دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره یازدهم، شماره بیست و سوم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

ارزیابی روند تغییرات لکه‌های گیاهی مراتع نیمه‌استپی با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین

سمانه سادات محزونی کچپی[1]، پژمان طهماسبی[2]*، عطاالله ابراهیمی[2]، برات مجردی[3]، محمد حسن جوری[4]

[1]دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
[2]دانشیار گروه علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
[3] دانشیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
[4] دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

چکیده

الگوی سیمای سرزمین و تغییرات متناظر آن، بازتابی جامع از بوم‌شناسی محیط‌زیست است. فرایندهای اکولوژیکی موجود در مقیاس‌های متفاوت موجب تکه‌تکه شدن و ازهم‌گسیختگی ساختارهای سیمای سرزمین می‌شوند و عامل تغییر در توزیع مکانی و سرنوشت لکه‌های موجود در آن هستند. لکه‌های گیاهی، بخش نسبتا همگنی از سیمای سرزمین هستند که پاسخ متفاوتی به اختلالات طبیعی و اقدامات مدیریتی دارند و گویای پیشینه مدیریت حاکم بر منطقه هستند. استفاده از روش‌های آشکارسازی برای تعیین روند تغییرات الگوی پراکندگی با گذشت زمان در یک اکوسیستم، ضروری به‌نظر می‌رسد. متریک‌های سیمای سرزمین یکی از مهم‌ترین روش‌های آشکارسازی است که زمینه کمی‌سازی ساختار و الگوی مکانی سیمای سرزمین را فراهم می‌کند و ماهیت پراکندگی و توزیع اجزای ساختاری آن را قابل مقایسه می‌سازد. پژوهش حاضر با هدف بررسی روند تغییرات الگوی لکه‌های گیاهی شهرستان بروجن که در یک چشم‌انداز ناهمگن در زاگرس مرکزی واقع شده است، صورت گرفت. بدین منظور از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ استفاده شد و سپس نسبت به طبقه‌بندی در نرم‌افزار Idrisi TerrSet اقدام شد. این امر منجر به تولید نقشه‌های طبقه‌بندی با لکه‌های متنوع و قرارگیری آن‌ها در هفت کلاس متفاوت از نظر جامعه گیاهی شده است. به‌منظور کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین در سطح کلاس، متریک‌های CA، PLAND، ED، TE، ENN-MN و SHAPE-MN با استفاده از نرم‌افزار Fragstats محاسبه شدند. نتایج حاکی از کاهش تخریب و افزایش پایداری لکه‌ها در کلاس‌های *Astragalus verus*، *Astragalus verus-Bromus tomentellus* و *Astragalus verus-Stipa hohenackeriana* است. از طرفی، سیمای سرزمین پوشش یافته توسط کلاس‌های *Bromus tomentellus*، *Bromus tomentellus-Stipa hohenackeriana* و *Stipa hohenackeriana* روند افزایشی داشته که این امر نشان‌دهنده گسترش کلاس‌ها و کاهش ازهم-گسیختگی آن‌ها بوده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که به‌جز کلاس *Bromus tomentellus* که نشان از افزایش پیچیدگی و شکل نامنظم لکه‌های آن است، روند تغییرات سایر کلاس‌ها نزولی بوده و بیانگر ساده‌تر و منظم‌تر شدن شکل لکه‌های هر کلاس در طول بازه زمانی مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: **آشکارسازی تغییرات، بخش نسبتا همگن پوشش گیاهی، ساختار سیمای سرزمین، Fragstats، زاگرس مرکزی**

مقدمه

الگوی سیمای سرزمین و تغییرات متناظر آن، بازتابی جامع از بوم‌شناسی محیط‌زیست در منطقه‌ای خاص است (Heras et al., 2011; Ge et al., 2016; Liang et al., 2020). فرایندهای اکولوژیکی موجود در مقیاس‌های متفاوت مکانی و زمانی منجر به ایجاد ناهمگنی در سیمای سرزمین شده، به‌طوری‌که الگوی ساختار سیمای سرزمین را تغییر می‌دهند. این فرایندها موجب تکه‌تکه شدن و ازهم-گسیختگی ساختارهای سیمای سرزمین می‌شوند و عامل تغییر در توزیع مکانی و سرنوشت لکه‌های موجود در آن

* نویسنده مسئول: pejman.tahmasebi@sku.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

هستند (Liu et al., 2013; Uroy et al., 2021). لذا، مطالعه فرایندها و الگوی سیمای سرزمین یک منطقه می‌تواند وضعیت اکولوژیکی و تغییرات مکانی مربوط به آن را به‌خوبی آشکار کند (Zhu et al., 2020) و اطلاعات مهمی را برای حفاظت و مدیریت اکولوژیک مهیا نماید که این امر منجر به آشکار شدن ترکیب و توزیع فاکتورهای سیمای سرزمین می‌گردد (معرب و همکاران، ۱۴۰۰).

پوشش گیاهی به‌عنوان یک توصیف کننده از سطح زمین که نشان‌دهنده الگوی ترکیبات زیستی و غیرزیستی است، نقش مهمی در مطالعات مراتع ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که به مرور زمان و با تلاقی تاثیرات عوامل گوناگون ازجمله طبیعی و انسانی دچار تغییر شده و دیدگاه‌های بیوفیزیکی مربوط به فاکتورهای در حال تغییر در محیط را با نشان دادن روابط عملکردی بین اجزاء فراهم می‌نماید (Zwiener et al., 2017; Wulder et al., 2018). لکه‌های (Patches) گیاهی، بخش نسبتا همگنی از سیمای سرزمین هستند که از منظر محیطی مرزهای کاملا مشخصی با محیط پیرامون خود دارند و از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت هستند (Liu & Taylor, 2004). این لکه‌ها می‌توانند به‌عنوان یک اکوسیستم قابل تشخیص، پاسخ متفاوتی به اختلالات طبیعی و اقدامات مدیریتی داشته باشند و پویایی زیستی و غیرزیستی اکوسیستم‌ها را نشان دهند (Crow, 2004). بنابراین، گویای پیشینه مدیریت حاکم بر منطقه هستند. امروزه با توجه به اهمیتی که پایش اکوسیستم‌های طبیعی برای نیل به توسعه پایدار پیدا کرده است، شناخت دقیق لکه‌های گیاهی به‌عنوان آمیخته‌ای همگن از ساختار و ترکیب جوامع گیاهی که شرایط رویشگاهی یکسانی را به‌وجود می‌آورند و معیار مناسبی برای بررسی الگوی سیمای سرزمین هستند، اهمیت خاصی یافته و مبنایی برای برنامه‌ریزی پایداری پوشش سیماهای سرزمین هستند (Brown & Havstad, 2016; Xie et al., 2019).

علاوه بر اهمیت داشتن اطلاعات به‌روز از پوشش‌های گیاهی، آگاهی از تغییرات آن در طول دوره زمانی نیز برای برنامه‌ریزان بسیار حائز اهمیت است؛ به‌همین دلیل استفاده از روش‌های آشکارسازی برای تعیین روند تغییرات الگوی پراکندگی با گذشت زمان چه در بعد کمی و چه در بعد کیفی در یک اکوسیستم، ضروری به‌نظر می‌رسد (مختاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Verrelst et al., 2015). از آنجا که تغییرات در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد لذا، فناوری سنجش از دور به‌دلیل تناوب در اخذ تصاویر یک منطقه، قابلیت مشاهده منحصر به‌فرد برای درک چگونگی تغییرات پوشش زمین و در نهایت امکان پردازش و تفسیر سریع داده‌های کسب شده، نقش حیاتی در تشخیص و ارزیابی روند این تغییرات به‌موجب پوشش مکرر سطح زمین ایفا می‌نماید (Mallupattu & Reddy, 2013; Lo & Choi, 2014). لکه‌های گیاهی ساختارهای مکانی پیچیده‌ای را در سیمای سرزمین ناهمگن تشکیل می‌دهند و به‌سبب رفتار طیفی مشابه منجر به کاهش تفکیک‌پذیری بین طبقه‌ای می‌گردند. بنابراین، برای طبقه‌بندی و همچنین ارزیابی تغییرات قبلی و کنترل شرایط فعلی چنین اجتماعات گیاهی ناهمگن، استفاده از داده‌های مربوط به یک دوره زمانی تصاویر ماهواره‌ای کافی ناست (Rodriguez-Galiano et al., 2012; Rocchini et al., 2015). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، امکان مقایسه دو عارضه در مکان مشابه ولی در زمان‌های متفاوت و کنترل تفاوت‌های ناشی از تغییرات در مقادیر و حالات آن‌ها را فراهم می‌نماید (Weng, 2018).

همراه با فناوری ماهواره‌ای در دهه‌های اخیر، الگوریتم‌های متنوعی برای بررسی روند تغییرات پوشش سطح زمین به‌وجود آمده است. متریک‌های سیمای سرزمین یکی از مهم‌ترین این روش‌ها است که زمینه کمی‌سازی ساختار و الگوی مکانی سیمای سرزمین را فراهم می‌کند (Singh & Nathawat, 2019) و ماهیت پراکندگی و توزیع اجزای ساختاری آن را قابل مقایسه می‌سازد (Simova & Gdulova, 2012). در نتیجه بهترین راه برای تحلیل و بررسی تغییرات طی زمان و ابزار مناسبی برای یافتن ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری‌های مختلف سیمای سرزمین است (Fichera et al., 2012). از آنجایی‌که تغییرپذیری در سیستم‌های اکولوژیکی دارای اهمیت به‌سزایی است لذا، لزوم پژوهش‌ها بر ناهمگنی مکانی و تغییرات زمانی برای درک روابط اساسی بین ساختار اکوسیستم‌ها و فرایندهای اکولوژیکی تاکید می‌گردد (Mori et al., 2018; Zhang & Zhang, 2021).

ازجمله پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه آشکارسازی تغییرات و کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین می‌توان به بررسی آقابابایی و همکاران (Aghababaei et al., 2021) اشاره نمود که اظهار داشتند تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

اطلاعات مهمی را برای تشخیص و نقشه‌برداری تیپ‌های گیاهی در یک سیمای ناهمگن فراهم می‌نماید. مطابق با بررسی انجام شده، مهم‌ترین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای لندست، تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش زمین است (Phiri et al., 2018). نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل تکه‌تکه شدن زیستگاه اکوسیستم‌ها در بلیز با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد تکه-تکه شدن رویشگاه‌ها به میزان قابل توجهی صورت گرفته که نشان‌دهنده نوسان در متریک‌ها از قبیل تراکم حاشیه (ED) است (Flowers et al., 2020). مطالعه‌ای که برای ارزیابی امنیت اکولوژیکی و فاکتورهای تاثیرگذار انجام گرفت نشان داد که متریک‌های سیمای سرزمین مهم‌ترین فاکتورهای امنیت اکولوژیکی هستند (Li et al., 2019). محققین به‌منظور ارزیابی تغییر پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و متریک‌های سیمای سرزمین در اسپانیا بیان داشتند که نتایج آن‌ها باعث افزایش تکه‌تکه شدن و در نتیجه تنوع مکانی سیما شده و با استراتژی‌های حفاظت از طبیعت طراحی شده توسط مدیران در طول دوره ارزیابی شده مطابقت دارد (Del Castillo et al., 2015). نتایج مطالعه‌ای در رابطه با ازهم‌گسیختگی اکوسیستم جنگلی در شهر Lincang در جنوب غربی یونان، بر کاهش ارتباطات سیمای سرزمین دلالت داشت (Liu et al., 2014). طبق گزارشی بیان شد هنگامی‌که مقدار مشخصی از مساحت زیستگاه به‌جای اینکه به‌عنوان یک تکه بزرگ باقی بماند، از طریق تکه‌تکه شدن در یک سیمای سرزمین گسترش می‌یابد، این امر موجب تشدید از دست رفتن و جدا افتادن زیستگاه‌ها می‌گردد (Forman et al., 2003). نتایج پژوهشی در بررسی الگوی پوشش زمین در منطقه Uttar Pradesh ایالت هند، حاکی از آن است که استفاده از GIS و متریک‌های سیمای سرزمین الگوی تغییر کلاس‌های مختلف پوشش را در طول زمان در منطقه مورد مطالعه آشکار می‌نماید (Singh & Nathawat, 2019). نتایج تحلیل نقشه‌ها بر مبنای متریک‌های سیمای سرزمین برای ارزیابی مکانی- زمانی چشم‌انداز جنگل و کیفیت اکولوژیکی آن در منطقه Jhargram ایالت بنگال غربی هند نشان می‌دهد کیفیت اکولوژیکی پوشش جنگلی در طول زمان بهبود یافته، در نتیجه عملکرد اکوسیستم را افزایش داده و تنوع زیستی را غنی می‌کند (Mandal & Chatterjee, 2021). معرب و همکاران (۱۴۰۰) نیز ضمن پایش و پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در دوره چهل ساله با مدل زنجیره‌ای مارکوف و با رویکرد الگوی سیمای سرزمین بیان داشتند که با ادامه روند کنونی، تعداد لکه‌ها به‌جز طبقه بایر در سایر طبقات کاهش پیدا خواهد کرد.

آگاهی از تحولات تاریخی لکه‌های گیاهی به‌منظور هدایت الگوهای مکانی عناصر سیمای سرزمین در بهبود مدیریت صحیح پوشش زمین و تصمیم‌گیری بهینه در مناطق مرتبط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Bunyangha et al., 20121). از این‌رو در این پژوهش برای بررسی تغییرات لکه‌های گیاهی از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ استفاده شد تا با تهیه نقشه پوشش گیاهی در منطقه مطالعه شده، به تحلیل و بررسی میزان تکه‌تکه شدگی سیمای سرزمین با استفاده از مجموعه‌ای از متریک‌ها در سطح کلاس پرداخته شود و تاثیر این الگوهای مکانی بر مطلوبیت زیستگاه به‌دست آید.

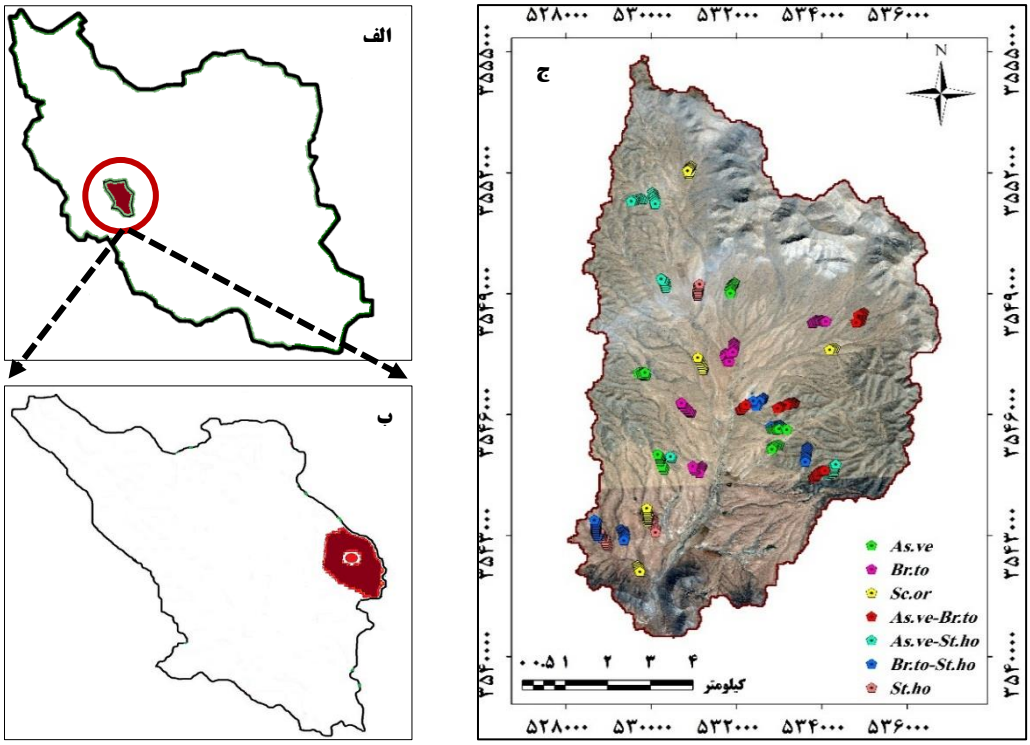
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در یک چشم‌انداز طبیعی از مراتع نیمه-استپی در کوه زاگرس مرکزی در جنوب غربی ایران واقع شده است. این منطقه با مساحتی معادل ۷۷۱۲ هکتار در فاصله ۴/۶۵ کیلومتری شهرستان بروجن در شرق استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. محدوده منطقه بین مدارهای ´۱۷ °۵۱ تا ´۲۳ °۵۱ طول شرقی و ´۰۰ °۳۲ تا ´۳۲ °۰۶ عرض شمالی است که از نظر توپوگرافی عمدتا دشتی بوده، به‌طوری‌که پست‌ترین و بلندترین ارتفاع آن به-ترتیب ۲۲۴۸ و ۲۳۷۳ متر از سطح دریا است (شکل ۱). همچنین این منطقه به‌عنوان آب و هوای معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان سرد طبقه‌بندی می-شود که متوسط بارش سالانه ۲۵۳ میلی‌متر (بیشتر در زمستان و اوایل بهار) و متوسط دمای سالانه نیز ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد است. در این منطقه واحدهای مدیریتی مختلفی وجود دارد که در فصول بهار و تابستان هر سال تحت چرای متوسط حدود ۴۵۰۰ رأس واحد دامی کوچک قرار دارد. فصل چرا یک دوره ۱۲۰ روزه از اول خرداد و در بعضی از سال‌ها از ۱۵ اردیبهشت شروع و تا ۱۵ شهریور ادامه می‌یابد. با وجود پایین بودن میانگین بارندگی سالانه، به‌دلیل عملیات مدیریتی مناسب، قسمت اعظم منطقه دارای

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

پوشش گیاهی مناسبی نظیر گندمیان چندساله و بوته‌ای‌ها است. آنچه در این منطقه نمود بارز دارد، لکه‌های گیاهی است که ناشی از تفاوت در خصوصیات رفتاری گیاهان است و به‌دلیل وجود اکوتون‌های باریک بین آن‌ها، به‌راحتی در سطح منطقه قابل مشاهده هستند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در الف: ایران و ب: استان چهارمحال و بختیاری. ج: توزیع نقاط نمونه‌برداری در هر یک از لکه‌های گیاهی

(***As.ve***=*Astragalus verus*, ***Br.to***=*Bromus tomentellus*, ***Sc.or***=*Scariola orientalis*, ***As.ve-Br.to***=*Astragalus verus-Bromus tomentellus*, ***As.ve-St.ho***=*Astragalus verus-Stipa hohenackeriana*, ***Br.to-St.ho***=*Bromus tomentellus-Stipa hohenackeriana*, ***St.ho***=*Stipa hohenackeriana*)

روش تحقیق

اندازه‌گیری میدانی از لکه‌های گیاهی

به‌منظور شناسایی لکه‌های گیاهی، داده‌های پوشش تاجی را می‌توان به‌طور بالقوه از نظر ساختار، ترکیب و یا ترکیبی از هر دو مورد، به‌عنوان طبقه‌بندی فیزیونومیک-فلورستیک مورد استفاده قرار داد. بدین منظور، از هر نوع لکه گیاهی ۴ الی ۵ لکه که توزیع مناسبی در سطح منطقه داشتند از طریق بررسی میدانی برای آماربرداری انتخاب شدند. سپس در هر لکه (بسته به اندازه هر لکه) ابتدا ۵ الی ۱۰ ماکروپلات ۳۰×۳۰ مترمربعی به‌طور تصادفی-سیستماتیک مستقر شد. نمونه‌برداری از پوشش تاجی به تفکیک فرم رویشی با استفاده از ۳ پلات ۲×۲ مترمربعی در هر ماکروپلات مطابق با زمان اوج رشد حداکثر گونه‌های گیاهی انجام شد (Tahmasebi et al., 2017). سپس میانگین درصد پوشش گونه‌های گیاهی برآورد شده در محدوده هر یک از لکه‌های گیاهی محاسبه شد. در نهایت گونه‌های گیاهی غالب هر لکه مشخص و سپس گونه‌های همراه آن، با داشتن ۵۰ درصد و یا بیشتر از پوشش گونه غالب ماقبل آن تعیین شد. بدین ترتیب نام‌گذاری هر لکه بر مبنای روش فلورستیک صورت گرفت.

انتخاب داده‌های سری زمانی (Time series datasets)

به‌منظور آشکارسازی و پایش روند تغییرات پوشش گیاهی مرتعی، تصاویر سری زمانی ماهواره لندست به‌عنوان منبع اصلی پردازش، مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر شامل داده‌های چندطیفی لندست ۵ (سنجنده TM) برای سال اول (۱۹۹۰) و لندست ۸ (سنجنده OLI) برای سال دوم (۲۰۱۹) است. برای این منظور، تصاویر مربوط به ماه-های می و ژوئن که نشان‌دهنده یک اوج در توسعه فنولوژی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

برای اکثریت لکه‌های گیاهی موجود در منطقه مورد مطالعه است، از ردیف ۳۸ و گذر ۱۶۴ با درجه ابرناکی کمتر از ۱۰ درصد از سایت سازمان فضایی اروپا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه شدند. سنجنده‌های این ماهواره با ارائه تصاویری با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای چندطیفی (Bande et al., 2018) از سطح زمین و مناطق قطبی، در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه و طیف مادون قرمز حرارتی به‌کار گرفته می‌شوند. لذا، برای تهیه نقشه لکه‌های گیاهی مربوط به دوره مورد بررسی با فاصله زمانی ۳۰ سال، از باندهای ۷-۱ ماهواره لندست ۵ و باندهای ۷-۲ ماهواره لندست ۸ به‌عنوان بهترین ترکیب باندی استفاده شد.

الگوریتم مورد استفاده در فرایند طبقه‌بندی لکه‌های گیاهی

پس از انتخاب تصاویر سری زمانی برای دوره تعیین شده، الگوریتم طبقه‌بندی درختی (Classification Tree Analysis) به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های یادگیری ماشین انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت (Aghababaei et al., 2021). این الگوریتم یک روش ناپارامتری است (Breiman et al., 1984) که با تفکیک متوالی داده‌ها در هر میانگره به میانگره‌های جدید بر مبنای پیکسل‌های تعلیمی پیش می‌رود. یک میانگره جدید ممکن است در حالتی که پیکسل‌های تعلیمی حاوی تنها یک کلاس است یا غالبیت پیکسل‌ها با یک کلاس است، ایجاد یک برگ نماید. زمانی‌که دیگر میانگره‌ای برای انشعاب وجود ندارد، قواعد نهایی طبقه‌بندی درختی شکل می‌گیرد. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی داده‌های آموزشی را جدا می‌کند تا زیرمجموعه‌های همگن را تشکیل دهد که منجر به یک درخت سلسله مراتبی می‌گردد. یکنواختی نمونه‌ها در تمامی گره‌ها تابعی از معیار عدم خلوص است. با توجه به اینکه نرم‌افزار Idrisi TerrSet سه روش انشعاب شامل آنتروپی، نسبت بهره و شاخص جینی را به‌عنوان معیار عدم خلوص به‌کار می‌برد، لذا در این مطالعه از روش طبقه‌بندی درختی با انشعاب جینی که مهم‌ترین و پرکاربردترین اندازه عدم خلوص است (Yoneyama et al., 2002) و منجر به ایجاد همگن‌ترین دسته در میان سری داده‌ها می‌گردد، برای تهیه نقشه لکه‌های گیاهی استفاده شد.

فرایند طبقه‌بندی لکه‌های گیاهی

پس از شناسایی لکه‌های گیاهی غالب در منطقه، به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر، نمونه‌های کنترل زمینی به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات، از هر گروه از لکه‌های گیاهی در طی عملیات میدانی و به‌صورت تصادفی ثبت شدند. در مرحله بعد تفکیک نمونه‌ها به دو گروه داده‌های آموزشی و آزمایشی انجام گرفت که از پراکندگی مناسبی در سطح تصاویر برخوردار هستند (Lillesand & Kiefer, 1994). بدین صورت که قسمتی برای انجام طبقه‌بندی (۴۰٪ نمونه‌ها) و بخشی دیگر برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از طبقه‌بندی (۶۰٪ نمونه‌ها) تقسیم شدند. پس از مشخص نمودن ویژگی‌های تصاویر و تعیین باندهای مناسب برای انجام طبقه‌بندی، داده‌های آموزشی هر یک از کلاس‌ها به الگوریتم طبقه‌بندی معرفی شدند. در نهایت، الگوریتم طبقه‌بندی به‌صورت نظارت شده و با تعیین ۷ کلاس اعمال گردید. بدین ترتیب نقشه لکه‌های گیاهی مربوط به سال‌های منتخب در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ استخراج شد و دقت آن‌ها با استفاده از داده‌های آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی دقت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی لکه‌های گیاهی

برای کسب اطمینان از دقت نقشه‌های متعلق به هر سال، نتایج به‌صورت ماتریس خطا که حاصل تلاقی پیکسل‌های معلوم در واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی است، ارائه شد. اعداد موجود در سطرهای ماتریس نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های هر کلاس برای نقشه به‌دست آمده از الگوریتم طبقه‌بندی و ستون‌ها بیانگر تعداد پیکسل‌ها برای داده‌های جمع‌آوری شده در عملیات میدانی است. قطر اصلی ماتریس نشان‌دهنده پیکسل‌هایی است که به‌درستی طبقه‌بندی و به کلاس مورد نظر الحاق شده‌اند، درحالی‌که مقادیر موجود در بخش‌های دیگر ماتریس به‌عنوان پیکسل‌های خطا در طبقه‌بندی هستند. از آنجا که ماتریس خطا عملکرد نقشه‌های طبقه‌بندی شده را بر اساس نمونه‌های اعتبارسنجی فراهم می‌نماید لذا در مطالعه حاضر، دقت تولید کننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه گردید که هر کدام اطلاعات متفاوتی را ارائه می‌دهند (Jia et al., 2014).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

تجزیه و تحلیل تغییرات لکه‌های گیاهی با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین

لازمه آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی، تشخیص میزان، موقعیت و روند تغییرات اتفاق افتاده طی دوره زمانی در منطقه مورد مطالعه است. متریک‌های سیمای سرزمین، الگوریتم‌هایی به‌منظور تعیین کمیت ویژگی‌های ساختاری هستند که می‌توانند برای شناخت تغییرات وضعیت سیمای سرزمین در طول زمان مورد استفاده قرار گیرند (Botequila Leitao et al., 2006) و ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری‌های مختلف را بیان نمایند. برای بررسی ساختار مکانی و تجزیه و تحلیل متریک‌های مختلف لکه‌های تشکیل دهنده سیمای سرزمین، از نرم‌افزار Fragstats استفاده شد (McGarigal et al., 2012; Paudel & Yuan, 2012). با توجه به اینکه هر تصویر محدوده‌ای از سیمای سرزمین مورد مطالعه است که چیدمان لکه‌ها را نشان می‌دهد لذا، نقشه‌های مربوط به سال‌های مختلف که بر اساس نوع پوشش طبقه‌بندی گردید به نرم‌افزار وارد شد. سپس متریک‌های مرسوم (در سطح کلاس) مورد محاسبه قرار گرفتند و تجزیه و تحلیل تغییرات بر اساس آن‌ها انجام شد (Fan et al., 2007; Szabó et al., 2012; Kumar et al., 2018) (جدول ۱).

جدول ۱- فهرست متریک‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در این مطالعه

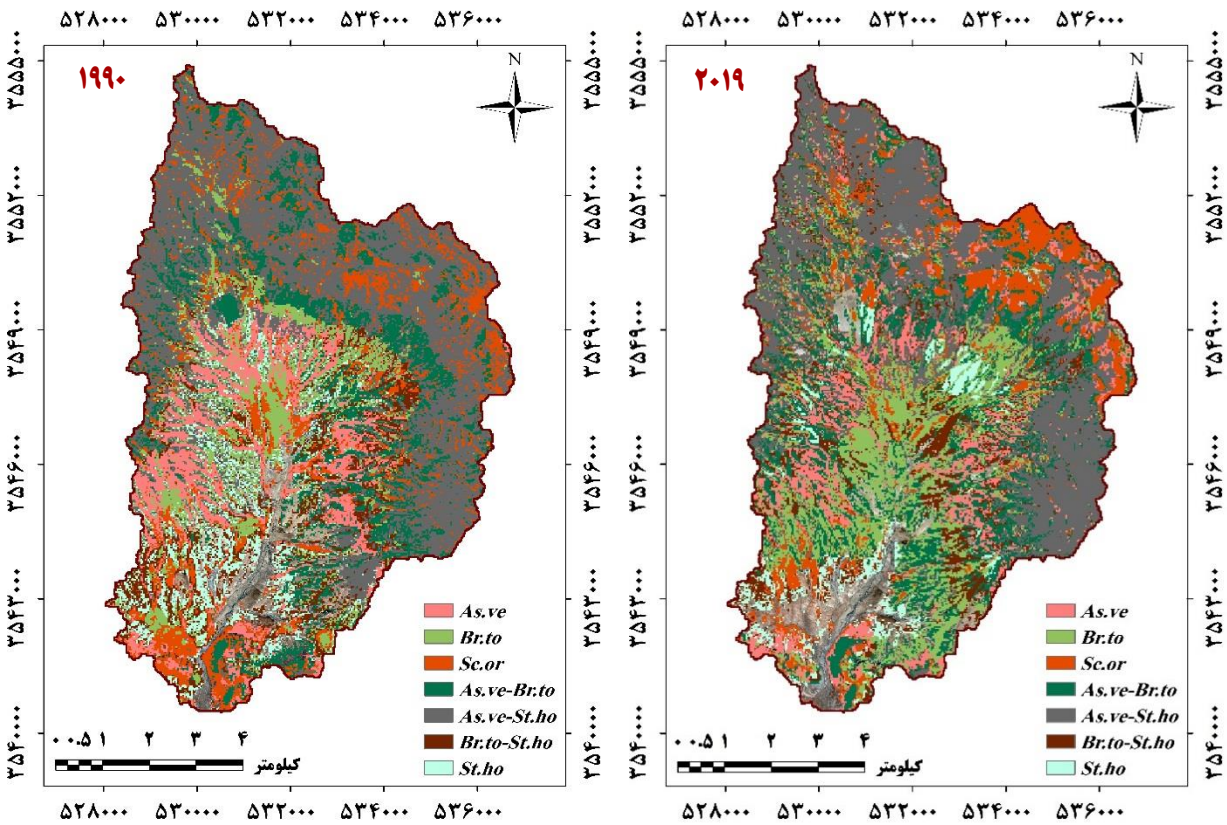
الگوی اکولوژیکی سیمای سرزمین	متریک‌های سیمای سرزمین	علامت اختصاری	واحد	مفهوم
مساحت	Class Area	CA	هکتار	مجموع مساحت لکه‌های یک نوع پوشش
	Percentage of Landscape	PLAND	درصد	نسبت درصد مساحت هر کلاس در سطح سیمای سرزمین
حاشیه	Edge Density	ED	متر در هکتار	محیط هر کلاس تقسیم بر سطح آن
	Total Edge	TE	متر	طول کل حاشیه‌ها در یک کلاس
جدا افتادگی	Euclidean Nearest Neighbor Distance Distribution (MN)	ENN-MN	متر	فاصله کوتاه‌ترین خط مستقیم بین لکه مورد نظر و نزدیک‌ترین همسایه از کلاس مشابه
شکل	Shape Index Distribution (MN)	SHAPE-MN	-	پیچیدگی شکل لکه در مقایسه با شکل استاندارد

نتایج

طبقه‌بندی و ارزیابی دقت نقشه‌های لکه‌های گیاهی

پس از انتخاب تصاویر سری زمانی، با به‌کارگیری الگوریتم طبقه‌بندی درختی، نقشه لکه‌های گیاهی استخراج گردید. این امر منجر به شناسایی و تفکیک ۷ نوع لکه گیاهی در منطقه مورد مطالعه شد که شامل *Astragalus verus*، *Bromus tomentellus*، *Scariola orientalis*، *Astragalus verus-Bromus tomentellus*، *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana*، *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana* و *Stipa hohenikeriana* هستند. شکل ۲ نقشه لکه‌های گیاهی تهیه شده، متعلق به سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. مشاهده نقشه‌های مختلف حاکی از آن است که تعداد لکه-های گیاهی در منطقه بسیار زیاد و در تکه‌های کاملا مجزایی با اندازه‌های متفاوت نشان داده شده است که هر کدام از این لکه‌ها متناظر با یک نوع پوشش معین زمینی است.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



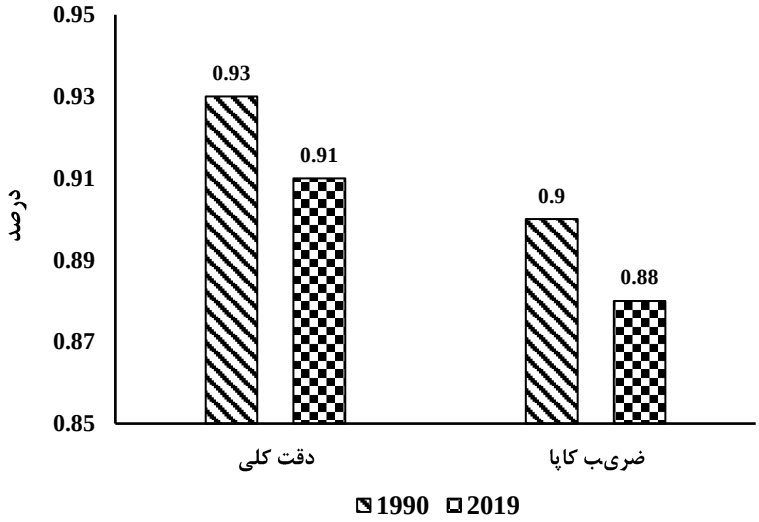
شکل ۲- نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی لکه‌های گیاهی

به‌منظور کسب اطمینان از درستی طبقه‌بندی نقشه‌ها، ماتریس خطایی با استفاده از نقاط کنترل زمینی و تصاویر طبقه‌بندی شده استخراج گردید. نتایج نشان داد که دقت تولیدکننده برای کلاس‌های مختلف لکه‌های گیاهی بین ۰/۸۳ تا ۰/۹۶ درصد متغیر بوده است. به‌طوری‌که بیشتر کلاس‌های مورد مطالعه از دقت تولید کننده بالای ۰/۹۰ درصد برخوردار هستند. همچنین بالاترین دقت کاربر متعلق به کلاس *Astragalus verus* با دقت ۰/۹۸ درصد است. سایر کلاس‌ها نیز دارای دقت کاربر قابل توجهی بوده‌اند. چنانکه ملاحظه می‌گردد اکثر کلاس‌های گیاهی با غالبیت یک گونه دارای دقت تولیدکننده و دقت کاربر بالاتری در مقایسه با کلاس‌های گیاهی با غالبیت دو گونه هستند (جدول ۲). نتایج مطالعه همچنین نشان داد که مقدار دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ به‌ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۱ درصد و مقدار ضریب کاپای کل برای هر دو سال برابر با ۰/۹۰ و ۰/۸۸ است که نشان‌دهنده میزان دقت در سطح مطلوب است (شکل ۳). در مجموع مقادیر مشاهده شده در کلاس‌های تولید شده گویای آن است که جداسازی لکه‌های مختلف گیاهی با صحت بالایی انجام گرفت.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

جدول ۲- نتایج آنالیز ماتریس خطای نقشه‌های لکه‌های گیاهی

کلاس‌های مختلف لکه‌های گیاهی	سال ۱۹۹۰		سال ۲۰۱۹	
	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر
Astragalus verus	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۴
Bromus tomentellus	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۹۵
Scariola orientalis	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۸۶
Astragalus verus-Bromus tomentellus	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۸۹
Astragalus verus-Stipa hohenackeriana	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۰
Bromus tomentellus-Stipa hohenackeriana	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۵
Stipa hohenackeriana	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۵



شکل ۳- مقادیر ارزیابی صحت پردازش نقشه‌های لکه‌های گیاهی

تجزیه و تحلیل تغییرات متریک‌های سیمای سرزمین

مبنای محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین، نقشه‌های استخراج شده از لکه‌های گیاهی در سطح کلاس است. پس از تهیه نقشه‌ها، آشکارسازی تغییرات که شامل افزایش و یا کاهش هر کلاس طی دوره زمانی مورد مطالعه بود، انجام گرفت. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، تغییرات قابل توجهی در تمام کلاس‌های لکه‌های گیاهی در طول دوره انتخابی اتفاق افتاده است.

نتایج نشان می‌دهد متریک CA که به مساحت لکه‌ها مربوط می‌شود، برای اکثر کلاس‌ها در طول دوره مورد مطالعه کاهش یافت. به‌طوری‌که مساحت کلاس *As.ve* در بازه زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ به‌ترتیب ۱۱۳/۹۵ و ۷۷/۳۰ هکتار بوده است. از طرف دیگر، مساحت کلاس *Br.to* طی سال‌های مورد بررسی با روند صعودی مواجه بوده و به‌ترتیب از ۷۷/۹۶ در سال ۱۹۹۰ به ۱۱۲/۹۷ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. کلاس *Sc.or* در سال ۱۹۹۰ مساحتی معادل ۹۹/۴۰ هکتار را به خود اختصاص داده است و در سال ۲۰۱۹ به میزان ۳۴/۰۲ هکتار کاهش یافته است. کلاس *As.ve-Br.to* و *As.ve-St.ho* نیز روند کاهشی را در این متریک طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهند. کلاس *Br.to-St.ho* با افزایشی دوباره از ۴۷/۴۳ در سال ۱۹۹۰ به ۶۱/۰۷ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. در مورد کلاس *St.ho* این متریک روند کاهشی ملایمی را نشان می‌دهد.

طبق نتایج متریک PLAND، مشاهده می‌شود که سیمای سرزمین پوشش یافته توسط کلاس *As.ve* برای سال‌های مورد بررسی از ۲۲/۷۶ به ۲۱/۶۹ درصد رسیده است. درحالی‌که درصد کلاس *Br.to* به‌ترتیب ۱۵/۵۷ و ۳۱/۷۱ بوده است که روند افزایشی را طی دوره زمانی مورد مطالعه در سیمای سرزمین نشان می‌دهد. همچنین مقادیر این متریک برای کلاس‌های *Sc.or*، *As.ve-Br.to* و *As.ve-St.ho* از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ کاهش یافته است که بیشترین میزان تغییرات متعلق به کلاس *As.ve-Br.to*

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

است. کلاس‌های *Br.to-St.ho* و *St.ho* نیز به‌طور واضحی با افزایش متریک مذکور همراه بوده‌اند، این امر نشان‌دهنده گسترش کلاس‌ها و کاهش ازهم‌گسیختگی آن‌ها بوده است.

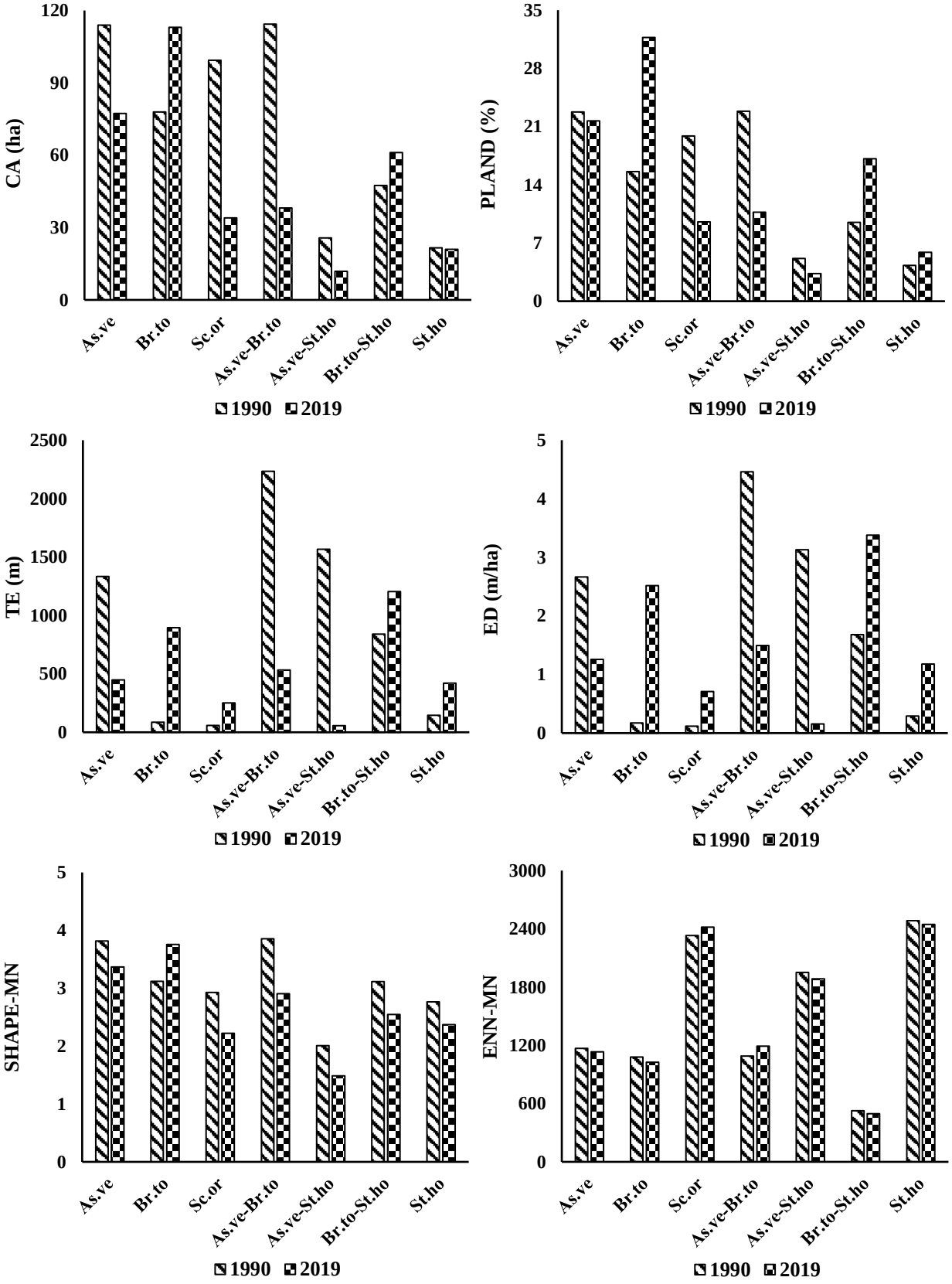
نوسان متریک تراکم حاشیه (ED) که نشان‌دهنده تخریب و تغییر شکل لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین است، کاهش عمده‌ای در ناهمگنی مکانی چشم‌انداز ایجاد می‌کند. این متریک در مورد کلاس *As.ve* روند کاهشی را نشان می‌دهد. از طرفی، کلاس‌های *Br.to* و *Sc.or* حاکی از افزایش متریک تراکم حاشیه در طول دوره مورد مطالعه است. کلاس *As.ve-Br.to* در سال ۱۹۹۰ برابر با ۴/۴۶ بود که تا پایان سال ۲۰۱۹ به ۱/۴۹ متر در هکتار کاهش یافت. به‌طور مشابه، کاهش مقادیر این متریک برای کلاس *As.ve-St.ho* نیز اتفاق افتاده است. نتایج همچنین نشان داد که کلاس‌های *Br.to-St.ho* و *St.ho* با روند فزاینده متریک در سطح سیمای سرزمین روبرو بوده است. بنابراین، افزایش مقادیر تراکم حاشیه نشان می‌دهد که تخریب و تغییر شکل لکه‌ها در حال تشدید بوده و ناپایداری لکه‌ها را به‌همراه دارد.

نتایج بررسی متریک TE نشان می‌دهد مقدار این متریک که بیانگر طول کل حاشیه‌ها در هر یک از کلاس‌ها است ارتباط مستقیمی با متریک ED دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد در مورد کلاس‌های *As.ve*، *As.ve-Br.to* و *As.ve-St.ho* شاهد روند کاهشی طی سال‌های مورد بررسی در سطح سیمای سرزمین هستیم؛ به‌طوری‌که بیشترین کاهش طول حاشیه‌ها مربوط به کلاس *As.ve-Br.to* بوده است. درحالی‌که این موضوع در مورد سایر کلاس‌ها منجر به افزایش مقادیر این متریک شده است که نشان‌دهنده نرخ رشد هر یک از کلاس‌ها در طول سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ است.

متریک ENN، بیان‌کننده فاصله کوتاه‌ترین خط مستقیم بین لکه مورد نظر و نزدیک‌ترین همسایه از کلاس مشابه است. با بررسی و تجزیه و تحلیل متریک میانگین فاصله اقلیدوسی بین لکه‌ها، مشاهده می‌شود که تفاوت در مقادیر این مشخصه برای لکه‌های موجود در هر کلاس طی دوره زمانی مورد مطالعه مشهود است. این متریک برای کلاس *As.ve* و *Br.to* دست‌خوش کاهش شده است. این درحالی است که کلاس‌های *Sc.or* و *As.ve-Br.to* نشان از روند افزایشی متریک مذکور هستند. از طرفی، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان این متریک در مورد کلاس‌های *As.ve-St.ho*، *Br.to-St.ho* و *St.ho* به‌ترتیب با مقادیر ۱۸۸۳/۸۸، ۴۹۶/۴۶ و ۲۴۴۶/۴۵ روند کاهشی پیدا کرده است؛ به‌طوری‌که کلاس *St.ho* بالاترین حد متریک را در بین کلاس‌ها به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی متریک فاصله اقلیدوسی نزدیک‌ترین همسایه در بین لکه‌های کلاس‌های مختلف نشان داد که هر چه تعداد و تراکم لکه‌های مختلف هر کلاس بیشتر باشد، میانگین فواصل نزدیک‌ترین همسایه کمتر خواهد بود.

متریک دیگر مورد بررسی، میانگین شکل (SHAPE-MN) است که نشان‌دهنده پیچیدگی شکل لکه‌ها در انواع کلاس‌ها در مقایسه با یک شکل استاندارد (مربع) طی سال‌های مورد مطالعه است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد به‌جز کلاس *Br.to* که نشان از افزایش پیچیدگی و شکل نامنظم لکه‌های آن در بازه مورد بررسی است، تغییرات سایر کلاس‌های گیاهی را می‌توان یک روند نزولی در نظر گرفت. نتایج نشان می‌دهد بیشترین تغییر متریک میانگین شکل برای کلاس *As.ve-Br.to* رخ داده است، به‌گونه‌ای که از حدود ۳/۸۵ در سال ۱۹۹۰ به مقدار ۲/۹۰ در سال ۲۰۱۹ کاهش یافت. به‌طور کلی روند کاهشی تغییرات این متریک در طول بازه زمانی مورد ارزیابی، مؤید ساده‌تر شدن و منظم‌تر شدن شکل لکه‌های هر کلاس در سطح سیمای سرزمین است.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]



شکل ۴- نمودارهای تشریح کننده روند تغییر متریک‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

بحث و نتیجه‌گیری

فرایندهای اکولوژیکی و زیستی موجود در مقیاس‌های متفاوت منجر به ایجاد ناهمگنی در سیمای سرزمین شده، به‌طوری‌که الگوی ساختار سیمای سرزمین را تغییر می‌دهند. این فرایندها موجب تکه‌تکه شدن و ازهم-گسیختگی ساختارهای سیمای سرزمین می‌شوند و عامل تغییر در توزیع مکانی و سرنوشت لکه‌های موجود در آن هستند (Liu et al., 2013; Uroy et al., 2021). بنابراین مطالعه فرایندها و درک چگونگی تغییرات مکانی و زمانی الگوی سیمای سرزمین، نقش مهمی در مدیریت برنامه‌های ارزیابی و پایش محیطی داشته و می‌تواند برای به‌حداقل رساندن تغییرات و اثرات نامطلوب تعاملات پیچیده فعالیت‌های انسانی و عوامل محیطی بر پایداری جامعه گیاهی کمک نماید (Dzieszko, 2014).

نتایج تحلیل نقشه‌ها با رویکرد متریک‌های سیمای سرزمین نشان داد خصوصیات مکانی هر یک از کلاس‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه دست‌خوش تغییر شده است. همان-طور که ملاحظه می‌گردد، متریک‌هایی نظیر CA و PLAND که به مساحت لکه‌ها مربوط می‌شوند در مورد کلاس *Br.to* و *Br.to-St.ho* با روند صعودی مواجه بوده‌اند. بررسی نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که کلاس‌های مذکور بیشترین میزان پوشش منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. گونه‌های گیاهی موجود در این کلاس‌ها، از نوع گراس‌های چندساله بوده که با پراکندگی در مناطق هموار قابل مشاهده هستند. پایین بودن وسعت این کلاس‌ها با غالبیت گندمیان در اوایل دوره، گویای آن است که این-گونه جوامع گیاهی به‌دلیل خوشخوراکی قبل از کامل شدن دوره رشد مورد چرا واقع شده که موجب کاهش درصد پوشش آن‌ها گردید (Roshan & Heydari, 2014). درحالی‌که بعد از سی سال به‌دلیل اجرای سیاست‌های مدیریتی مناسب و جلوگیری از فعالیت‌های مخرب نظیر چرای شدید و شخم اراضی، پوشش گیاهی منطقه بهبود یافته که نشان‌دهنده روند صعودی توالی گیاهی است. افزایش تعداد و تراکم لکه‌ها به موازات افزایش مساحت این نوع کلاس‌ها، بیانگر گسترش سطح کلاس‌ها و کاهش ازهم-گسیختگی آن‌ها بوده است. افزایش مساحت لکه‌ها احتمال افزایش کیفیت آن‌ها را بالا می‌برد که از آن به‌عنوان شرایط استقرار گونه‌ای نام می‌برند؛ به‌طوری‌که لکه‌های بزرگ‌تر به-دلیل وجود زیستگاه مطلوب‌تر و کاهش رقابت درون و بین گونه‌ای پذیرای گونه‌های بیشتری از اطراف هستند و شرایط زیستی مناسب‌تری را برای آن‌ها فراهم می‌نمایند. همچنین در لکه‌های زیستگاهی با مساحت بیشتر امکان ایجاد ناهمگنی‌های محیطی زیادتر شده و شرایط استقرار به‌دلیل افزایش اختلافات آشیانه‌ای مهیا می‌گردد (Rodrıguez-Loinaz et al., 2012; Ghandali et al., 2014). نتایج به‌دست آمده از این بخش بیانگر کارایی متریک‌های مربوط به مساحت کلاس‌ها در بررسی و تحلیل تغییرات است که با یافته‌های به‌دست آمده از تحقیقات سینق و ناتاوات (Singh & Nathawat, 2019)، آقابابایی و همکاران (Aghababaei et al., 2021) و محزونی و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارد.

از دیگر متریک‌های سیمای سرزمین که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند متریک ED و TE هستند که برای کمی‌سازی اثر حاشیه کاربرد داشته و نشان‌دهنده تخریب و تغییر شکل لکه‌ها در هر یک از کلاس‌ها هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد در مورد کلاس‌های *As.ve*، *As.ve-Br.to* و *As.ve-St.ho* شاهد روند کاهشی طی سال‌های مورد بررسی در سطح سیمای سرزمین هستیم؛ درحالی‌که این موضوع در مورد سایر کلاس‌ها منجر به افزایش مقادیر متریک‌ها شده است. اثر حاشیه‌ای تعیین‌کننده نرخ مهاجرت و پراکندگی گونه‌ها در طی زمان است، به‌گونه‌ای که قادر به تغییر الگوی اکولوژیکی در سیمای سرزمین است (De Sanctis et al., 2010). با افزایش تراکم حاشیه و میزان حاشیه کل لکه‌های موجود در کلاس‌های *Br.to*، *Sc.or*، *Br.to-St.ho* و *St.ho* پیچیدگی شکل لکه‌ها افزایش یافته و احتمال سرایت برخی از اختلالات از قبیل شخم اراضی، چرای بی‌رویه و مواردی از این دست به‌همراه افزایش ناهمگنی محیطی، منجر به ایجاد ازهم‌گسیختگی و افزایش نواحی مرزی شده است. در نتیجه فضای کمتری برای گونه‌ها فراهم می‌شود تا بین لکه‌ها مهاجرت کرده و استقرار یابند. از طرف دیگر، کاهش متریک تراکم حاشیه و حاشیه کل در کلاس‌های *As.ve*، *As.ve-Br.to* و *As.ve-St.ho* که اکثر گونه‌های موجود در آن‌ها بوته‌ای‌های غیر خوش‌خوراک بوده و در آبراهه‌های مناطق مسطح و همچنین شیب‌ها گسترش می‌یابند، بیانگر آن است که تخریب و تغییر شکل لکه‌ها در حال کاهش است که حاکی از اعمال فعالیت‌های مدیریتی مناسب برای حفاظت از پوشش گیاهی منطقه و انسجام و پیوستگی زیستگاه است.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

این موضوع به‌همراه کاهش ناهمگنی محیطی حاصل از آن، پیچیدگی شکل لکه‌ها را کاهش می‌دهد. بنابراین، چندضلعی‌هایی که نشان‌دهنده کلاس‌های مذکور هستند منظم است و پایداری لکه‌ها را به‌همراه دارد که به امنیت بیشتر این کلاس‌ها برای گونه‌های درون زیستگاه کمک می‌نماید. نتایج حاصل از این تحقیق در خصوص اثر حاشیه با یافته‌های لی و همکاران (Li et al., 2019)، فلاورز و همکاران (Flowers et al., 2020) و معرب و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارد.

نتایج به‌دست آمده از بررسی متریک ENN-MN نشان می‌دهد میزان این متریک برای کلاس‌های *Sc.or* و *As.ve-Br.to* در طی بازه زمانی مورد ارزیابی دست‌خوش افزایش شده است. این درحالی است که کلاس‌های *As.ve*، *Br.to*، *As.ve-St.ho*، *Br.to-St.ho* و *St.ho* نشان‌دهنده روند کاهشی متریک مذکور هستند. متریک فاصله اقلیدوسی نزدیک‌ترین همسایه، نمایان‌گر دور افتادن لکه‌های همنوع یا دارای شباهت اکولوژیکی از یکدیگر است. همان‌گونه که محاسبه شد، این مقادیر برای کلاس‌های *As.ve*، *Br.to*، *As.ve-St.ho*، *Br.to-St.ho* و *St.ho* نسبتا پایین است و این موضوع نشان می‌دهد که الگوی پراکنش لکه‌های مختلف در این کلاس‌ها که بازتابی از فرایندهای طبیعی و یا نتیجه عملکرد انسانی است، نزدیک به‌هم بوده و به‌صورت منظم و تقریبا یکنواخت در سیمای سرزمین توزیع یافته‌اند. بنابراین، هرچه لکه‌ها در فاصله کمتری از هم قرار گرفته باشند، از لحاظ زیست‌محیطی نامناسب‌تر است با این تحلیل که آشیان اکولوژیک گونه‌های گیاهی و جانوری در آن‌ها محدود شده و گونه‌ها دچار تنش می‌گردند و همچنین آثار نامطلوب جوی نظیر توفان، آتش‌سوزی و غیره بر روی کلاس‌ها بیشتر می‌گردد. از سوی دیگر، این نوع لکه‌ها که در نزدیکی سایر لکه‌های همنوع قرار دارند، دارای شانس بیشتری برای بازیابی جمعیت‌های از دست رفته نسبت به لکه‌های منزوی و جدامانده هستند. نتایج تحقیق حاضر همچنین حاکی از آن است که با افزایش میزان فاصله لکه‌ها از یکدیگر در کلاس‌های *Sc.or* و *As.ve-Br.to* تنها گونه‌هایی که مقاوم‌تر به شرایط این نوع لکه‌ها هستند، توان ماندگاری و حفظ جمعیت خود را دارند (Flick et al., 2012). گونه‌های موجود در کلاس *Sc.or* از نظر اکولوژیکی مهاجم هستند و بیشتر در مناطقی که پوشش گیاهی به‌دلیل خاک‌ورزی و عملیات شخم از بین رفته است، نمود پیدا می‌کنند. با توجه به اعمال مدیریت مناسب ازجمله ممانعت از شخم اراضی در بازه زمانی مورد مطالعه، تعداد و تراکم لکه‌ها کمتر و میانگین فواصل لکه‌ها افزایش یافته است؛ لذا این افزایش فاصله به‌سبب دوری آن‌ها از لکه‌های همنوع منجر به دشواری ارتباط میان آن‌ها و کاهش پایداری لکه‌ها در طی زمان در مواجهه با رخدادهای طبیعی می‌گردد. نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر با پژوهش‌های مندال و چاترجی (Mandal & Chatterjee, 2021) و عسگریان و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد.

نتایج بررسی متریک SHAPE-MN حاکی از آن است که به‌جز کلاس *Br.to*، تغییرات سایر کلاس‌های گیاهی را می‌توان یک روند نزولی در طول بازه زمانی مورد بررسی در نظر گرفت. شاخص شکل مربوط به ویژگی‌های هندسی لکه‌ها در انواع کلاس‌ها است که ممکن است ساده و فشرده یا نامنظم و پیچیده باشد. چنانکه ملاحظه می‌شود روند کاهشی تغییرات این متریک با گذشت زمان در منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده ساده‌تر شدن و منظم‌تر شدن شکل لکه‌های هر کلاس در سطح سیمای سرزمین است. همچنین پایداری شکلی این کلاس‌ها در سیمای سرزمین مشهود بوده که نشان از رشد و توسعه لکه‌های موجود در آن‌ها دارد. این امر ممکن است با رقابت بین گونه‌های بوته‌ای و گندمیان توجیه گردد؛ گونه‌های گیاهی مقاوم به تنش نظیر *As.ve* که زیست توده بیشتری را به بافت‌های سخت و بادوام اختصاص می‌دهند، به‌طور قابل توجهی از تداوم طولانی‌مدت حمایت کرده و از فرضیه تاثیر متقابل فیلترهای چشم‌انداز و فیلترهای زیستگاه (در دسترس بودن مواد مغذی خاک و رقابت بین گونه‌ای بین اشکال مختلف حیات) در سراسر سیمای سرزمین پشتیبانی می‌کند (Gamfeldt & Roger, 2017; Muhammed & Elias, 2021). از طرف دیگر، نتایج محاسبه متریک شکل برای کلاس *Br.to* نشان‌دهنده افزایش پیچیدگی و شکل نامنظم لکه‌های آن در بازه مورد مطالعه است. پیچیدگی در شکل می‌تواند ناپایداری در لکه‌های سیمای سرزمین را به‌همراه داشته باشد؛ به‌طوری‌که هرچه میزان این پیچیدگی بیشتر باشد، احتمال نفوذ و حساسیت آن در مقابل تخریب بیشتر می‌شود. بنابراین، نامنظم‌تر شدن شکل لکه‌های این کلاس از وقوع تخریب و اختلال‌های غیر طبیعی در اکوسیستم حکایت دارد. نتایج حاصل از این تحقیق با پژوهش‌های لیو

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

و همکاران (Liu et al., 2014) و فلاورز و همکاران (Flowers et al., 2020) مطابقت دارد.

الگوی پوشش‌های زمین و دگرگونی‌های آن یکی از محرک‌های اصلی تغییرات زیست‌محیطی در سطوح منطقه‌ای و جهانی است. بنابراین، زیستگاه‌هایی مانند مراتع نقش مهمی در اکوسیستم منطقه ایفا می‌نمایند. تجزیه و تحلیل نقشه‌های طبقه‌بندی مبنایی برای شناسایی محرک‌های اصلی در تغییرات پوشش‌های گیاهی است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثرات مدیریت یا اختلالات از گذشته تا حال چگونه بوده است و علاوه بر این، لکه‌های گیاهی چگونه به این آشفتگی‌ها پاسخ داده‌اند. تحلیل متریک‌های سیمای سرزمین گویای آن است که سیمای اکثر لکه‌های گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه، ساده‌تر، منظم‌تر، پیوسته‌تر، پایدارتر و تعداد و تراکم لکه‌ها بیشتر شده است. لذا، اجرای مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و سیاست‌های مدیریتی برای حفاظت از منابع طبیعی، فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی و جوامع گیاهی نظیر لکه‌های گیاهی را کاهش خواهد داد و به پایداری زیست‌محیطی طبیعی کمک خواهد کرد.

منابع

عسگریان، ع.، جباریان امیری، ب.، علی‌زاده شعبانی، ا.، فقهی، ج. ۱۳۹۴. بررسی الگوهای توسعه در شهر ساری با استفاده از رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۸(۱): ۱۰۷-۹۵.

محزونی کچپی، س.س.، طهماسبی، پ.، ابراهیمی، ع.، جوری، م.ح.، فعال فیض‌آبادی، م.، امیدی‌پور، ر. ۱۴۰۰. ارتباط خصوصیات سیمای سرزمین با تنوع گونه‌ای و تنوع عملکرد مراتع نیمه‌استپی. مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۴(۴): ۸۲۰-۷۹۹.

مختاری، م.ح.، عابدیان، س.، قلی‌پور، م. ۱۳۹۸. آشکارسازی و مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی جنگلی حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین. بوم‌شناسی کاربردی، ۸(۴): ۱۸-۱.

معرب، ی.، صالحی، ا.، امیری، م.ج.، هویدی، ح. ۱۴۰۰. تحلیل امنیت اکولوژیکی تغییرات کاربری اراضی حوزه لواسانات با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین. جغرافیا و توسعه، ۶۴(۱۹): ۱۱۴-۷۷.

Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A.A., Asadi, E., Verrelst, J. 2021. Classification of Plant Ecological Units in Heterogeneous Semi-Steppe Rangelands: Performance Assessment of Four Classification Algorithms. Remote Sensing, 13(17): 3433.

Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A.A., Asadi, E., Verrelst, J. 2021. Vegetation Types Mapping Using Multi-Temporal Landsat Images in the Google Earth Engine Platform. Remote sensing, 13(22): 4683.

Bande, P., Adam, E., Abd Elbasit, M.A.M., Adelabu, S. 2018. Comparing Landsat 8 and Sentinel-2 in Mapping Water Quality at VAAL DAM. IGARSS, 9280-9283.

Botequila Leitao, A., Jozeph, M., Ahern, J. 2006. Measuring Landscapes: A planner's handbook. Island Press, Washington DC, 272 p.

Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J. 1984. Classification and regression trees, Wadsworth and Brooks/Cole. Monterey, California, USA.

Brown, J.R., Havstad, K.M. 2016. Using ecological site information to improve landscape management for ecosystem services. Rangelands, 38(6): 318-321.

Bunyangha, J., Majaliwa, M.J.G., Muthumbi, A.W., Gichuki, N.N., Egeru, A. 2021. Past and future land use/land cover changes from multi-temporal Landsat imagery in Mpologoma catchment, eastern Uganda. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 24(3): 675-685.

Crow, T.R. 2004. Putting Multiple Use And Sustained Yield into a Landscape Context. Integrating Landscape Ecology into Natural Resource Management, Cambridge, 349-365.

De Sanctis, M., Alfo`, M., Attorre, F., Francesconi, F., Bruno, F. 2010. Effects of habitat configuration and quality on species richness and distribution in fragmented forest patches near Rome. Journal of Vegetation Science, 21: 55–65.

Del Castillo, E.M., García-Martin, A., Aladrén, L.A.L., de Luis, M. 2015. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). Journal of Applied Geography, 62: 247-255.

Dzieszko, P. 2014. Land-Cover Modelling Using Corine Land Cover Data and Multi-Layer Perceptron. Quageo, 33(1): 5-22.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

fragmentation of a heterogeneous watershed. Remote Sensing Applications: Society & Environment, 10: 224-233.

Li, Z.T., Yuan, M.J., Hu, M.M., Wang, Y.F., Xia, B.C. 2019. Evaluation of ecological security and influencing factors analysis based on robustness analysis and the BP-DEMALTE model: A case study of the Pearl River Delta urban agglomeration. Ecological Indicators, 101:595-602.

Liang, X., Jin, X., Ren, J., Gu, Z., Zhou, Y. 2020. A research framework of land use transition in Suzhou City coupled with land use structure and landscape multifunctionality. Science of the Total Environment, 737: 139932.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. 1994. Remote sensing & image interpretion. 3th Ed., John wiley & sons Inc., New York, 750 p.

Liu, J., Taylor, W.W. 2004. Coupling Landscape Ecology with Natural Resource Management: Paradigm Shifts and New Approaches. Integrating Landscape Ecology into NaturalResource Management, Cambridge, 1- 20.

Liu, G., Xie, X., Ye, D., Ye, X., Tuvshintogtokh, I., Mandakh, B., Huang, Z., Dong, M. 2013. Plant Functional Diversity and Species Diversity in the Mongolian Steppe. PLoS ONE, 8(10): e77565.

Liu, S., Dong, Y., Denga, Li., Liu, Q., Zhao, H., Dong, S. 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.

Lo, C.P., Choi, J. 2014. A hybrid approach to urban land use/cover mapping using Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) images. Internat. Journal Remote Sensing, 25(14): 2687–2700.

Mallupattu, P.K., Sreenivasula Reddy, J.R. 2013. Analysis of land use/land cover changes using remote sensing data and GIS at an Urban Area, Tirupati, India. The Scientific World Journal, 268623.

Mandal, M., Chatterjee, N.D. 2021. Forest landscape and its ecological quality: A stepwise spatiotemporal evaluation through patch-matrix model in Jhargram District, West Bengal State, India. Regional Sustainability, 2: 164-176.

McGarigal, K.S.A., Cushman, S., Ene, E. 2012. FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis

Fan, F., Weng, Q., Wang, Y.P. 2007. Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery. Sensors, 7(7): 1323-1342.

Fichera, C.R., Modica, G., Pollino, M. 2012. Land Cover classification and change-detection analysis using multitemporal remote sensed imagery and landscape metrics. European Journal of Remote Sensing, 45(1): 1-18.

Flick, T., Feagan, S., Fahrig, L. 2012. Effects of landscape structure on butterfly species richness and abundance in agricultural landscapes in eastern Ontario, Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment, 156: 123–133.

Flowers, B., Huang, K.T., Aldana, G.O. 2020. Analysis of the Habitat Fragmentation of Ecosystems in Belize Using Landscape Metrics. Journal Sustainability, 12: 3024.

Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., Dale, V., Heanue, K. 2003. Road ecology: Science and Solutions. Washington, D.C, Island Press.

Gamfeldt, L., Roger, F. 2017. Revisiting the biodiversity– ecosystem multifunctionality relationship. Nature ecology & evolution, 1(7): 0168.

Ghandali, M., Alizadeh, A., Karami, M., Kaboli, M., Zohrabi, H. 2014. Application of Landscape Ecology Criteria in Assessing Wild Sheep Habitat in Kavir National Park. Journal of Environmental Science and Technology, 16: 552-561.

Ge, X., Dong, K., Luloff, A.E., Wang, L., Xiao, J., Wang, S., Wang, Q. 2016. Correlation between landscape fragmentation and sandy desertification: a case study in Horqin Sandy Land, China. Environ. Monit. Assess, 188: 62.

Heras, M.M., Saco, P.M., Willgoose, G.R., Tongway, D. 2011. Assessing landscape structure and pattern fragmentation in semiarid ecosystems using patch-size distributions. Ecol. Appl, 21: 2793–2805.

Jia, K., Wei, X., Gu, X., Yao, Y., Xie, X., Li, B. 2014. Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. Geocarto International, 29(8): 941- 951.

Kumar, M., Denis, D.M., Singh, S.K., Szabó, S., Suryavanshi, S. 2018. Landscape metrics for assessment of land cover change and

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

Tahmasebi, P., Moradi, M., Omidipour, R. 2017. Plant Functional Identity as the Predictor of Carbon Storage in Semi-Arid Ecosystems. Plant Ecology & Diversity, 10(2-3): 139-151.

Uroy, L., Alignier, A., Mony, C., Folteˆte, J.C., Ernoult, A. 2021. How to assess the temporal dynamics of landscape connectivity in ever-changing landscapes: a literature review. Landscape Ecology, 36: 2487–2504.

Verrelst, J., Gustau, C.V., Jordi, M.M., Juan, P.R., Frank, V., Jan, G.P.W.C., José, M. 2015. Optical remote sensing and the retrieval of terrestrial vegetation biogeophysical properties, a review. ISPRS Journal Photogramm. Remote Sens, 108: 273–290.

Weng, Q. 2018. Remote Sensing Time Series Image Processing. Taylor & Francis Series in Imaging Science. International Standard Book Number, 13: 978-1-138-05459-2.

Wulder, M.A., Coops, N.C., Roy, D.P., White, J.C., Hermosilla, T. 2018. Land cover 2.0. International Journal of Remote Sensing, 39(12): 4254-4284.

Xie, Z., Chen, Y., Lu, D., Li, G., Chen, E. 2019. Classification of Land Cover, Forest, and Tree Species Classes with ZiYuan-3 Multispectral and Stereo Data. Remote Sensing, 11(2): 164.

Yoneyama, Y., Suzuki, S., Sawa, R., Yoneyama, K., Power, G.G., Araki, T. 2002. Increased plasma adenosine concentrations and the severity of preeclampsia. Obstetrics & Gynecology, 100(6): 66-70.

Zhang, W., Zhang, J. 2021. Scaling effects on landscape metrics in alpine meadow on the central Qinghai-Tibetan Plateau. Global Ecology and Conservation, 29: e01742

Zhu, C., Zhang, X., Zhou, M., He, S., Gan, M., Yang, L., Wang, K. 2020. Impacts of urbanization and landscape pattern on habitat quality using OLS and GWR models in Hangzhou, China. Ecological Indicators, 117(3): 106654.

Zwiener, V.P., Padial, A.A., Marques, M.C., Faleiro, F.V., Loyola, R., Peterson, A.T. 2017. Planning for conservation and restoration under climate and land use change in the Brazilian Atlantic Forest. Diversity & Distributions, 23(8): 955-966.

program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts, Amherst.

Mori, A.S., Isbell, F., Seidl, R. 2018. β-Diversity, community assembly, and ecosystem functioning. Trends in ecology & evolution, 33(7): 549–564.

Muhammed, A., Elias, E. 2021. The effects of landscape change on plant diversity and structure in the Bale mountains national park, southeastern Ethiopia. International Journal of Ecology, 2021: 1-13.

Paudel, S., Yuan, F. 2012. Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS modeling. Internat. Applied Earth Observation & Geoinformation, 16: 66-76.

Phiri, D., Morgenroth, J., Xu, C., Hermosilla, T. 2018. Effects of pre-processing methods on Landsat OLI-8 land cover classification using OBIA and random forests classifier. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 73: 170-178.

Rocchini, D., Hernandez-Stefanoni, J.L., He, K.S. 2015. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: A conceptual review. Ecological Informatics, 25: 22-28.

Rodrıguez-Loinaz, G., Amezaga, I., Onaindia, M. 2012. Does forest fragmentation affect the same way all growth-forms? Journal of Environmental Management, 94(1): 125–131.

Roshan, S.A., Heydari, M. 2014. Short Communication: Flora, life form and chorological study of Quercus brantii habitat in Emamzadeh Abdullah woodland, Iran. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 15(2): 245-250.

Singh, N.K., Nathawat, M.S. 2019. The Study of the Land Cover Pattern in Varanasi District Using GIS and Landscape Metrics. International Journal of Applied Social Science, 6(11&12): 2461-2466.

Szabó, S., Novák, T., Elek, Z. 2012. Distance models in ecological network management: A case study of patch connectivity in a grassland network. Nature Conservation, 20(5): 293-300.

Simova, P., Gdulova, K. 2012. Landscape indices behavior: A review of scale effects. Journal of Applied Geography, 34: 385-394.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]

Evaluating the change process of vegetation patches of semi-steppe rangelands using landscape metrics

Samaneh Sadat Mahzooni-Kachapi[1], Pejman Tahmasebi[2*], Ataollah Ebrahimi[2], Barat Mojaradi[3], Mohammad Hassan Jouri[4]

[1]Ph.D. Student, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord

[2]Associate Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord

[3]Associate Professor, Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran

[4]Associate Professor, Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Noor Branch, Noor

Received: 2023/09/10; Accepted: 2023/12/16

Abstract

The pattern of the landscape and its corresponding changes is a comprehensive reflection of the ecology of the environment. The existing ecological processes in different scales cause the fragmentation and disintegration of the landscape structures and cause changes in the spatial distribution and fate of the patches in it. Plant patches are a relatively homogeneous part of the landscape, which have different responses to natural disturbances and management actions, and indicate the history of the management governing the region. It seems necessary to use detection methods to determine the process of changes in the distribution pattern with the passage of time in an ecosystem. Landscape metrics are one of the most important detection methods that provide the basis for quantification of the structure and spatial pattern of the landscape and make the nature of dispersion and distribution of its structural components comparable. The present study was conducted with the aim of investigating the process of changes in the pattern of plant patches in Broujen city, which is located in a heterogeneous landscape in central Zagros. For this purpose, Landsat satellite images from 1990 and 2019 were used and then classified in Idrisi TerrSet software. This has led to the production of classification maps with various patches and placing them in seven different classes in terms of the plant community. In order to quantify landscape pattern at the class level, CA, PLAND, ED, TE, ENN-MN, and SHAPE-MN metrics were calculated using Fragstats software. The results indicate a decrease in degradation and an increase in patch stability in the *Astragalus verus*, *Astragalus verus-Bromus tomentellus*, and *Astragalus verus-Stipa hohenackeriana* classes. On the other hand, the landscape covered by *Bromus tomentellus*, *Bromus tomentellus-Stipa hohenackeriana*, and *Stipa hohenackeriana* classes has been increasing, which shows the expansion of the classes and the reduction of their disintegration. The results also show that except for the *Bromus tomentellus* class, which shows the increase in complexity and the irregular shape of its patches, the trend of changes in other classes is downward, and it shows that during the period under investigation, the shape of the patches of each class becomes simpler and more regular.

***Keywords*:** Change detection, Relatively homogeneous part of vegetation, Landscape structure, Fragstats, Central Zagros

*Corresponding author: pejman.tahmasebi@sku.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-09-29]