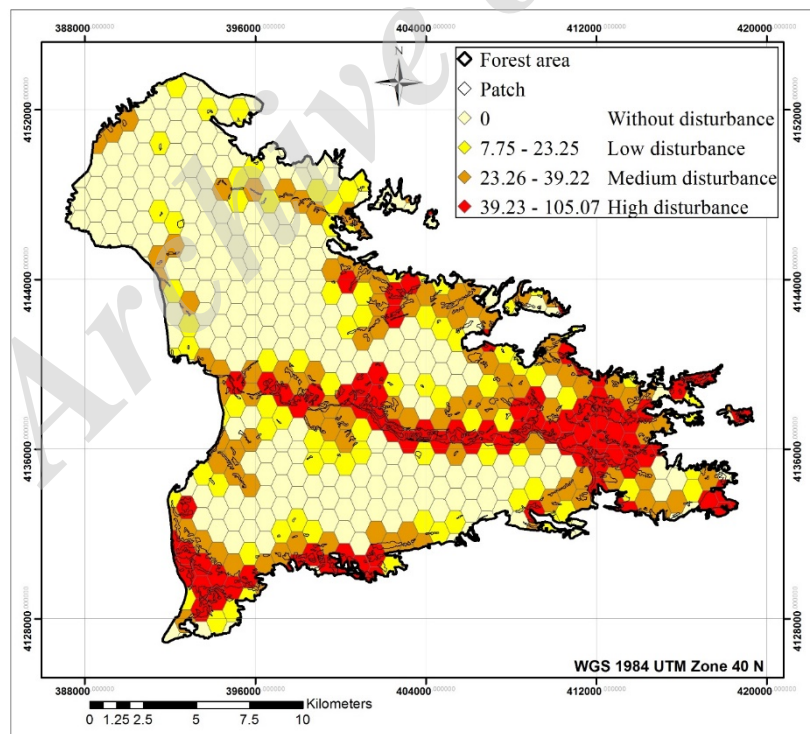


شکل ۳- نمودارهای مقادیر چهار سنج انتخابی در ۱۰ پهنه نمونه با مساحت‌های مختلف (هر شکل شامل ده منحنی که هر یک بیانگر مقادیر یک سنج، در یک پهنه و در هفت مساحت مختلف است)

Figure 3. Charts of four selected metrics in 10 sample zones with different areas (Each Charts consists of ten curves, each ones representing the values of a metric in one zone and seven different areas.)



شکل ۴- نقشه شبکه پهنه‌های منطقه برای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین در آن‌ها
Figure 4. Map of the network zones to calculate the landscape metrics in them.



شکل ۵- نقشه وضعیت آشفته‌گی جنگل
Figure 5. Map of the forest disturbance status

محاسبه مدل شاخص آشفته‌گی جنگل

آشفته‌گی محدوده جنگلی منطقه بر پایه مقادیر ویژه سه مولفه اول، مقادیر بارعاملی سنج‌ها به‌عنوان ضرایب آن‌ها و مقادیر سنج‌ها به‌نحوی که در رابطه ۲ نشان داده شده، برای یکایک پهنه‌ها تشکیل شد.

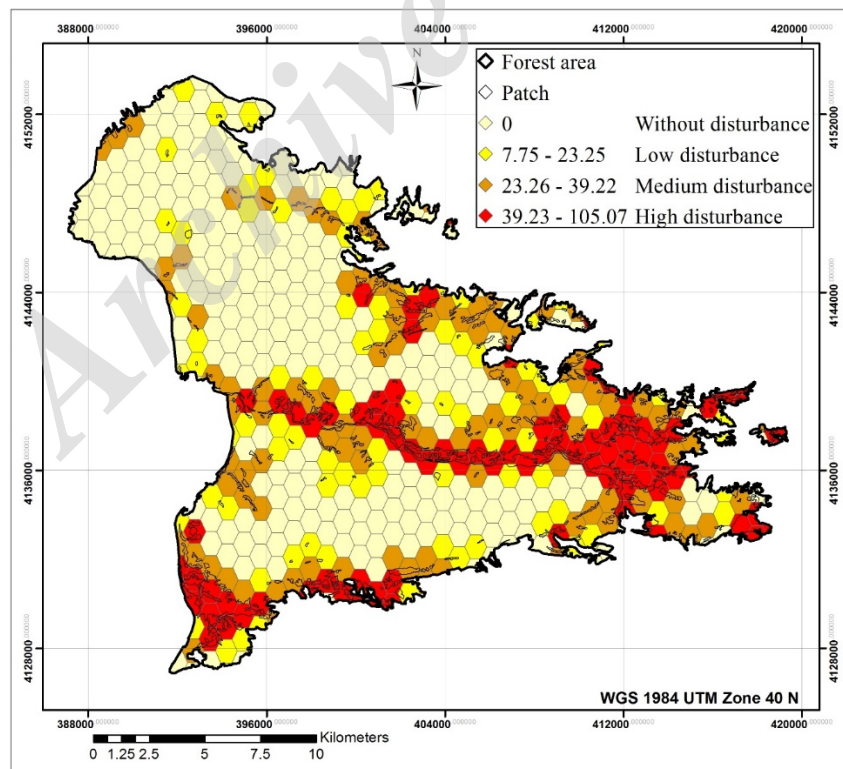
نتایج تحلیل PCA بر روی مقادیر استاندارد شده سنج‌ها نشان داد که سه مولفه اول خروجی تحلیل ۸۰/۲۳ درصد از واریانس پراکنش اطلاعات ۱۲ سنج مورد استفاده را دربر می‌گیرند (به‌ترتیب ۵۲/۱۶، ۱۹/۵۶ و ۸/۵۱ درصد). با توجه به این نتایج، مدل رابطه (۲)

$$DI_i = E_1 \times (L_1 \times NP_i \times L_2 \times PD_i + L_3 \times SHAPE_{MN_i} + L_4 \times FRAC_{MN_i} + L_5 \times CONTIG_{MN_i} + L_6 \times ENN_{MN_i} + L_7 \times DIVISION_i + E_2 \times (L_8 \times PLAND_i + L_9 \times LPI_i + L_{10} \times AREA_{MN_i} + L_{11} \times MESH_i) + E_3 \times (L_{12} \times SPLIT_i)$$

نقشه آشفته‌گی جنگل

نقشه طبقات آشفته‌گی تهیه شد (شکل ۵). این طبقات به‌ترتیب دارای مساحتی برابر با ۱۷۵۶۲/۱۲، ۵۸۴۴/۶۶، ۷۲۰۱/۶۲ و ۵۵۷۷/۳۷ هکتار هستند که به‌ترتیب ۴۸/۵۳، ۱۶/۱۵، ۱۹/۹۰ و ۱۵/۴۱ درصد از منطقه را می‌پوشانند.

با اجرای مدل آشفته‌گی طراحی شده (رابطه ۲) در تمام ۵۵۰ پهنه منطقه، نقشه آشفته‌گی جنگل در منطقه تهیه شد. با توجه به هیستوگرام و دامنه پراکنش شاخص آشفته‌گی که صفر تا ۱۰۵/۰۷ بوده است، چهار طبقه بدون آشفته‌گی، آشفته‌گی کم، متوسط و زیاد تعیین و



شکل ۵- نقشه وضعیت آشفته‌گی جنگل

Figure 5. Map of the forest disturbance status

بحث

باشند. این نکته نشانگر تناسب و کارایی استفاده از تحلیل PCA در مدل‌سازی آشفستگی مکانی در جنگل است که با نتایج پژوهش‌ها (Jose *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2018) نیز هماهنگ است.

با مقایسه چشمی نقشه آشفستگی جنگل با تصاویر رنگی ماهواره‌ای مقیاس مناسب که نشان‌دهنده لکه‌های غیرجنگلی بوده‌اند، می‌توان تا حد بسیار زیادی از صحت این نقشه و عملکرد این رویکرد اطمینان حاصل کرد. نتایج محدود پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه آشفستگی مکانی جنگل (Jose *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2018) نیز مؤید این جمع‌بندی است.

آشفستگی کم در مقایسه با دو طبقه آشفستگی متوسط و زیاد با اختصاص حدود ۱۶/۱۵ درصد از سطح منطقه به خود، در کنار مناطق بدون آشفستگی حدود نیمی از کل منطقه مورد بررسی را به خود اختصاص داده است. نواحی با آشفستگی متوسط ۱۹/۹۰ درصد از منطقه را در بر می‌گیرند که شامل گسستگی، منافذ، ساخت‌وساز کم، پراکنش غیرمتمرکز لکه‌های غیرجنگل و دور از تخریب‌های انسانی هستند. در طبقه آشفستگی زیاد که ۱۵/۴۱ درصد از سطح منطقه را پوشش می‌دهند، پهنه‌ها با لکه‌های غیرجنگلی زیادی دیده می‌شوند که بیشتر در حاشیه جاده عبوری از منطقه قرار دارند. لکه‌های غیرجنگلی در این طبقه نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب این نواحی از نظر آشفستگی است زیرا اندازه لکه‌ها بزرگ، فاصله آن‌ها از هم کم و در مجموع مساحت زیادی را اشغال می‌کنند. طبیعی است که لکه‌های بزرگ غیرجنگلی به‌سادگی و به‌طور طبیعی احیا نمی‌شوند، بلکه باید از طریق جنگلکاری مجدداً به‌صورت جنگل درآیند. هرچند که بنا به قوانین مربوط به مناطق حفاظت‌شده، انجام

بر پایه این اصل که سنجه‌های سیمای سرزمین نباید تحت تأثیر خطای نقشه ورودی قرار گیرند (Dezhkam, 2012) سعی شد که با صرف زمانی زیاد برای تفسیر و دقت عمل فراوان، نقشه‌ای صحیح تهیه شود. از طرفی دیگر برای بیان اندازه دقت فرآیند تهیه نقشه پوشش سرزمین، نیاز به ارزیابی صحت این نقشه بود (Najafzadeh *et al.*, 2017). به‌منظور تعیین صحت این نقشه که تنها دارای دو کلاس جنگل و غیرجنگل است، از یک شبکه نقاط تصادفی و روی هم‌گذاری اطلاعات نقاط بر روی تصاویر Google Earth استفاده شد. نتایج ارزیابی صحت کاربری‌های مربوط به شبکه نقاط بیانگر صحت ۹۵ درصد برای نقشه پوشش سرزمین حاصل از تفسیر تلفیقی است.

شبکه پهنه باید متناسب با وسعت منطقه، میانگین مساحت لکه‌ها و همچنین چگونگی پراکنش آن‌ها تعیین شود (Tian *et al.*, 2011). هرچند که شیوه مورد استفاده برای تعیین سطح مناسب پهنه در این تحقیق، قائم به شخص است، ولی به‌دلیل نبود روشی کمی، تنها امکان موجود است و توسط دیگر محققین هم انجام می‌شود (Jose *et al.*, 2011; Parivar *et al.*, 2008). البته براساس نتایج و تجربیات کسب‌شده در این پژوهش به‌نظر نمی‌رسد که سطوح پهنه با اندکی تفاوت، تأثیر معنی‌داری بر روی نقشه آشفستگی نهایی داشته باشند که این تعیین ابعاد پهنه‌ها برای تقسیم منطقه می‌تواند در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرد. سه مؤلفه اول تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۸۰/۲۳ درصد از واریانس پراکنش اطلاعات ۱۲ سنجه مورد استفاده را در بر می‌گیرند (به‌ترتیب ۵۲/۱۶، ۱۹/۵۶ و ۸/۵۱ درصد)، به‌عبارت دیگر مجموعه اطلاعات سه مؤلفه اول می‌توانند به‌خوبی بیانگر ویژگی‌ها و الگوی مکانی لکه‌های غیرجنگلی در منطقه

شناسایی مناطق باشد و به کمک اطلاعات حاصل از آن پارک‌های ملی را بهتر ارزیابی و برای مدیریت آن برنامه‌ریزی کرد. از سوی دیگر با کمک این چنین پژوهش‌ها، مدیران می‌توانند تصمیم‌های اتخاذ شده در خصوص این چنین مناطق جنگلی را مورد ارزیابی قرار دهند و نقاط ضعف و قوت آن‌ها را مشخص کنند. با توجه به اثرهای مخرب آشفته‌گی و گسستگی در جنگل لازم است که به پایش منظم و دوره‌ای سطح جنگل و بررسی سیمای سرزمین و تغییرات آن در سطوح مختلف پرداخت و از تشدید آشفته‌گی و بروز آن در مقیاس وسیع پیشگیری کرد. انجام پژوهش‌هایی از این نوع می‌تواند گامی مهم به منظور حفاظت و جلوگیری از بروز آشفته‌گی بیشتر باشد.

References

- Arekhi, S., 2015. Application of Landscape Metrics in Assessing Land Use Changes' Trend by Using Remote Sensing and GIS, Case study: Dehloran Desert Area, *Geography and Development Iranian Journal*, 40(13): 59-68. (In Persian)
- Asgarian, A. & B. Jabbarian amiri, 2013. Assessing Land use/cover change of Qaemshahr Using Landscape Metrics. Proceedings of International Conference of IALE, 01, 118. (In Persian)
- Cumming, S. & P. Vernier, 2002. Statistical models of landscape pattern metrics, with applications to regional scale dynamic forest simulations, *Landscape Ecology*, 17(5): 433-444.
- Darvishsefat, A. A., 2006. Atlas of Protected Areas of Iran, University of Tehran Press. (In Persian)
- Darvishsefat, A. A., M. Bagheri, M. Ghorbani & Gh. Zahedi amiri, 2018. Spatial forest disturbance modeling using landscape metrics in SARVELAT protected area of Iran, *Journal of Forest and Wood Products*, 71(1): 23-33. (In Persian)
- del Castillo, E. M., A. García-Martin, L. A. L. Aladrén & M. de Luis, 2015. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in ساخت‌وساز و حتی جاده در پارک‌های ملی مجاز نیست (Darvishsefat, 2006)، ایجاد جاده جدید سراسری و عبوری به‌ویژه سبب ایجاد آشفته‌گی شدید شده است. هرچند که با مشاهده تصاویر ماهواره‌ای مناسب، می‌توان به وضعیت آشفته‌گی مکانی آن که همانا ناشی از لکه‌های غیرجنگلی در مناطق جنگلی است پی برد، ولی با رویکرد مورد استفاده در این بررسی می‌توان این آشفته‌گی را به‌صورت کمی بیان کرد و نقشه آشفته‌گی مکانی مناطق جنگلی تحت مدیریت را به‌صورت دوره‌ای تهیه و به‌عنوان یکی از ابزارهای پایش به‌کار برد. مدل‌سازی و بررسی آشفته‌گی مکانی جنگل به کمک سنجه‌های سیمای سرزمین می‌تواند کامل‌کننده پژوهش‌های مربوط به Moncayo Natural Park (Spain), *Applied Geography*, 62: 247-255.
- Dezhkam, S. S., 2012. Study of trends and pattern changes of urban development by landscape ecology approach; a case study: Rasht city. Msc thesis. Department of Environment. Faculty of Natural Resources. University of Tehran. Tehran, Iran. (In Persian)
- Herzog, F., A. Lausch, E. Muller, H-H. Thulke, U. Steinhardt & S. Lehmann, 2001. Landscape Metrics for Assessment of Landscape Destruction and Rehabilitation, *Environmental Management*, 27(1), 91-107.
- Jose, S., S. Kumar, A. Varghese & G. Madhu, 2011. Landscape metric modeling - a technique for forest disturbance assessment in Shendurney wildlife sanctuary, *Environmental Research, Engineering and Management*, 58(4): 34-41.
- Karami, A. & J. Feghhi, 2012. Investigation of Quantitative metrics to protect the landscape in land use by sustainable pattern (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad), *Journal of Environmental Studies*, 37(60): 79-88. (In Persian)
- Larijani, M., F. Ghassami & E. Yusefi Robiat, 2014. Ecological Analysis of Green Space Jiroft Using Landscape Metrics, *Ecological analysis of green space Jiroft using landscape metrics*, 7(25): 49-64. (In Persian)

- Lausch, A. & F. Herzog, 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability, *Ecological indicators*, 2(1-2): 3-15.
- Liu, S., Y. Dong, L. Deng, Q. Liu, H. Zhaoa & S. Dong, 2014. Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: A case study in the Lancang River Valley, *Ecological Indicators*, 36: 160-168.
- Mirzayi, M., A. Riyahi Bakhtiyari, A. Salman Mahini & M. Gholamalifard, 2013. Investigating the Land Cover Changes in Mazandaran Province Using Landscape Ecology's Metrics Between 1984-2010, *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(4): 37-55. (In Persian)
- Najafzadeh, A., M. Erfanian, A. Alijanpour & S. Babaei Hesar, 2017. Recovering missing pixels for a Landsat SLC-off image using Weighted Linear Regression and accuracy assessment of land cover map (Case study: Khoy region, Northwest Iran), *Journal of Forest Research and Development*, 3(3): 275-289. (In Persian)
- Nohegar, A., B. Jabbarian amiri & R. Afarkhteh, 2015. Land Use Analysis on Guilan Central District Using Landscape Ecology Approach, *Geography and territorial spatial arrangement*, 5(15): 197-214. (In Persian)
- Parivar, P., A. R. Yavari & A. Sotudeh, 2008. A Landscape-Based Analysis of Spatial Distribution and Dynamics of Tehran Urban Green Spaces, *Journal of Environmental Studies*, 34(45): 73-84. (In Persian)
- Tian, Y., C. Jim, Y. Tao & T. Shi, 2011. Landscape ecological assessment of green space fragmentation in Hong Kong, *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2): 79-86.
- Tondravan Zangene, M., A. Darvishi & S. Fakheran, 2015. Monitoring of Land Use/Cover Changes in International Wetlands for the Purpose of Environmental Protection: A Case Study of Choqakhor Wetland, Iran, *International Bulletin of Water Resources and Development*, 1(3): 129-137. (In Persian)
- Uuemaa, E., J. Roosare & U. Mander, 2005. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments, *Ecological indicators*, 5(4): 350-369.
- Wickham, J. D., R. V. O'Neill, K. H. Riitters, T. G. Wade & K. B. Jones, 1997. Sensitivity of selected landscape pattern metrics to land-cover misclassification and differences in land-cover composition, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(4): 397-402.
- Wulder, M. A. & S. E. Franklin, 2007. Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern. Remote Sensing and GIS Approaches, CRC press, Boca Raton, 246 p.
- Zebardast, L., A. R. Yavari, E. Salehi & M. Makhdom, 2011. Application of Effective Mesh Size Metric for the Analysis of Forest Habitat Fragmentation inside the Defined Road Effect Zone of Golestan National Park, *Journal of Environmental Studies*, 37(58): 15-20. (In Persian)

Spatial forest disturbance modeling using landscape metrics in Golestan national park of Iran

M. Ghorbani¹, A. A. Darvishsefat^{*2}, B. Jabbarian Amiri³ and M. bagheri¹

1- M.Sc. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

3- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

Received: 05.06.2017

Accepted: 25.02.2018

Abstract

The aim of this study is to determine the status of forest spatial disturbance in Golestan National Park using remote sensing and landscape metrics. Detailed forest/non-forest map was prepared by on-screen digitizing method using Landsat 8 data. After determining the optimal area of gridding, the studied area was divided into 550 hexagonal zones with the area of 100 hectares each one. Spatial distribution, connectivity and composition of non-forest patches in each zone were measured using 12 spatial metrics (MESH, NP, PD, ENN-MN, LPI, FRAC-MN, CONTIG_MN, SPLIT, AREA-MN, DIVISION, PLAND and SHAPE-MN). After standardization of metrics values, principal component analysis was also performed in order to determine the effective metrics in disturbance and their associate weight in the spatial disturbance model. Afterwards, based on the prepared model, the disturbance index map was prepared and classified in four classes of disturbance including 1) without disturbance, 2) low disturbance 3) medium disturbance and 4) high disturbance. The results showed that the mentioned classes cover 48.53, 16.15, 19.90 and 15.41 percentage of the studied area, respectively. With the approach that used in this study, the disturbances map of the under management forest areas can be prepared periodically and used as one of its monitoring tools.

Keywords: Spatial disturbance, Golestan National Park, principal component analysis, landscape metrics.

* Corresponding author:

Email: adarvish@ut.ac.ir