

## تغییرات مکانی-زمانی اختلال پوشش گیاهی طبیعی در حوضه اهل ایمان، استان اردبیل

ابوالفضل همت‌زاده<sup>۱</sup>، اباذر اسمعلی‌عوری<sup>۲\*</sup>، رئوف مصطفی‌زاده<sup>۳</sup>، محمد گلشن<sup>۴</sup>، زینب حزباوی<sup>۵</sup> و نازیلا علائی<sup>۶</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴)

### چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی وضعیت اختلال در پوشش گیاهی طبیعی حوضه اهل ایمان واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است. بدین منظور، ابتدا نقشه کاربری اراضی سه سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ از تصاویر ماهواره لندست استخراج شد. سپس هفت سنجح سیمای سرزمین (تراکم لکه، تراکم حاشیه، شاخص تکه‌شدگی، فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه، شاخص سرایت، نسبت محیط به مساحت و غنای لکه)، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) و تراکم جاده محاسبه شد. در نهایت شاخص اختلال (Disturbance Index, DI) از طریق مجموع حاصل ضرب مقادیر معیارها در وزن آنها در ۱۱ زیرحوضه محاسبه شد. شاخص اختلال (DI) در پنج طبقه خیلی کم (۰-۸۷)، کم (۸۸-۱۶۳)، متوسط (۱۶۴-۲۳۹)، زیاد (۲۴۰-۳۱۵) و خیلی زیاد (>۳۱۶) طبقه‌بندی شد. بر اساس نتایج مشخص شد که از نظر کلی حوضه در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب دارای DI برابر با ۱۷۷/۷۷، ۹۵/۱۷ و ۱۳۵/۰۷ بوده که به ترتیب نشان‌دهنده وضعیت اختلال متوسط، کم و کم است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بین سه سال مورد بررسی، از نظر وضعیت اختلال تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. هم‌چنین، به‌طور کلی در بخش‌های شرق و شمال حوضه وضعیت بدتری از اختلال نسبت به بخش‌های جنوبی و مرکزی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: پیوستگی سیمای سرزمین، تخریب بوم‌شناختی، رویکرد شاخص محور، مدیریت سرزمین

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
  ۲. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
  ۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
  ۴. دکتری آبخیزداری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان آستارا، استان گیلان
  ۵. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی
  ۶. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
- \*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: esmaliouri@uma.ac.ir

## مقدمه

امروزه به‌دنبال تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی، برنامه‌ریزی برای حفاظت از منابع طبیعی ارزشمند، از جمله زیستگاه‌های بکر و زیستگاه‌های گونه‌های در معرض خطر انقراض، ضروری بوده و نیازمند روشی مناسب و علمی برای شناسایی و کمی‌سازی تغییرات در ترکیب پوشش زمین و کاربری اراضی است (۹). بررسی تغییرات پوشش زمین از گذشته‌های دور مطرح بوده که معمولاً به دو صورت انجام می‌شود؛ نوع اول منظور تغییراتی است که به‌وسیله عوامل طبیعی نظیر فرسایش خاک، نیروهای تکتونیکی و یا وقوع سیلاب اتفاق می‌افتند و نوع دوم تغییراتی هستند که به‌وسیله انسان در اثر بهره‌برداری بی‌رویه و غیراستاندارد از منابع موجود تحمیل می‌شوند (۸ و ۲۰). جنگل‌زدایی و تخریب جنگل همراه با فرآیندهای پیشرفته منجر به تنش‌های انسان در طبیعت و تغییرات آب و هوایی می‌شود (۱۷).

در سطح سیمای سرزمین، تخریب مربوط به ساختار لکه و آرایش فضایی است (۲۱ و ۲۴). اختلال القاء شده توسط انسان متفاوت از اختلال طبیعی به‌ویژه از نظر میزان، شدت و فراوانی است. فعالیت‌های انسانی در طبیعت (مثلاً کاشت و برداشت درختان) می‌تواند یکپارچگی ساختاری سیمای سرزمین را مختل کند و انتظار می‌رود در بعضی موارد جریان‌های بوم‌شناختی را در سراسر سیمای سرزمین نیز تحت تأثیر قرار دهند (۱۷). منظور از جریان‌های بوم‌شناختی فراهم آوردن شرایط مناسب هیدرولیک برای موجودات زنده درون رودخانه، حفظ ریخت‌شناسی بستر رودخانه، حفاظت از شکل آبراهه اصلی، نگهداری از پوشش گیاهی اطراف رودخانه و هم‌سویی با اقلیم حاکم بر حوضه است (۱۷). الگوی سیمای سرزمین با تنوع زیستی و سایر ارزش‌های بوم‌شناختی مناظر مرتبط است. اختلال در الگوهای سیمای سرزمین ممکن است با تداخل در فرآیندهای بوم‌شناختی مهم برای پایداری جمعیت و حفظ تنوع زیستی و سلامت بوم‌سازگان، یکپارچگی عملکردی آن را به خطر اندازد. به‌همین دلیل، تأکید زیادی بر تدوین روش‌های

تعیین کمیت الگوهای سیمای سرزمین صورت گرفته که پیش نیاز مطالعه روابط الگویی و فرآیند محسوب می‌شوند (۲۶) و (۲۹). در همین راستا، سنجه‌های سیمای سرزمین یکی از محبوب‌ترین روش‌ها برای تعیین کمیت الگوهای سیمای سرزمین است (۶ و ۲۴).

در زمینه استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح جهان مطالعات مختلفی انجام شده است (۷، ۱۷، ۲۲، ۳۴). برای مثال، Debarros و همکاران (۷) کاربرد سنجه‌های اندازه، شکل، تراکم، توزیع و همسایگی لکه در تخریب سریع جنگل‌های آمازون در روندونیا، برزیل را بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که در صورت ادامه روند تخریب تا سال ۲۰۲۰، وسعت چشم‌گیری از این جنگل‌ها رو به نابودی خواهد رفت. هم‌چنین، نتایج حاصل از پژوهش Shi و همکاران (۳۴) در کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین و ارزیابی تغییر کاربری طی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ برای حوضه هایه (Haihe) در چین نشان‌دهنده کاهش علفزارهای منطقه، پراکندگی لکه‌ها و تغییر شکل پیچیده در ساختار سیمای سرزمین به‌دلیل بهره‌برداری شدید و بازسازی منطقه به‌وسیله انسان بوده است. Jose و همکاران (۱۷) نیز نشان دادند که که  $0.07\%$  ( $0.12 \text{ km}^2$ ) پناهگاه حیات وحش سندورنی در ایالت کرایا کشور هند بسیار تکه‌تکه شده است. در ارتباط با بررسی اختلال زیستگاه جنگلی، Liu و همکاران (۲۲) تحقیق را طی یک دوره ۱۵ ساله در لانگانگ چین انجام دادند و آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تعرضات انسان به‌طور قابل توجهی سبب آشفتنگی مکانی در کاهش سطح جنگل‌های کل منطقه شده است.

در ایران نیز جعفری و همکاران (۱۵) به بررسی تغییرات ساختاری با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دریاچه ارومیه، نظر‌نژاد و همکاران (۲۸) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه بالانچ‌چای با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، میر و همکاران (۲۵) به کاربرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین در ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی مناطق در دشت سیستان و پناهنده و عزیزی (۳۰) به ارزیابی تغییرات ساختاری حوضه انزلی بر اساس

۲۶۹۳ است که نسبت به مساحت حوضه اختلاف ارتفاع بالایی را نشان می‌دهد. جنگل‌های حاتم مشه‌سی، گیزی مشه‌سی و کرگشه مشه‌سی واقع در حوضه اهل ایمان زیستگاه بسیار مهمی برای انواع وحوش و پرندگان نیز به‌شمار می‌روند. پوشش گیاهی آن‌ها اغلب درختان جنگلی از قبیل بلوط (*Quercus*)، افراکیکم (*Acer monspessulanum*) و گل‌های وحشی بوده و درختان میوه‌ای از قبیل زالزالک (*Crataegus*) و فندق (*Corylus avellana*) نیز دیده می‌شود (۳۳).

در تحقیق حاضر، به‌منظور تعیین مرز زیرحوضه‌ها یا واحدهای هیدرولوژیک از Arc Hydro استفاده شد. سپس، نتایج به‌دست آمده بر اساس تطبیق با وضعیت توپوگرافی منطقه و نیز محل تلاقی آبراهه‌ها کنترل شدند و شماره‌گذاری زیرحوضه‌ها مطابق اصول کارتوگرافی از بخش خروجی حوزه آبخیز اصلی و از راست به چپ انجام شد. در حوضه اهل ایمان، زیرحوضه‌های ۱، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰، از نوع واحدهای هیدرولوژیک مستقل و زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۱۱ از نوع واحدهای هیدرولوژیک میان‌حوضه‌ای هستند. شکل (۱) موقعیت حوضه اهل ایمان و زیرحوضه‌های آن را در کشور و استان نشان می‌دهد. همچنین، در جدول (۱) خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های اهل ایمان ارائه شده است.

## روش تحقیق

### تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

در این تحقیق بر اساس کیفیت تصاویر ماهواره‌ای، وجود حداکثر پوشش گیاهی و عدم وجود پوشش ابر در منطقه مورد مطالعه، سه تصویر از ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ انتخاب و دریافت شد. جدول (۲) مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای باندهای تصویر توسط نرم‌افزار ENVI 5.3 به‌صورت سه باند مختلف و اختصاص سه رنگ قرمز، سبز و آبی به هر باند، ترکیب شدند. برای اطمینان از

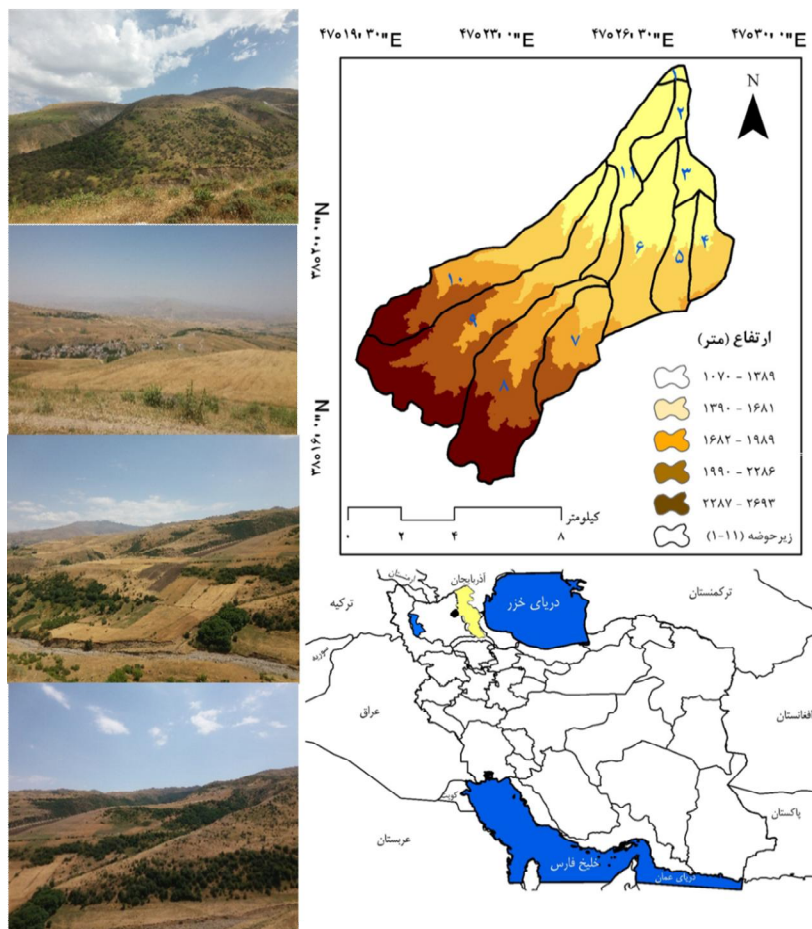
رهیافت بوم‌شناسی سیمای سرزمین پرداخته‌اند. این تحقیق‌ها همگی مؤید وجود اختلال‌های شدید ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده است. همچنین، جعفری و همکاران (۱۶) در ارزیابی عملکرد شاخص‌های سیمای سرزمین با استفاده از توابع سنجش از دور در مراتع نیمه‌خشک ایران و صفایی و همکاران (۳۳) در بررسی تأثیر مقیاس فضایی تصاویر Sentinel-2، Landsat OLI و (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) در ارزیابی وضعیت سیمای سرزمین در کوه‌های زاگرس، به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل افزایش پراکندگی و فضا‌های بین لکه‌ها در مناطق تخریب شده، عملکرد سیمای سرزمین کاهش یافته است.

با توجه به مرور منابع، اهمیت کاربرد سنجه‌های سیمای سرزمین در موضوعات مختلف بوم‌شناسی به اثبات رسیده است اما تحقیق‌های مستندی در داخل کشور در خصوص ارزیابی کمی اختلال پوشش گیاهی، مشاهده نشد. بنابراین، در این تحقیق به ارزیابی تغییرات مکانی (در سطح ۱۱ زیرحوضه) و زمانی (در سه سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰) وضعیت اختلال پوشش گیاهی طبیعی حوضه اهل ایمان واقع در استان اردبیل به‌سبب داشتن اراضی طبیعی از جمله مرتع و جنگل و تنوع گونه‌ای مناسب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در راستای ارائه الگوی کاربردی برای تدوین راه‌کارهای مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های کلی منطقه قابلیت کاربرد دارد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه اهل‌ایمان شکل (۱) با مختصات جغرافیایی "۳۸°۱۵'۱۰" تا "۴۰°۲۳'۳۸" عرض شمالی و "۴۷°۱۹'۵۰" تا "۴۷°۲۹'۲۳" طول شرقی از توابع شهرستان مشگین‌شهر در غرب استان اردبیل واقع شده و یکی از زیرحوضه‌های قره‌سو است که رواناب حاصل از آن در نهایت پس از پیوستن به رودخانه‌های اهرچای و ارس به دریاچه خزر وارد می‌شود. دارای مساحتی بالغ بر ۹۰/۴۷ Km<sup>2</sup> بوده و کمینه و بیشینه ارتفاع حوضه نیز به‌ترتیب ۱۰۷۰ m و ۱۰۷۰ m



شکل ۱. موقعیت حوضه اهل ایمان در استان اردبیل و ایران

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های اهل ایمان

زیر حوضه	مساحت (km <sup>2</sup> )	محیط (Km)	حداکثر ارتفاع (m)	حداقل ارتفاع (m)	ارتفاع متوسط (m)	طول آبراهه (m)
۱	۰/۴۴	۳/۱۷	۱۱۵۵	۱۰۷۰	۱۱۰۸/۶۹	۱/۳۹
۲	۳/۰۵	۹/۹۴	۱۳۱۵	۱۰۷۶	۱۱۷۷/۷۵	۲/۶۸
۳	۲/۳۲	۷/۸۹	۱۳۲۵	۱۱۳۴	۱۲۲۵/۵۴	۲/۵۴
۴	۴/۲۴	۹/۸۰	۱۷۳۷	۱۲۳۸	۱۴۷۱/۵۰	۶/۵۷
۵	۴/۴۲	۱۱/۰۳	۱۷۶۱	۱۲۳۷	۱۴۷۰/۲۲	۵/۴۸
۶	۱۰/۱۱	۱۸/۲۷	۱۸۴۷	۱۱۴۱	۱۳۹۶/۸۱	۱۵/۶۶
۷	۷/۲۲	۱۲/۷۴	۲۳۱۵	۱۴۶۲	۱۸۶۶/۷۴	۱۳/۳۰
۸	۱۶/۰۸	۲۲/۸۴	۲۶۹۳	۱۴۸۶	۲۱۶۲/۹۰	۳۵/۷۲
۹	۲۲/۰۶	۳۲/۲۲	۲۵۸۰	۱۲۱۱	۲۰۱۱/۰۲	۴۵/۱۵
۱۰	۱۳/۹۳	۲۴/۵۲	۲۵۵۵	۱۲۰۹	۱۸۳۶/۸۰	۲۵/۲۸
۱۱	۶/۶۱	۱۹/۹۷	۱۵۸۳	۱۰۸۴	۱۲۷۳/۷۰	۱۱/۴۸
کل حوضه	۹۰/۴۷	۴۹/۳۶	۲۶۹۳	۱۰۷۰	۱۷۷۳/۰۶	۱۶۵/۲۵

جدول ۲. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر

ماهواره	سنجنده	ردیف و گذر	تاریخ	
			شمسی	میلادی
لندست ۷	ETM+	۱۶۷/۳۳	۱۶ خرداد ۱۳۷۹	05 June 2000
لندست ۷	ETM+	۱۶۷/۳۳	۱۱ خرداد ۱۳۸۹	01 June 2010
لندست ۸	OLI	۱۶۸/۳۳	۶ خرداد ۱۳۹۹	26 May 2020

آمد و از تقسیم طول کل جاده به مساحت آن زیرحوضه، تراکم جاده محاسبه شد که هر چه تراکم جاده بیش‌تر باشد اختلال در آن حوضه بیش‌تر خواهد بود (۴).

#### محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 و تبدیل آن به فرمت رستری، برای کمی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 4.2.1 در سطح لکه و سیما برای هر یک از زیرحوضه‌ها استفاده شد (۴). پس از تنظیم پارامترهای نرم‌افزار برای هر یک از نقشه‌ها به‌طور جداگانه، سنجه‌های تراکم لکه (Patch Density, PD)، تراکم حاشیه (Edge Density, ED)، غنای لکه (Patch Richness, PR)، تکه‌شدگی (Splitting Index, SPLIT) و سرایت (Contagion Index, CONTIG) در سطح سیمای سرزمین و سنجه‌های فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (Euclidean Nearest Neighbor Distance, ENN) و نسبت محیط به مساحت (Mean Perimeter–Area Ratio, PARA) در سطح لکه محاسبه و نتایج آن‌ها به نرم‌افزار Excel انتقال داده شد (۱۰).

تراکم لکه (PD) برای اندازه‌گیری میزان اتصال و پیوستگی کاربری‌ها استفاده می‌شود. پیوستگی بین لکه‌ها به‌صورت معکوس با سنجه تراکم لکه (PD) مرتبط است. یعنی با افزایش تراکم لکه (PD)، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک‌تر می‌شوند (۱۸). تراکم حاشیه (ED) با مساحت سیمای سرزمین در ارتباط بوده و معادل طول تمامی حاشیه‌ها تقسیم بر مساحت است (۲۸). غنای لکه (PR) برابر با

انجام تصحیح هندسی، صحت تصاویر از طریق مقایسه تصاویر با نقشه‌های ژئورفرنس شده و نیز ریسیمپلینگ مورد تأیید قرار گرفت. پردازش تصاویر ماهواره‌ای مجموعه داده‌های سری لندست به‌صورت تصحیحات رادیومتریک اتمسفری با استفاده از الگوریتم (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube, FLAASH) در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. یکی از اولین ابزارهای تصحیح اتمسفری است که طول موج‌هایی را از گستره مرئی تا ۳ میکرومتر پوشش می‌دهد (۲). هم‌چنین، برای تصحیح تصاویر حاوی خطوط نواری شکل ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ سال ۲۰۱۰، ناشی از کار نکردن تصحیح‌کننده خط اسکن (Scan Line Corrector, SLC) از نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد.

#### نقشه کاربری اراضی / پوشش اراضی

پس از بررسی و اطمینان از کیفیت رادیومتری تصاویر ماهواره‌ای، بازدید میدانی برای شناسایی کاربری‌های منطقه به‌عمل آمد. سپس هفت طبقه کاربری و پوشش زمین شامل مناطق مسکونی، جنگل، زراعت دیم، زراعت آبی، مرتع، بدنه آبی و علفزار به‌صورت طبقه‌بندی نظارت نشده برای حوضه اهل ایمان تعیین شد. هم‌چنین، ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده از طریق تفسیر چشمی برای پردازش و استفاده از گوگل‌ارث برای همه بازه‌های زمانی صورت پذیرفت (۲۸). در همین راستا، ضریب کاپا نیز برآورد شد.

نقشه NDVI در نرم‌افزار TerrSet پس از تبدیل باندهای ۴ و ۵ به فرمت ادیسی (IDRISI) تهیه شد (۱۴). در ادامه، برای هر زیرحوضه طول کل جاده از محیط ArcGIS 10.8 به‌دست

برای پیچیدگی شکل، اما بدون استانداردسازی به شکل ساده اقلیدسی (به‌عنوان مثال، مربع) است (۲۴). ویژگی‌های کلی سنج‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول (۳) ارائه شده است.

### وزندگی

روش آنتروپی (Entropy) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای محاسبه وزن معیارهاست که در سال ۱۹۷۴ توسط شانون و ویور ارائه شد. آنتروپی یک مفهوم عمده در علوم فیزیکی و تئوری اطلاعات بوده که بیان‌گر میزان عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است و در واقع سطح پراکندگی و بی‌نظمی را در پدیده‌های طبیعی تخمین می‌زند (۳۱). ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری (A) به ماتریس نرمال شده ( $P_{ij}$ ) تبدیل شد تا ماتریس A نرمال شود. نرمال شدن به این صورت است که درایه هر ستون ( $n_{ij}$ ) بر مجموع ستون ( $\sum_{i=1}^m n_{ij}$ ) تقسیم می‌شود (رابطه ۱).

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}. j = 1.2... n \quad (1)$$

در مرحله بعد میزان آنتروپی هر معیار ( $E_j$ ) (نماد بی‌نظمی و فاصله مقادیر نسبت به هم) به‌ازای هر ستون محاسبه شد (رابطه، ۲). به‌طوری که K یک عدد ثابت مثبت به‌منظور تامین شرط  $0 \leq E \leq 1$  در نظر گرفته می‌شود و m تعداد گزینه‌هاست.

$$E_j = -k \sum_{i=k}^m (n_{ij} \ln p_{ij}) k = \frac{1}{\ln m}. j = 1.2... n \quad (2)$$

در ادامه، وزن هر شاخص با توجه به میزان آنتروپی آن به‌دست آمد (رابطه، ۳).

$$d_j = 1 - E_j. W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}. j = 1.2... n \quad (3)$$

که در آن،  $d_{ij}$ ، درجه انحراف شاخص مربوطه J است و بیان‌گر این است که چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد و  $w_j$  وزن مربوط به شاخص J است.

تعداد انواع مختلف لکه موجود در سیمای سرزمین است. غنی بودن لکه شاید ساده‌ترین معیار در ترکیب سیمای سرزمین باشد، اما باید توجه داشت که انعکاس‌دهنده فراوانی نسبی انواع لکه نبوده و تحت تأثیر فراوانی نسبی هر نوع لکه یا آرایش فضایی لکه‌ها نیست. بنابراین، دو سیمای سرزمین ممکن است ساختار کاملاً متفاوتی داشته اما از غنای یکسانی برخوردار باشند (۲۴). سنج تکه‌شدگی (SPLIT) بیان‌گر شدت فعالیت انسان در طبیعت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فرآیندهای موجود در سیمای سرزمین و نمایان‌گر شدت اختلال در ساختار و عملکرد سیمای سرزمین است (۲۴). شاخص سرایت (CONTAG) سیمای سرزمین به‌صورت درصد بیان می‌شود و نشان می‌دهد که توزیع پوشش اراضی در سیمای سرزمین به چه صورت است؛ آیا لکه‌های کاربری و پوشش اراضی به‌صورت بزرگ و مجتمع و در کنار هم گرد آمده‌اند یا به‌صورت لکه‌های کوچک و پراکنده توزیع یافته‌اند. با مقایسه این سنج در سال‌های مختلف می‌توان نحوه تغییرات پراکنش پوشش‌های اراضی را به‌دست آورد (۱۱). سنج CONTAG یک شاخص برای بیان میزان تجمع در لکه‌های کاربری اراضی است. این سنج بر اساس مجاورت لکه‌ها محاسبه می‌شود و احتمال تعلق دو لکه تصادفی به یک کلاس را توصیف می‌کند. شاخص سرایت (CONTAG) تحت تأثیر انتشار و نیز پراکندگی کلاس‌های مختلف قرار می‌گیرد. به‌عبارتی، انتشار پایین کلاس (نسبت بالای لکه‌های هم‌جوار و مشابه) و پراکندگی کم (توزیع ناهم‌گون لکه‌های هم‌جوار) منجر به مقادیر بالای سنج سرایت (CONTAG) می‌شود (۲۴).

شاخص فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه را شاید به‌عنوان ساده‌ترین اندازه از چارچوب لکه می‌توان برشمرد و به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری انزوای لکه استفاده می‌شود. معیار نزدیک‌ترین فاصله همسایگی با استفاده از هندسه ساده اقلیدسی به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله مستقیم بین لکه مرکزی و نزدیک‌ترین همسایه آن کلاس تعریف می‌شود (۲۴). نسبت محیط به مساحت (PARA) برابر با نسبت محیط لکه (m) به مساحت ( $m^2$ ) آن است. این معیار، واحد اندازه‌گیری ساده‌ای

جدول ۳. خلاصه‌ای از سنجدهای مورد استفاده در تحقیق حاضر

دامنه تغییرات	فرمول	واحد	حروف اختصاری	نام فارسی	سنجه
$PD > 0$	$PD = \frac{n_i}{A} (10000)(100)$	متر در ۱۰۰ هکتار	PD	تراکم لکه	Patch Density
$TE \geq 0$	$ED = \frac{E}{A} (10000)$	متر در ۱۰۰ هکتار	ED	تراکم حاشیه	Edge Density
$1 \leq SPLIT \leq$ تعداد سلول	$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$	بدون واحد	SPLIT	شاخص تکه‌شدگی	Splitting Index
$ENN > 0$ بدون محدودیت	$ENN = h_{ij}$	متر	ENN	میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی	Euclidean Nearest Neighbor Distance
$0 < CONTAG < 100$	$CONTAG = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m [P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}}] \circ \ln \left( \frac{P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right)}{2 \ln(m)} \right] (100)$	درصد	CONTAG	شاخص سرایت	Contagion Index
بدون محدودیت	$PARA = \frac{P_{ij}}{a_{ij}}$	بدون واحد	PARA	نسبت محیط به مساحت	Mean Perimeter-Area Ratio
بدون محدودیت	$PR = m$	بدون واحد	PR	غنای لکه	Patch Richness

**محاسبه شاخص اختلال (Disturbance Index, DI)**

امروزه به سبب دخالت عوامل متعدد در ایجاد اختلال در مؤلفه‌های مختلف یک بوم‌سازگان، به جای استفاده از شاخص‌های تک معیاره یا تک‌عملکردی به استفاده از شاخص‌های چندمعیاره یا چندعملکردی تأکید می‌شود. بر همین اساس، در تحقیق حاضر برای محاسبه شاخص اختلال (DI) استفاده از رابطه (۴) که حاصل ترکیب خطی نه معیار مختلف است، استفاده شده است (۱۶). به عبارتی این شاخص از طریق مجموع حاصل ضرب مقادیر معیارها در وزن آن‌ها محاسبه شد.

$$DI = (SPLIT_i \times W_{ti1} + PD_{ji} \times W_{ti2} + PR_i \times W_{ti3} + PARAI_i \times W_{ti4} + CANTAG_i \times W_{ti5} + ENN_i \times W_{ti6} + NDVI_i \times W_{ti7} + ED_i \times W_{ti8} + ROAD_i \times W_{ti9}) \quad (4)$$

که در آن، DI شاخص اختلال پوشش گیاهی، SPLIT تکه‌شدگی، PD تراکم لکه، PR غنای لکه، ENN شاخص فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه، CANTAG شاخص سرایت، PARA نسبت محیط به مساحت، ED تراکم حاشیه، NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) شاخص پوشش گیاهی و ROAD تراکم جاده است (۱۶). نحوه محاسبه هر کدام از این معیارها در بخش‌های پیشین توضیح داده شده است. لایه‌های موضوعی آن‌ها به صورت رستری همسان‌سازی شدند و از تحلیل گر فضایی ArcGIS 10.8 با دادن وزن مناسب به هر لایه به دست آمده از روش آنتروپی، تلفیق شدند. همچنین شاخص اختلال (DI) پوشش گیاهی در سه دوره مورد بررسی در سطح زیرحوزه‌های آبخیز مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.8، معیارهای مورد استفاده و شاخص اختلال (DI) پوشش گیاهی پهنه‌بندی شدند. طبقه‌بندی و دامنه میزان شاخص اختلال (DI) حوضه اهل ایمان در جدول (۴) ارائه شده است.

**نتایج و بحث**

با توجه به شکل (۲) نقشه کاربری اراضی که مبنای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین است، در هفت طبقه مختلف طبقه‌بندی

شد. مقادیر ضریب کاپا برای نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده در سال ۲۰۰۰ برابر ۵۸/۲٪، سال ۲۰۱۰ برابر ۷۵٪ و سال ۲۰۲۰ برابر ۵۹/۲٪ به دست آمد. در سال ۲۰۰۰ کاربری مرتع با ۳۸/۸۹٪ از کل اراضی بیش‌ترین مساحت کاربری اراضی با مقدار ۳۵/۱۸ Km<sup>2</sup> و بدنه آبی با ۰/۲۰٪ از کل اراضی کم‌ترین مساحت کاربری اراضی با مقدار ۳۸/۵۸ Km<sup>2</sup> می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ کاربری مرتع با ۳۴/۹۵٪ از کل اراضی بیش‌ترین مساحت کاربری اراضی با مقدار ۳۶/۱۹ Km<sup>2</sup> می‌باشد. در سال ۲۰۲۰ کاربری مرتع با ۳۶/۱۶۵٪ از کل اراضی بیش‌ترین مساحت کاربری اراضی با مقدار ۳۳/۲۰ Km<sup>2</sup> و بدنه آبی با ۰/۲۰٪ از کل اراضی کم‌ترین مساحت کاربری اراضی با مقدار ۳۶/۱۹ Km<sup>2</sup> می‌باشد. با توجه به نتایج بازه‌های زمانی مورد بررسی، کاربری مرتع در همه بازه‌ها بیش‌ترین مقدار کاربری اراضی و بدنه آبی کم‌ترین مقدار را داشت. در شکل (۳) نقشه NDVI سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ برای حوضه ارائه شده است.

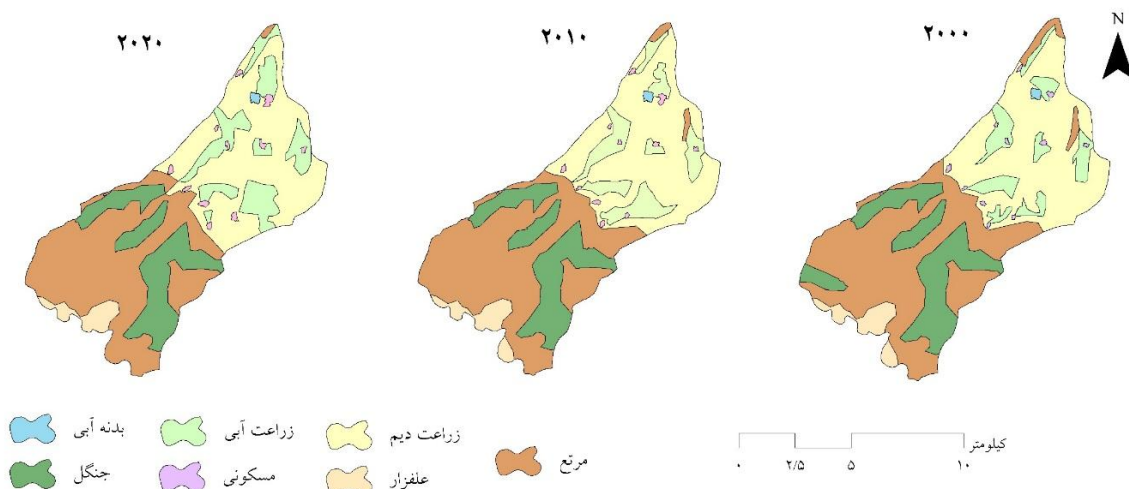
با توجه به شکل (۳) معیار NDVI یک مقدار کمی از پوشش گیاهی سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. این معیار در سراسر جهان برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش گیاهی استفاده شده است (۲۳). در سال ۲۰۰۰ با میانگین و انحراف معیار ۰/۴۲ و ۰/۱۶ و با حداقل و حداکثر ۰/۰۰۵ و ۰/۹۰، در سال ۲۰۱۰ با میانگین و انحراف معیار ۰/۶۱ و ۰/۱۵ و با حداقل و حداکثر ۰/۰۰۲ و ۰/۹۷ و در سال ۲۰۲۰ با میانگین و انحراف معیار ۰/۶۴ و ۰/۱۵ و با حداقل و حداکثر ۰/۰۰۶ و ۱/۰۰ به دست آمد. مقادیر NDVI در سال ۲۰۰۰ برای زیرحوضه ۹ حداکثر مقدار و زیرحوضه ۲ حداقل، در سال ۲۰۱۰ برای زیرحوضه ۸ حداکثر مقدار و زیرحوضه‌های ۲ و ۵ حداقل مقدار و در سال ۲۰۲۰ برای زیرحوضه ۱۰ حداکثر مقدار و زیرحوضه‌های ۲ و ۱۰ و ۱۱ حداقل مقدار می‌باشد. همچنین، قابل ذکر است که مقادیر میانگین بارش در حوضه برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر با mm ۳۷۰، mm ۴۲۰ و mm ۳۵۰ است.

تراکم جاده بر ساختار بوم‌سازگان تأثیر می‌گذارد و اثرات

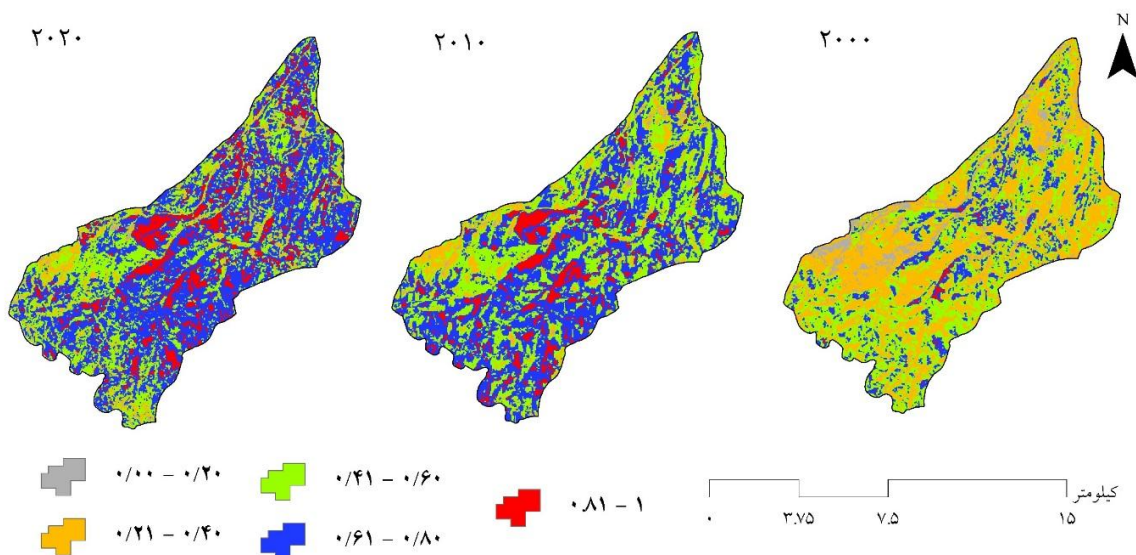


جدول ۴. طبقه‌بندی شاخص اختلال (Disturbance Index) پوشش گیاهی در حوضه اهل ایمان (۱۷)

شماره	طبقه	دامنه میزان شاخص اختلال
۱	اختلال خیلی کم	۰ - ۸۷
۲	اختلال کم	۸۸ - ۱۶۳
۳	اختلال متوسط	۱۶۴ - ۲۳۹
۴	اختلال زیاد	۲۴۰ - ۳۱۵
۵	اختلال خیلی زیاد	> ۳۱۶

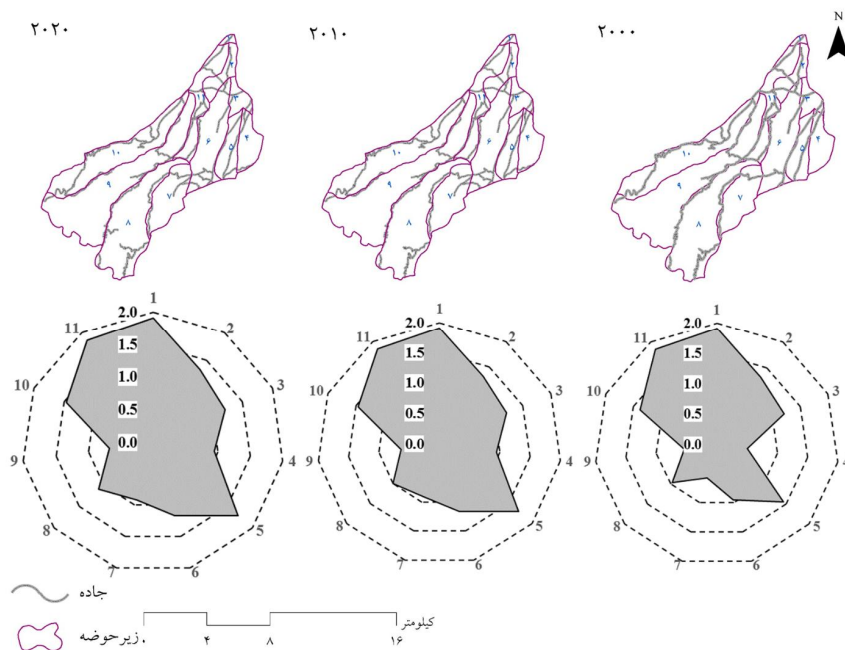


شکل ۲. نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰



شکل ۳. نقشه شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰

۲۰۲۰



شکل ۴. نقشه جاده و تغییرات تراکم آن در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰

تجزیه و تحلیل معیارهای مورد استفاده در شاخص اختلال (DI) در این تجزیه و تحلیل‌ها، ۷ سنجه (۵ سنجه در سطح سیما و ۲ سنجه در سطح لکه) برای شاخص اختلال (DI) در زیرحوضه‌های اهل ایمان ارزیابی شد. در شکل (۵) تغییرات مقادیر سنجه‌های مورد بررسی در هر یک از زیرحوضه‌های اهل ایمان ارائه شده است.

با توجه به شکل (۵) در سال ۲۰۰۰ مقادیر سنجه تراکم لکه (PD) در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بین ۰/۶۹ تا ۶/۸۱ تغییر کرده است. هم‌چنین میانگین تراکم لکه (PD) برای حوضه مورد مطالعه ۱/۸۶ به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار آن در زیرحوضه ۱ است، که نشان‌دهنده بیش‌ترین تنوع و فراوانی بوده و زیرحوضه ۸ دارای حداقل مقدار است. بالا بودن تراکم لکه (PD) در زیرحوضه ۱، نشان‌دهنده افزایش تخریب زمین بوده که منجر به افزایش تکه‌شدگی نیز شده است. در سال ۲۰۱۰ مقادیر این سنجه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بین ۰/۶۲ تا ۹/۳۸ تغییر کرده است. هم‌چنین میانگین تراکم لکه (PD) برای حوضه مورد مطالعه ۲/۲۲ به‌دست آمد. بیش‌ترین مقادیر تراکم لکه (PD) در زیرحوضه ۱ است، که نشان می‌دهد بیش‌ترین تنوع و فراوانی در

مستقیم و غیرمستقیم بر سیمای سرزمین دارد (۲۹). در شکل (۴) نقشه جاده و تغییرات تراکم جاده در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ ارائه شده است. با توجه به تغییرات تراکم جاده در بیش‌تر زیرحوضه‌ها در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب با میانگین  $1/15 \text{ km/km}^2$ ،  $1/28 \text{ km/km}^2$  و  $1/30 \text{ km/km}^2$  تقریباً مشابه است. هرچه تراکم جاده بیش‌تر باشد، اختلال در حوضه بیش‌تر خواهد بود. با این حال حداکثر و حداقل تراکم جاده در سال ۲۰۰۰ به ترتیب در زیرحوضه ۱ با مقدار عددی  $1/91 \text{ km/km}^2$  و زیرحوضه ۴ با مقدار  $51/0 \text{ km/km}^2$  می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ حداکثر و حداقل تراکم جاده به ترتیب در زیرحوضه ۱ با مقدار عددی  $1/91 \text{ km/km}^2$  و زیرحوضه ۹ با مقدار  $1/91 \text{ km/km}^2$  می‌باشد. در سال ۲۰۲۰ حداکثر و حداقل تراکم جاده به ترتیب در زیرحوضه ۱ با مقدار عددی  $1/91 \text{ km/km}^2$  و زیرحوضه ۹ با مقدار  $0/68 \text{ km/km}^2$  می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج نعمت‌اللهی و همکاران (۲۹) که نشان داد شبکه جاده در زیستگاه نه‌تنها پناهگاه را برای موجودات کاهش داده بلکه علاوه بر اشغال فیزیکی استفاده از زمین منجر به اختلال و در نتیجه کیفیت زیستگاه باقی‌مانده را کاهش می‌دهد، مطابقت دارد.



شکل ۵. تغییرات مقادیر سنجه‌های مورد بررسی در هر یک از زیرحوضه‌های اهل‌ایمان

این زیرحوضه است و زیرحوضه ۸ دارای حداقل مقدار است. در سال ۲۰۲۰ مقادیر این سنجه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بین ۰/۵۶ تا ۹/۳۸ تغییر می‌کند. هم‌چنین میانگین تراکم لکه (PD) برای حوضه مورد مطالعه ۲/۱۲ به‌دست آمد. بیش‌ترین مقادیر آن

در سال ۲۰۲۰ مقادیر این سنجه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بین ۰/۵۶ تا ۹/۳۸ تغییر می‌کند. هم‌چنین میانگین تراکم لکه (PD) برای حوضه مورد مطالعه ۲/۱۲ به‌دست آمد. بیش‌ترین مقادیر آن

اما در سال‌های اخیر شدت تخریب دارای روند افزایشی است. با توجه به نتایج شکل (۵) در سال ۲۰۰۰ مقدار میانگین و انحراف معیار تکه‌شدگی (SPLIT) برای حوضه اهل ایمان برابر با  $۲/۳۶ \pm ۰/۹۵$  برآورد شد. این معیار از ۱/۱۶ در زیرحوضه ۵ تا ۳/۸۴ در زیرحوضه ۷ متغیر است. در سال ۲۰۱۰ مقدار میانگین و انحراف معیار این سنجه برای حوضه اهل ایمان برابر با  $۲/۴۴ \pm ۰/۹۱$  برآورد شد. این معیار از ۱/۲۰ در زیرحوضه ۳ تا ۳/۹۰ در زیرحوضه ۷ متغیر است. در سال ۲۰۲۰ مقدار میانگین و انحراف معیار این سنجه برای حوضه اهل ایمان برابر با  $۲/۷۳ \pm ۱/۱۶$  برآورد شد. این معیار از ۱/۰۷ در زیرحوضه ۳ تا ۵/۱۳ در زیرحوضه ۱۱ متغیر است. نتایج حاکی از این بود که در زیرحوضه‌های که اکثر مساحت آن را کاربری مرتع و زراعت دیم پوشانده بود، دارای تکه‌شدگی کم است. این یافته‌ها با تحقیق حزباوی و همکاران (۲۲) در بررسی تکه‌شدگی سیمای سرزمین مطابقت دارد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که زیرحوضه‌های دارای طبقه خیلی کم از مقدار شاخص تکه‌شدگی (SPLIT)، بیش‌ترین مساحت کاربری زراعت دیم را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین، یافته‌های مصطفی‌زاده و همکاران (۲۷) مبنی بر بالابودن شاخص تکه‌شدگی (SPLIT) در زیرحوضه‌های ایریل، که نشان از تخریب بیش‌تر بوده است، تأییدی دیگر بر یافته‌های تحقیق حاضر است.

با توجه به نتایج شاخص فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) (شکل ۵)، برای حوضه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۰، حداکثر معیار فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) برای زیرحوضه ۵ با مقدار ۱۱۲۰/۲۱ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۱ و ۳ با مقدار صفر به‌دست آمد. در بازه زمانی ۲۰۱۰، حداکثر معیار فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه برای زیرحوضه ۱۱ با مقدار ۸۷۷/۸۵ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۳ با مقدار ۸۰/۰۹ به‌دست آمد. در بازه زمانی ۲۰۲۰، حداکثر معیار فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه برای زیرحوضه ۳ با مقدار ۱۷۴۹/۲۵ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۱ با مقدار ۸۰/۰۹ به‌دست آمد. کیانی و فقهی (۱۹)

در زیرحوضه ۱ است، که نشان می‌دهد بیش‌ترین تنوع و فراوانی در این زیرحوضه است و زیرحوضه ۸ دارای حداقل مقدار است. نتایج تحقیق علائی و همکاران (۴) حاکی از این بود که حضور تراکم لکه بالا در زیرحوضه ۳۳، نشان‌دهنده افزایش تخریب زمین است که منجر به افزایش تکه‌شدگی شده است. اعتقاد بر این بود که تراکم لکه (PD) مبتنی بر یک نوع استفاده از لکه‌های خاص، ممکن است بر فرآیندهای بوم‌شناختی مهم حوضه تأثیر بگذارد. صفایی و همکاران (۲۰۲۱) با این نتیجه رسیدند که به‌دلیل افزایش پراکندگی لکه‌ها در مناطق تخریب شده، عملکرد سیمای سرزمین کاهش می‌یابد.

با توجه به شکل (۵) در سطح سیمای سرزمین رابطه بین تراکم حاشیه (ED) و تکه‌شدگی (SPLIT) مثبت می‌باشد، هر چه تراکم حاشیه (ED) بیش‌تر باشد پیوستگی سیمای سرزمین بیش‌تر می‌شود و در نتیجه بیش‌ترین تکه‌شدگی مشاهده می‌شود. در سال ۲۰۰۰، حداقل و حداکثر تراکم حاشیه (ED)، مربوط به زیرحوضه‌های ۵ (با مقدار عددی ۸/۴۹ m/ha) و ۱ (با مقدار عددی ۲۶/۳۷ m/ha) به‌دست آمد. هم‌چنین برای زیرحوضه مورد مطالعه میانگین و انحراف معیار تراکم حاشیه (ED) به‌ترتیب ۱۵/۷۰ m/ha و ۴/۹۴ m/ha برآورد شد. در سال ۲۰۱۰، زیرحوضه‌های ۳ و ۱ به‌ترتیب با مقدار عددی ۱۰/۴۶ و ۲۱/۲۴ m/ha در سطح سیمای سرزمین حداقل و حداکثر مقدار این سنجه را دارند. هم‌چنین میانگین و انحراف معیار تراکم حاشیه (ED) به‌ترتیب ۱۵/۰۲ m/ha و ۳/۶۴ m/ha برآورد شد. در سال ۲۰۲۰، زیرحوضه‌های ۳ و ۱ به‌ترتیب با مقدار عددی ۵/۸۴ m/ha و ۳۵/۸۵ m/ha در سطح سیمای سرزمین حداقل و حداکثر مقدار این سنجه را دارند. نتایج جعفری و همکاران (۱۵)، در بررسی تغییرات ساختاری با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دریاچه ارومیه بیان‌گر آن است که میزان سنجه تراکم حاشیه (ED) از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۸ کاهش اما در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ افزایش یافته که نشان‌دهنده وجود نوسان‌هایی در شدت تخریب در منطقه مورد مطالعه بوده است. بدین‌معنی که در دهه اول مورد بررسی، سطح تخریب کاهش

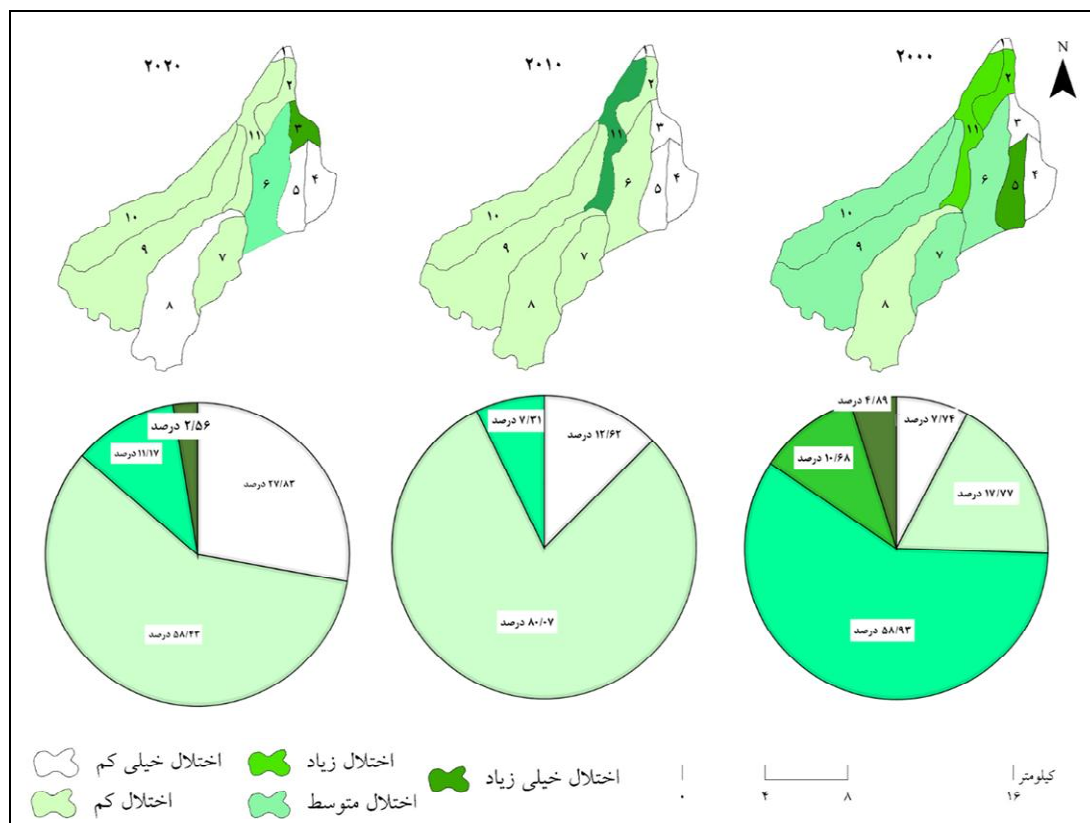
در سال ۲۰۰۰، مقدار غنای لکه (PR) در زیرحوضه‌های ۱، ۳ و ۵ با مقدار عددی ۳ حداقل و در زیرحوضه‌های ۸ و ۹ با مقدار عددی ۶ حداکثر را در سطح سیمای سرزمین دارند. همچنین برای حوضه مورد مطالعه میانگین و انحراف این معیار به ترتیب ۴/۲۷ و ۱/۱۰ برآورد شد. در سال ۲۰۱۰، زیرحوضه‌های ۱ تا ۵، ۸ و ۹ به ترتیب با مقدار عددی ۳ و ۶ در سطح سیمای سرزمین حداقل و حداکثر غنای لکه (PR) را دارند. همچنین برای زیرحوضه مورد مطالعه میانگین و انحراف معیار غنای لکه (PR) به ترتیب ۴/۰۹ و ۱/۲۲ برآورد شد. در سال ۲۰۲۰، مقدار غنای لکه (PR) در زیرحوضه‌های ۳، ۵، ۸ و ۹ به ترتیب با مقدار عددی ۲ و ۶ در سطح سیمای سرزمین حداقل و حداکثر را دارند. همچنین برای زیرحوضه مورد مطالعه میانگین و انحراف معیار غنای لکه (PR) به ترتیب ۳/۷۳ و ۱/۴۲ برآورد شد.

#### وزن معیارهای مورد بررسی به روش آنتروپی شانون

وزن معیارهای مورد بررسی به روش آنتروپی شانون در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج سال ۲۰۰۰، تراکم لکه (PD) با وزن ۰/۳۵ مهم‌ترین معیار اختلال در حوضه اهل‌ایمان محسوب می‌شود. همچنین معیارهای فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) و تکه‌شدگی (SPLIT) به ترتیب با وزن ۰/۲۷ و ۰/۱۰ دومین و سومین معیار مهم شاخص اختلال (DI) قرار دارند. در تعیین ارزش معیارها، در سال ۲۰۱۰، تراکم لکه (PD) با وزن ۰/۱۸، بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است. همچنین بعد از آن معیارهای فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) و تکه‌شدگی (SPLIT) به ترتیب با وزن ۰/۱۸ و ۰/۰۹ دارای وزن و اهمیت بیش‌تری نسبت به سایر معیارها می‌باشند. همچنین در سال ۲۰۲۰، تراکم لکه (PD) با وزن ۰/۴۴، بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است. بعد از آن معیارهای فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) و تکه‌شدگی (SPLIT) به ترتیب با وزن ۰/۲۲ و ۰/۱۰ دارای وزن و اهمیت بیش‌تری نسبت به سایر معیارها هستند.

از شاخص میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) در بررسی ساختار پوشش اراضی حوضه سفیدرود استفاده کردند. ایشان در تحقیق خود بیان کردند که بیش‌ترین پراکندگی لکه‌ها مربوط به کاربری مرتع و کم‌ترین میزان آن مربوط به کاربری جنگل و بیش‌ترین گسستگی به ترتیب در کاربری کشاورزی و کم‌ترین جنگل می‌باشد.

در بازه زمانی ۲۰۰۰، حداکثر معیار شاخص سرایت (CONTAG) برای زیرحوضه ۳ با مقدار ۸۱/۳۲ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۹ با مقدار ۵۸/۵۰ به دست آمد. در بازه زمانی ۲۰۱۰، حداکثر معیار شاخص سرایت (CONTAG) برای زیرحوضه ۵ با مقدار ۷۳/۷۳ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۲ با مقدار ۵۶/۴۱ به دست آمد. در بازه زمانی ۲۰۲۰، حداکثر معیار شاخص سرایت (CONTAG) برای زیرحوضه ۳ با مقدار ۸۴/۵۰ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۱ با مقدار ۴۷/۸۸ به دست آمد. همچنین Shi و همکاران (۳۴)، با تأکید بر ضرورت کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین و تغییرات آن برای پایش و ارزیابی نتایج بوم‌شناختی تغییر کاربری و دخالت‌های انسانی از شاخص سرایت (CONTAG) در حوضه هایه چین در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده کاهش علفزارهای منطقه، پراکندگی لکه‌ها و تغییر شکل پیچیده در ساختار سیمای به دلیل بهره‌برداری شدید و بازسازی منطقه به وسیله انسان بوده است. با توجه به نتایج نسبت محیط به مساحت (PARA)، برای حوضه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۰، حداکثر معیار نسبت محیط به مساحت (PARA) برای زیرحوضه ۱ با مقدار ۳۶۹/۷۸ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۷ با مقدار ۱۷۴/۰۷ به دست آمد. در بازه زمانی ۲۰۱۰، حداکثر معیار نسبت محیط به مساحت (PARA) برای زیرحوضه ۵ با مقدار ۴۴۰/۵۸ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۷ با مقدار ۲۱۶/۶۱ به دست آمد. در بازه زمانی ۲۰۲۰، حداکثر معیار نسبت محیط به مساحت (PARA) برای زیرحوضه ۱۱ با مقدار ۳۳۶/۷۱ و حداقل مقدار آن برای زیرحوضه ۴ با مقدار ۱۸۱/۹۴ به دست آمد.



شکل ۶. تغییرات مکانی شاخص اختلال (DI) در هر یک از زیرحوضه‌های اهل‌ایمان در سال‌های مورد بررسی

هم‌چنین، در ارتباط با کم‌اهمیت‌ترین معیارها، NDVI در تمام سال‌های مورد بررسی، کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است. سپس، CONTAG در سه سال مورد بررسی، مقدار وزن ثابت ۰/۰۱ داشته است. پس از این دو معیار، PARA در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب با وزن‌های ۰/۰۴، ۰/۰۳ و ۰/۰۲ در مرتبه سوم کم‌اهمیت‌ترین معیارها قرار دارد.

طبقه اختلال زیاد قرار گرفتند. این در حالی بود که حداکثر مساحت این زیرحوضه‌ها را کاربری‌های زراعت دیم، آبی و مسکونی شامل شده و دائم در حالت بهره‌برداری است. نتایج نشان داد که از کل مساحت حوضه اهل‌ایمان در سال ۲۰۰۰، ۱۷/۷۷٪ حوضه (۷ Km<sup>2</sup>) دارای اختلال خیلی کم و ۱۷/۷۷٪ (۱۶/۰۸ Km<sup>2</sup>) دارای اختلال کم هستند. هم‌چنین در همین سال، ۵۸/۹۳٪ (۵۳/۳۲ Km<sup>2</sup>) در طبقه متوسط اختلال، ۱۰/۶۸٪ (۹/۶۶ Km<sup>2</sup>) در طبقه اختلال زیاد و ۴/۸۹٪ (۴/۴۲ Km<sup>2</sup>) در طبقه اختلال خیلی زیاد قرار گرفتند. Wang و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی تغییرات پراکنش جنگل‌های مانگرو تانزانیا به این نتیجه رسیدند که جنگل‌های منطقه از ۱۰۹۵۹۳ ha در سال ۱۹۹۰ به ۱۰۸۱۳۷ ha در سال ۲۰۰۰ کاهش پیدا کرده است. از طرف دیگر زیرحوضه‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ واقع در جنوب و جنوب غربی حوضه دارای اختلال متوسط بوده‌اند، که بیش‌تر مساحت این زیرحوضه‌ها را کاربری مرتع و جنگل پوشانده است.

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی شاخص اختلال (DI) با توجه به شکل (۶) در سال ۲۰۰۰ تغییرات شاخص اختلال (DI) بین ۱۰/۹۹ تا ۳۱۶/۸۶ برآورد شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌هایی که در طبقه بیش‌ترین اختلال قرار گرفتند دارای بیش‌ترین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه (ENN) و شاخص سرایت (CONTAG) بوده است. نتایج شاخص اختلال (DI) در سال ۲۰۰۰ نشان داد که زیرحوضه ۵ (واقع در شمال حوضه) در طبقه اختلال خیلی زیاد و زیرحوضه‌های ۲ و ۱۱ در

### نتیجه‌گیری

با توجه به گستردگی تخریب اراضی طبیعی در سطح جهان و کشور، تحقیق حاضر با هدف تحلیل وضعیت اختلال پوشش گیاهی در دو مقیاس مکانی و زمانی در حوضه اهل ایمان واقع در بخش غربی استان اردبیل صورت پذیرفت. به همین منظور، ابتدا نسبت به محاسبه مهم‌ترین معیارهای اختلال از جمله سنج‌های سیمای سرزمین، پوشش گیاهی و تراکم جاده اقدام شد. سپس، شاخص اختلال (DI) از مجموع معیارها با در نظر گرفتن وزن هر کدام از آنها محاسبه و پهنه‌بندی شد. تحلیل شاخص اختلال (DI) حوضه اهل ایمان نشان‌دهنده وضعیت اختلال کم در پوشش گیاهی طبیعی است. البته قابل ذکر است که وضعیت اختلال در بخش‌های شرقی و شمالی حوضه در وضعیت متوسط قرار گرفته و وضعیت بهتری از اختلال حوضه در بخش‌های جنوبی و مرکزی مشاهده شده است. می‌توان گفت هر چه فشار بیشتری بر منطقه مورد مطالعه وارد شود تقریباً به همان اندازه وضعیت و واکنش یا عکس‌العمل آن برای اختلال کل حوضه نیز تغییر خواهد نمود. بنابراین عمده مشکل حوضه اهل ایمان مربوط به عوامل انسانی (تغییر کاربری اراضی و انجام کشاورزی روی اراضی با شیب زیاد) است که موجب بروز اختلال در سطح این حوضه شده است. میزان اثر عوامل مذکور با رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانی هر روز وخیم‌تر و منجر به مشکلات بعدی خواهد شد.

در مجموع اختلال حوضه اهل ایمان در برخی قسمت‌ها را می‌توان به افزایش دخالت‌های انسانی اختصاص داد که غالباً ریشه در بهره‌برداری از زمین‌های کشاورزی خانوار در حوضه دارد. طبق بازدیدهای میدانی نیز مشخص شد که ضعف مدیریت در نظام بهره‌برداری از منابع طبیعی و مراتع، موجب کاهش پتانسیل مراتع در منطقه شده و باعث تخریب آنها در بخش‌هایی از منطقه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده راه‌کارهای مختلفی در جهت حل مشکلات زیرحوضه‌های اهل ایمان از جمله جلوگیری از توسعه مناطق مسکونی در مناطق شیب‌دار، مهار تغییر کاربری اراضی، جلوگیری از تصرفات و

با توجه به شکل (۶) در سال ۲۰۱۰ تغییرات شاخص اختلال (DI) به ترتیب با میانگین و انحراف معیار ۱۷۱/۷۷ و ۱۰۹/۷۲ به‌دست آمد. حداقل و حداکثر مقدار آن به ترتیب در زیرحوضه‌های ۳ (با مقدار عددی ۲۶/۱۳) و ۱۱ (با مقدار عددی ۱۷۲/۹۸) به‌دست آمد. شاخص اختلال (DI) در سال ۲۰۱۰ نشان داد که زیرحوضه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ (واقع در شمال و شمال شرق) در طبقه اختلال خیلی کم قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در حوضه اهل ایمان زیرحوضه‌های فاقد درصد قابل توجهی از مراتع و دارای دخالت بیش‌تر انسان نسبت به زیرحوضه‌هایی که دارای اراضی طبیعی هستند از اختلال بیش‌تری برخوردار هستند. در همین راستا، زیرحوضه ۱۱ در طبقه اختلال متوسط و زیرحوضه‌های ۲، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ در طبقه شاخص اختلال کم قرار گرفتند. هم‌چنین، از کل مساحت حوضه اهل ایمان در سال ۲۰۱۰، ۱۲/۶۲٪ ( $11/42 \text{ Km}^2$ ) دارای اختلال خیلی کم، ۸۰/۰۷٪ ( $72/45 \text{ Km}^2$ ) دارای اختلال کم و ۷/۳۱٪ ( $6/61 \text{ Km}^2$ ) دارای اختلال متوسط بوده است.

تغییرات شاخص اختلال (DI) در سال ۲۰۲۰ بین ۳۱/۴۳ تا ۳۹۲/۱۸ به‌دست آمد. حداقل و حداکثر مقدار آن نیز به ترتیب در زیرحوضه‌های ۱ و ۳ (واقع در شمال حوضه) وجود دارد. از کل مساحت حوضه اهل ایمان، به ترتیب ۲۷/۸۳٪ ( $25/18 \text{ Km}^2$ )، ۵۸/۴۳٪ ( $52/87 \text{ Km}^2$ )، ۱۱/۱۷٪ ( $10/11 \text{ Km}^2$ ) و ۲/۵۶٪ ( $2/32 \text{ Km}^2$ ) دارای اختلال خیلی کم، متوسط و خیلی هستند. نتایج تحقیق جوز و همکاران (۱۷)، در ارزیابی اختلال جنگل با استفاده از مدل‌سازی سنج‌های سیمای سرزمین در پناهگاه حیات وحش شندورنی در ایالت کرالا کشور هند نشان داد که ۰/۰۷٪ ( $0/123 \text{ Km}^2$ ) منطقه مورد مطالعه بسیار تکه‌تکه شده است. در تحقیق رستمی‌کیا و همکاران (۳۲)، در بررسی میزان تخریب سطح جنگل در مرز فوقانی جنگل‌های شرق اردبیل به این نتیجه رسیدند که مساحت جنگل‌ها (حاشیه بالادست) از  $53866/2 \text{ ha}$  در سال ۱۳۶۸ به  $49396/2 \text{ ha}$  در سال ۱۳۸۳ کاهش یافته است. به‌عبارتی، در مدت ۱۵ سال،  $4470 \text{ ha}$  تخریب شده که معادل ۰/۵۵٪ است.

تخریب مراتع اتخاذ نمود. هم‌چنین، توصیه می‌شود که فشار و دخالت‌های انسانی از زیرحوضه‌های دارای اختلال زیاد بایستی کاسته شود و مدیریت اصولی و بهره‌برداری مناسب در آن‌ها اتخاذ شود.

### منابع مورد استفاده

1. Abolhasani, M., A. Sotoudeh and P. Parivar. 2020. Remote sensing application for urban landscape assessment in arid regions (case study: Yazd city, Iran). *RS & GIS for Natural Resources* 11(3): 22-39. (In Farsi)
2. Aghaei, M., H. Khavarian and R. Mostafazadeh. 2019. Prediction of land use changes using the CA-Markov and LCM models in the Kozehtopraghi watershed in the province of Ardabil. *Watershed Management Research* 33(3): 91-107. (In Farsi)
3. Ahern, J. and L. Andre, 2003. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 59: 65-93.
4. Alaei, N., R. Mostafazadeh, A. Esmali-Ouri, M. Sharari and Z. Hazbavi. 2019. Assessment and comparison of landscape connectivity in KoozehTopraghi watershed, Ardabil province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8(4): 19-34. (In Farsi)
5. Anissa, M. and E. Eyasu. 2021. Class and landscape level habitat fragmentation analysis in the Balemountains national park, southeastern Ethiopia. *Heliyon* 7: 1-12.
6. Cardille, J.A. and M.G. Turner. 2002. Understanding landscape metrics. In: Gergel, S.E., Turner, M.G. (eds) *Learning Landscape Ecology*. Springer, New York, NY.
7. Debarros, F., Vettorazzi, C., Theobald, D. and M. Ballester. 2005. Landscape dynamics of amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondonia Brazil, assessment and future scenarios. *Forest Ecology and Management* 204(1): 69-85.
8. De Montis, A., B. Martin, E. Ortega and A. Ledda. 2017. Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy* 64: 83-94.
9. Darvishi, A., S. Fakheran, A. Soffianian and M. Ghorbani. 2012. Quantifying landscape spatial pattern changes in the Caucasian Black Grouse (*Tetrao mlokosiewiczzi*) habitat in Arasbaran biosphere reserve. *Iranian journal of applied Ecology* 2(5): 27-38. (In Farsi)
10. Dezhkam, S.S., B. Jabbarian Amiri and A.A. Darvish sefat. 2015. Monitoring the landscape changes using synoptic analysis and satellite images (Case study: Rasht township). *Natural Environment, Natural Resources of Iran* 68(2): 225-238. (In Farsi)
11. Esfandiyari Darabad, F., M. Hamzeei, R. Mostafazadeh, and N. Alaei. 2021. Spatial variations of landscape metrics in riparian area vegetation of Gharehou river reaches under the effect of different land uses, Ardabil province. *Geographical Planning of Space* 10(38): 219-234. (In Farsi)
12. Ghanbari, F. and Sh. Shataee. 2011. Investigation on forest extend changes using aerial photos and ASTER imagery (case study: border forests in south and southwest of Gorgan city). *Wood & Forest Science and Technology* 17(4): 1-18. (In Farsi)
13. Ghosh, A., Madhushree Munshi, G. Areendran and P.K. Joshi. 2012. Pattern space analysis of landscape metrics for detecting changes in forests of Himalayan foothills. *Asian Journal of Geoinformatics* 12(1): 38-50.
14. Hazbavia, Z., N. Parchami, N. Alaei and L. Babaei. 2020. Assessment and analysis of the Koozeh Topraghi watershed health status, Ardabil province, Iran. *Water and Soil Resources Conservation* 9(3): 121-141. (In Farsi)
15. Jafari, Sh., A. Alizadeh Shabani and A. Danekar. 2012. Investigation of structural changes in lake Urmia using landscape metrics. *Wetland Ecobiology* 4: 45-54. (In Farsi)
16. Jafari, F., R. Jafari., H. Bashari. 2017. Assessing the performance of remotely sensed landscape function indices in semi-arid rangelands of Iran. *Rangeland Journal* 39(3): 253-262.
17. Jose, S. K., Alex C. J., Santhosh Kumar, Abin Varghese and G. Madhu. 2011. Landscape metric modeling a technique for forest disturbance assessment in Shendurney wildlife sanctuary. *Environmental Research, Engineering and Management* 4(58): 34-41.
18. Kang, N., T. Sakamoto, J. Imanishi, K. Fukamachi, S. Shibata and Y. Morimoto. 2013. Characterizing the historical changes in land use and landscape spatial pattern on the Ogurake floodplain after the Meiji period. *Intercultural Understanding* 1: 11-16.
19. Kiyani, V. and J. Fegghi. 2015. Investigation of cover/ land use structure of Sefidrod watershed by landscape ecology metrics. *Environmental Science and Technology* 17: 131-141. (In Farsi)
20. Lam, N.S., W. Cheng, L. Zou and H. Cai. 2018. Effects of landscape fragmentation on land loss. *Remote Sensing of Environment* 209: 253-262.



21. Linh, N.H.K., S., Erasmi and M. Kappas, 2012. Quantifying land use/cover change and landscape fragmentation in Danang, Vietnam: 1979-2009. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 8: 501-506.
22. Liu, S., Y. Dong, L. Deng, Q. Liu, H. Zhao and 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(1): 160-168.
23. Matsushita, B., W. Yang, W. Chen, Y. Onda and G. Qiu. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case Study in high-density Cypress forest. *Sensors* 7: 2636-2651.
24. McGarigal, K. and E. Ene. 2013. FRAGSTATS: 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>
25. Mir, M., S. Maleki and V. Rahdari. 2021. Application of landscape ecology in spatio-temporal change detection of arid regions, case study: Sistan plain. *Iranian Journal of Applied Ecology* 10(2): 67-81.
26. Mirzaei, M., A.R., Riahi Bakhtiari, A.R., Salman Mahini and M., GholamaliFard. 2013. Investigation of land cover changes in Mazandaran province using Landscape metrics between 1984- 2010. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2: 37-54. (In Farsi)
27. Mostafazadeh1, R., A. Jafari and F. Keivan-behjou. 2018. Comparing the rangelands structure and degradation of landscape connectivity in Iril sub-watersheds, Ardabil province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 7(1): 41-53. (In Farsi)
28. Nazamejad, H., M. Hosseini and R. Mostafazadeh. 2019. Analysis of land use change in Balangchai watershed using land features. *Geography and Development* 54: 75-90. (In Farsi)
29. Nematollahi, Sh., S. Fakheran, A. Soffianian and S. Pourmanafi. 2016. Incorporating the novel landscape index (spatial road disturbance index) for ecological impacts assessment of roads network (case study: eastern part of Isfahan province). The 2nd International Conference of IALE-IRAN, Isfahan, Iran.
30. Panahandeh, M. and M. Azizi. 2020. Investigation of structural changes in Anzali watershed based on landscape ecology approach. *Natural Environment, Natural Resources of Iran* 73(2): 227-241. (In Farsi)
31. Pirikiya, M., A. Fallah, H. Amirnejad and J. Mohamadi. 2018. The identification and prioritization of criteria and indicators for assessment of multiple ecosystem services using of multi-criteria decision making techniques Entropy and TOPSIS in Darabkola watershed. *Natural Ecosystems of Iran* 9(3): 79-100. (In Farsi)
32. Rostamikia, Y., A. Biguzadeh, K. Mirakhorlu and J. Sharifi. 2013. Estimation of forest degradation in the upper forests of East Ardabil using satellite data. First National Conference on Natural Resources Management, Gonbad Kavous University, 1-9. (In Farsi)
33. Safaei, M., R. Jafari, P. Datta, H. Bashari, D. Pothier and B. Koch. 2021. Spatial scale effect of Sentinel-2, Landsat OLI, and MODIS imagery in the assessment of landscape condition of Zagros mountains. *Geocarto International* 37(18): 5345-5362.
34. Shi, Y., and J. Xiao. 2008. Evaluating landscape changing due to urbanization using remote sensing data: A case study of Shijiazhuang, China. *International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, IEEE Computer Society Washington, DC, USA* 21-22 December, pp.508-511.
35. Wang, Y., G. Bonyng, J. Nugranad, M. Traber, A. Ngusaru, J. Tobey, L. Hale, R. Bowen and V. Makota. 2003. Remote Sensing of Mangrove Change along the Tanzania Coast. *Marin Geodesy* 26 (14): 35-48.

## Spatio-Temporal Changes of Natural Vegetation Disturbance in the Ahle Iman Watershed, Ardabil Province

A. Hemmatzadeh<sup>1</sup>, A. Esmali Ouri<sup>2\*</sup>, R. Mostafazadeh<sup>3</sup>, M. Golshan<sup>4</sup>,  
Z. Hazbavi<sup>5</sup> and N. Alaei<sup>6</sup>

(Received: April 06-2022; Accepted: October 26-2022)

### Abstract

The present study aimed to assess the spatio-temporal changes in the natural vegetation cover of Ahl Iman watershed, Ardabil province. For this purpose, land use maps of the three years (2000, 2010, and 2020) were extracted from Landsat satellite images. Then, seven landscape metrics (patch density, edge density, patch richness, splitting index, contagion index, Euclidean nearest neighbor distance, and mean perimeter–area ratio), Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), and road density were calculated. Finally, the Disturbance Index (DI) was calculated by the sum of the values of the criteria multiplied by their weight in the 11 sub-watersheds. The disturbance index (DI) was classified into very low (0-87), low (88-163), medium (164-239), high (240-315), and very high (>316) categories. Results showed DI of 177.77, 95.17, and 135.07 for the three studied years (2000, 2010, and 2020), representing a moderate, low, and low disturbance respectively. There was no significant difference between the three years in terms of disturbance. Further, the eastern and northern parts had higher disturbance indices compared to the southern and central parts of the watershed.

**Keywords:** Ecological degradation, Index-based approach, Land management, Landscape integrity

1. Graduate Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
3. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
4. Ph.D. of Watershed Management, Natural Resources and Watershed Management Office, Astara, Guilan, Iran.
5. Assistance Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
6. Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: esmaliouri@uma.ac.ir