

ارتباط الگوی سیمای سرزمین و رسوب در برخی از زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان

راضیه معتمدی^۱ و محمود آذری^{۲*} و رضا منصفی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد و ^۲ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد و ^۳ دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵

چکیده

سیمای سرزمین، یکی از عوامل موثر بر فرایندهای هیدرولوژی آبخیز می‌باشد. تغییر ساختار و توزیع مکانی کاربری‌های اراضی مختلف، نقش مهمی در تولید رواناب و رسوب در سطح آبخیز دارد. تعیین ارتباط بین الگوهای چشم‌انداز آبخیز و فرایندهای هیدرولوژی می‌تواند در تعیین مقدار فرسایش خاک و رسوب آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو، با توجه به مشکلات موجود در اندازه‌گیری رسوب، برآورد آن با استفاده از ویژگی‌های سیمای سرزمین و الگوی کاربری زمین جایگزین مناسبی برای روش‌های معمول برآورد رسوب می‌باشد. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر، تعیین ارتباط رسوب آبخیز با سنج‌های سیمای سرزمین در زیرحوضه‌های منتخب استان گلستان است. بدین منظور، داده‌های دبی و رسوب معلق برای ایستگاه‌های هیدرومتری استان از منابع مربوطه اخذ و بر اساس خصوصیات آبخیز و کیفیت و کمیت داده‌ها، زیرحوضه‌های مناسب این پژوهش انتخاب شد. سپس، با استفاده از نقشه کاربری اراضی استان، ۱۵ سنجه سیمای سرزمین مرتبط با رسوب برای کاربری‌های مختلف تعیین شدند. به‌منظور تعیین ارتباط بین رسوب آبخیز با سنج‌های سیمای سرزمین، از رگرسیون کمینه مربعات جزئی استفاده شد که ترکیب روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه است. نتایج پژوهش نشان داد که بین رسوب آبخیز با الگوهای پوشش زمین ارتباط زیادی وجود دارد. از میان ۱۵ سنجه سیمای سرزمین، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) و میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN) به ترتیب با مقادیر اهمیت متغیر در پیش‌بینی (VIP) ۱/۲۹۶، ۱/۱۸۴ و ۱/۷۴۷ و ضرایب رگرسیونی ۰/۱۴، ۰/۳۹ و ۰/۰۲ - به‌عنوان سنج‌های اصلی در کاهش میزان رسوب آبخیز تعیین شدند و سنج‌های شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI) و میانگین اندازه لکه (AREA-MN) با مقادیر VIP، ۰/۸۰ و ۰/۸۴ و ضرایب رگرسیونی ۰/۲۰ و ۰/۱۷ - به‌عنوان سنج‌های مؤثر در افزایش رسوب آبخیزهای مطالعاتی شناخته شدند که ۷۱ درصد از تغییرات رسوب را در زیرحوضه‌ها تبیین می‌کنند. نتایج پژوهش حاضر، توانایی برآورد رسوب با استفاده از ویژگی‌های سیمای سرزمین و کارایی رگرسیون کمینه مربعات جزئی را در تعیین مدل‌های کمی رسوب تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون کمینه مربعات جزئی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرایندهای هیدرولوژیکی، فرسایش خاک، کاربری اراضی

مقدمه

تعیین توزیع مکانی فرسایش خاک در سطح حوزه آبخیز به منظور مهار رسوب آبخیز یک نیاز ضروری است (Irvem و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات مختلف نشان داده که تولید رسوب و انتقال آن، تحت تأثیر عوامل متعدد از جمله پوشش زمین، آب و هوا، توپوگرافی، ویژگی خاک و فعالیت‌های انسانی است (Hevia و همکاران، ۲۰۰۷). الگوهای توزیع پوشش زمین و کاربری‌های گوناگون در سطح حوزه آبخیز برآیند عوامل محیطی مختلف است که روی فرایندهای هیدرولوژی از جمله فرسایش خاک و رسوب‌گذاری تأثیرگذار هستند (Bakker و همکاران، ۲۰۰۸). از این رو، بررسی این ارتباط می‌تواند در تعیین مقدار رسوب آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. الگوهای چشم‌انداز^۱، سرشت و ویژگی کلی یک منطقه می‌باشد که در آن ترکیبی از کاربری‌های اراضی در یک منطقه و در فرم‌های مشابه تکرار می‌شوند (Farina، ۱۹۹۸؛ Apan و همکاران، ۲۰۰۲). با توسعه سنج‌های سیمای سرزمین^۲ در اواخر دهه ۱۹۸۰ و پیشرفت‌های فنون سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، ابعاد جدیدی در مطالعات بوم‌شناختی^۳ سیمای سرزمین به خصوص در زمینه ارتباط بین الگوهای مکانی و فرایندهای هیدرولوژی به وجود آمد. سنج‌های سیمای سرزمین به صورت الگوریتم‌هایی برای کمی کردن خصوصیات مکانی لکه‌ها^۴، طبقات^۵ و چشم‌اندازهای سیمای سرزمین هستند و ابزار مناسب برای تعیین ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری‌های مختلف و سیمای سرزمین به حساب می‌آیند (Ahern و Botequilha، ۲۰۰۲).

بیان کمی الگوهای سیمای سرزمین در درک ارتباط آن با پاسخ هیدرولوژی آبخیز نقش مهمی دارد و می‌تواند در راستای مدیریت بهتر منابع آبخیز و اجرای اقدامات مهار سیلاب و رسوب به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کمک کند. مطالعات متعددی با هدف

بررسی ارتباط ویژگی‌های چشم‌انداز با هیدرولوژی آبخیز انجام شده است. Shi و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با هدف تعیین ارتباط بین الگوهای پوشش گیاهی با میزان فرسایش خاک و رسوب از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های رگرسیون چند متغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد که در سطح چشم‌انداز، ویژگی‌هایی مانند شاخص تنوع شانون^۶، شاخص تجمع^۷، شاخص بزرگ‌ترین لکه^۸، سرایت^۹ و شاخص پیوستگی لکه^{۱۰} معیارهای اصلی فرسایش خاک و رسوب در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بودند که به ترتیب ۶۵ و ۷۴ درصد از تغییرات فرسایش خاک و رسوب را نشان می‌دهند. در پژوهشی دیگر، Fathizad و همکاران (۲۰۱۳) با تجزیه و تحلیل سنج‌های سیمای سرزمین، تغییرات کاربری اراضی را در منطقه خشک و نیمه‌خشک دهلران بررسی کردند. نتایج مقایسه سنج‌های سیمای سرزمین در دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۶۴ نشان داد که وسعت اراضی مرتع متوسط منطقه کاهش یافته، در حالی که اراضی کشاورزی روند افزایشی داشته است. Mostafazadeh (۲۰۱۴) نیز در پژوهشی با هدف تعیین اثر سناریوهای مختلف مدیریت سنج‌های سیمای سرزمین بر تغییرات رواناب و رسوب رگبار آبخیز گلاز اشنویه در آذربایجان غربی به این نتیجه رسید که بین سنج‌های تراکم لکه^{۱۱}، درصد اراضی مرتعی ضعیف و بعد فراکتالی محیط-مساحت^{۱۲} با مؤلفه‌های دبی اوج و زمان تا اوج آب‌نمود با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۴۷ (P-value<۰/۰۱) همبستگی معنی‌دار وجود دارد. همچنین، ارتباط سنج‌های تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه و متوسط نزدیک‌ترین همسایه با مؤلفه‌های اوج، میانگین غلظت و رسوب کل رسوب-نمودها با ضریب تبیین ۰/۲۷ تا ۰/۹۸ معنی‌دار ارزیابی شد. Talebi و همکاران (۲۰۱۵) اثر مدیریت کاربری

⁶ Shannon's Diversity Index (SHDI)⁷ Aggregation Index (AI)⁸ Largest Patch Index (LPI)⁹ Contagion (CONTAG)¹⁰ Patch COHESION index (COHESION)¹¹ Patch Density (PD)¹² Perimeter- Area FRACTal dimension (PAFRAC)¹ Landscape² Landscape metrics³ Ecology⁴ Patch⁵ Class

روابط رگرسیون میانی خصوصیات کاربری اراضی و شاخص‌های هیدرولوژی استخراج شد. نتایج نشان داد که سه عامل شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، شاخص شکل (LSI) و درصد تشابه لکه‌های هم‌جوار (PLADJ)، بیشترین تأثیر را در مقدار رواناب داشتند. Zhang و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر کاربری و الگوهای چشم‌انداز را بر میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز رودخانه Liusha مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، میزان فرسایش هر زیرحوضه با استفاده از مدل SWAT تعیین شد و ارتباط آن با ۱۲ سنجه سیمای سرزمین با رگرسیون خطی چندگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که میزان فرسایش با تغییرات شاخص بزرگ‌ترین لکه، شاخص پیوستگی لکه، شاخص اصلاح شده رطوبت سیمپسون و شاخص تجمیع ارتباط بالایی دارد. Xu و همکاران (۲۰۱۷) اثرات الگوی چشم‌انداز بر فرسایش خاک در آبخیز کوهستانی در چین را با مدل RUSLE و مدل توزیعی تحویل رسوب تحلیل کردند. نتایج دلالت بر همبستگی مثبت بین سنجه‌های تکه‌تکه شدگی و همبستگی منفی سنجه‌های تنوع با فرسایش خاک می‌باشد. همچنین، از شاخص‌های ترکیب چشم‌انداز، شاخص شکل همبستگی منفی با فرسایش و رسوب، شاخص تکه‌تکه شدگی همبستگی مثبت با فرسایش خاک و همبستگی منفی با نسبت تحویل رسوب داشته است. Boongaling و همکاران (۲۰۱۸) اثرات هیدرولوژی تغییر کاربری زمین را با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در آبخیزی در فیلیپین بررسی کردند. بدین منظور، ارتباط نه سنجه با رواناب سطحی، آب پایه و رسوب آبخیز با استفاده از رگرسیون کمینه مربعات جزئی^۶ تعیین شد. نتایج پژوهش نشان داد که افزایش تراکم لکه و شاخص بزرگ‌ترین لکه در اراضی کشاورزی و جنگلی باعث کاهش مقدار رواناب سطحی و رسوب می‌شود. در مقابل، افزایش شاخص پیوستگی لکه و تجمیع در اراضی کشاورزی و جنگلی افزایش رواناب و رسوب و کاهش جریان پایه را به همراه داشته است. مدل رگرسیون نهایی در تلفیق با ارزیابی‌های اقتصادی،

اراضی بر رسوب‌دهی حوزه آبخیز شور و شیرین شیراز را مطالعه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که نوع کاربری آبخیز و تغییر کاربری نقش به‌سزایی در رواناب و رسوب آبخیز داشته است. همچنین، رسوب برآورد شده در دو شرایط بهینه و فعلی با یکدیگر متفاوت بوده، متوسط رسوب برآوردی در شرایط کاربری بهینه، ۱۲ درصد کمتر از شرایط فعلی اراضی بوده است. در پژوهشی دیگر، Li و Zhou (۲۰۱۵) ارتباط شاخص‌های الگوی چشم‌انداز و فرایندهای هیدرولوژی را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در آبخیز Yanhe چین بررسی کردند. در این پژوهش، هفت سنجه مؤثر بر میزان رسوب و رواناب تعیین شد. همبستگی بین میزان رسوب با سنجه مساحت اصلی کل (TCA)^۱ و شاخص پراکندگی و مجاورت (IJ)^۲ بین ۰/۳ تا ۰/۵ و همبستگی شاخص تنوع شانون با میزان رسوب‌دهی سالانه منفی گزارش شد. Bateni و همکاران (۲۰۱۶) اثر الگوی مکانی و تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، از سنجه‌های سیمای سرزمین شامل تعداد لکه (NP)^۳، حاشیه کل (TE)^۴، تراکم حاشیه (ED)^۵، درصد کاربری اراضی، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) و پارامترهای کیفیت آب استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود به‌طور قابل توجهی از مساحت و الگوی مکانی مناطق شهری متأثر شده است. افزایش حاشیه کل مناطق صنعتی اثر منفی بر کل مواد جامد محلول (TDS) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) داشته است و میزان حاشیه کاربری‌ها حتی بیشتر از مساحت آن‌ها بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد. در مطالعه‌ای دیگر، Sadeghishal و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی سنجه‌های کاربری اراضی با تولید رواناب در حوزه‌های آبخیز غرب گیلان پرداختند. در این مطالعه، سنجه‌های مناسب سیمای سرزمین در دو سطح طبقه و چشم‌انداز محاسبه شد و

^۱ Total Core Area (TCA)

^۲ Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)

^۳ Number of Patch (NP)

^۴ Total Edge (TE)

^۵ Edge Density (ED)

^۶ Partial Least Squares Regression (PLSR)

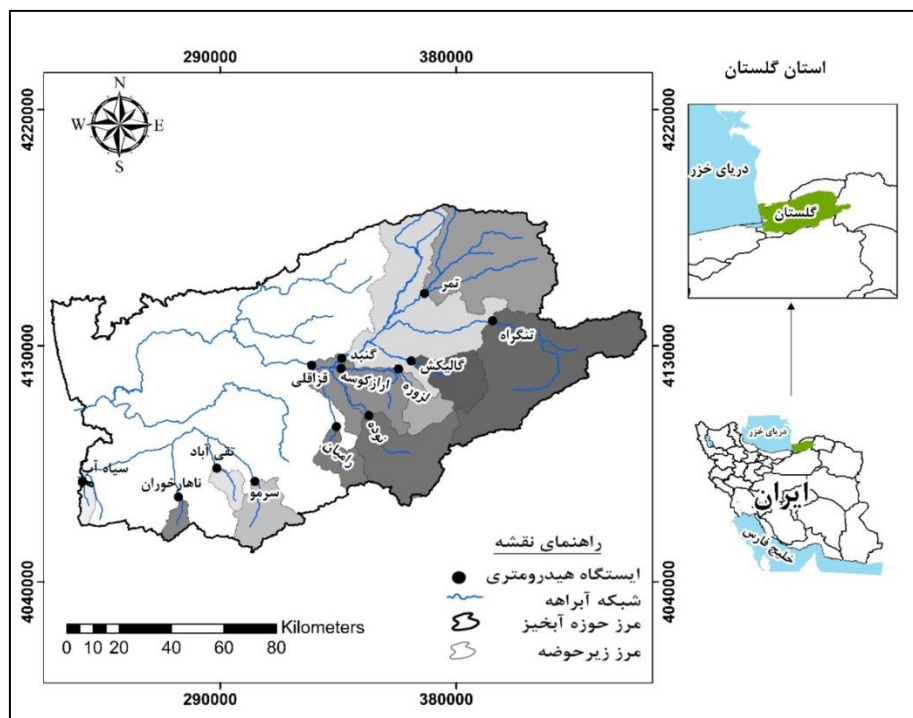
اجتماعی و سیاسی به‌عنوان یک ابزار مفید در مدیریت جامع آبخیز و سیاست‌های کاربری اراضی توصیه شده است.

بررسی سوابق پژوهش، بیانگر ارتباط بین الگوی مکانی کاربری زمین و فرایندهای فرسایش خاک و رسوب آبخیز می‌باشد. با این وجود، پژوهش‌های محدودی به اثرات هیدرولوژی نحوه گسترش کاربری‌های مختلف و الگوی توزیع مکانی کاربری‌ها در آبخیزهای کشور پرداخته‌اند. این در حالی است که این اثرات در زیرحوضه‌های مختلف با شرایط اقلیمی گوناگون متنوع است و نیازمند انجام پژوهش‌های منطقه‌ای می‌باشد. از این‌رو، هدف این پژوهش، بررسی ارتباط رسوب آبخیز با سنجش‌های سیمای سرزمین در ۱۳ زیرحوضه منتخب استان گلستان با استفاده از رگرسپیون کمینه مربعات جزئی است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد پژوهش: پژوهش حاضر، در ۱۳

زیرحوضه واقع در استان گلستان انجام شده است. استان گلستان با وسعت ۲۰۳۸۷ کیلومتر مربع در جنوب شرقی دریای خزر در محدوده جغرافیایی 25° 36° تا $38^{\circ} 8'$ عرض شمالی و $50^{\circ} 53'$ تا $56^{\circ} 18'$ طول شرقی قرار گرفته است. متوسط بارندگی استان ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد و در حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود (Hasanalizadeh و همکاران، ۲۰۱۴). موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی استان گلستان موجب شده که اقلیم متنوع داشته باشد و کاربری‌های مختلف شامل کشاورزی، مرتع و جنگل در آن مشاهده شود (Kamyab و همکاران، ۲۰۱۵). وقوع بارش‌های شدید به‌همراه تشکیلات زمین‌شناسی حساس به فرسایش و تغییر شدید کاربری اراضی جنگل، سبب فراهم آوردن پتانسیل لازم برای تشکیل رواناب و در نتیجه فرسایش و رسوب در سطح زیرحوضه‌های استان گلستان شده است. شکل ۱، موقعیت زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان و کشور را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه‌های منتخب پژوهش در استان گلستان و ایران

از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان و شرکت تحقیقات منابع آب ایران اخذ شد. برای انتخاب زیرحوضه‌های آبخیز مناسب، داشتن آمار دبی و رسوب

آماده‌سازی داده‌ها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی: در این پژوهش، ابتدا داده‌های هم‌زمان دبی جریان و رسوب معلق برای کل ایستگاه‌های هیدرومتری استان

سال ۱۳۷۹ استفاده شد. نقشه‌های کاربری اراضی با تبدیل شدن به فرمت GeoTIFF وارد نرم‌افزار Fragstats 4.2 شد و سپس سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح چشم‌انداز محاسبه شد.

بر اساس طبقه‌بندی McGarigal سنجه‌های سیمای سرزمین شامل سنجه‌های حاشیه، تجمع، شکل و تنوع است. انتخاب سنجه مناسب سیمای سرزمین بسته به هدف مطالعه، خصوصیات سرزمین و ویژگی‌های بوم‌شناختی متفاوت است. در این پژوهش، بر اساس مطالعات پیشین (Ouyang و همکاران، ۲۰۱۰؛ Huang و همکاران، ۲۰۱۱؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۱؛ Memarian و همکاران، ۲۰۱۱) از ۱۵ سنجه سیمای سرزمین به شرح جدول ۱، برای زیرحوزه‌های منتخب استفاده شد. سنجه تراکم لکه (PD) یا شاخص تکه‌تکه‌شدگی بیانگر تعداد لکه در واحد سطح است. سنجه تراکم حاشیه (ED)، تراکم حاشیه در واحد سطح منطقه را نشان می‌دهد که برای تسهیل مقایسه میان سیمای سرزمین در اندازه‌های مختلف به کار می‌رود. زمانی که هیچ مرزی در چشم‌انداز وجود ندارد، مقدار این سنجه صفر است (McGarigal، ۲۰۱۳). سنجه بزرگ‌ترین لکه (LPI) درصدی از مساحت سیمای سرزمین است که به‌وسیله بزرگ‌ترین لکه اشغال شده و نشان‌دهنده غالبیت سیمای سرزمین می‌باشد (McGarigal و Marks، ۱۹۹۴). میانگین اندازه لکه^۱ (AREA-MN) نیز شاخص مهمی است که اطلاعات ارزشمندی از سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. همچنین، شاخص شکل سیمای سرزمین^۲ (LSI) معرف نسبت محیط طبقه به کمینه محیط ممکن برای یک طبقه با بیشینه تجمع است. هر چه طبقه کاربری پراکنده‌تر شود، این سنجه بدون محدودیت افزایش می‌یابد.

سنجه سرایت (CONTAG) گرایش انواع لکه را به متراکم شدن نشان می‌دهد که بر حسب درصد بیان می‌شود. سنجه پراکندگی و مجاورت (IJI) پراکندگی نسبی در هر کاربری را بر اساس پراکندگی و مجاورت لکه‌ها نشان می‌دهد.

طولانی مدت (بیش از ۳۰ سال)، دقت مناسب، نبود سد و سازه‌های منحرف‌کننده آب لحاظ شد. با توجه به این شرایط، دوره آماری ۳۱ ساله، از سال آبی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۲-۱۳۹۱، به‌عنوان دوره مشترک در این پژوهش در نظر گرفته شد. برای محاسبه مقدار رسوب متوسط سالانه از رابطه سنجه رسوب به شرح رابطه (۱) استفاده شد.

$$Q_S = aQ_W^b \quad (1)$$

که در آن، Q_S رسوب معلق (تن در سال)، Q_W دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه) و a و b ضرایب منطقه‌ای هستند (Walling و Webb، ۱۹۸۱).

سنجه‌های سیمای سرزمین: شاخص‌هایی هستند که ویژگی شکلی، هندسی و ماهیت پراکنش و توزیع اجزای ساختاری سیمای سرزمین را قابل تعریف می‌کنند. سنجه‌های سیمای سرزمین بر ویژگی‌های مکانی و توزیع لکه‌ها در سیمای سرزمین تمرکز دارند و به‌طور کلی، در سه سطح لکه، طبقه و سیمای سرزمین دسته‌بندی می‌شوند (Farina، ۱۹۸۸). سنجه‌های سطح لکه برای لکه‌های منفرد تعریف می‌شوند و ویژگی‌های مکانی و بافت لکه را مد نظر قرار می‌دهند. سنجه‌های طبقه برای مجموعه لکه‌های مربوط به یک طبقه خاص محاسبه می‌شوند و سنجه‌های سیمای سرزمین برآیند ویژگی‌های لکه‌ها و طبقات سیمای سرزمین می‌باشند و در کل محدوده محاسبه می‌شوند. در این پژوهش، برای کمی کردن الگوی سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 4.2 استفاده شد. این نرم‌افزار با استفاده از نقشه کاربری اراضی، قابلیت پردازش و محاسبه تعداد زیادی از سنجه‌های سیمای سرزمین را با سرعت بالا داراست و برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی سنجه‌های مختلف، لکه‌های تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین در محیط‌های ناهمگن و شرایط متفاوت مناسب می‌باشد (McGarigal و Marks، ۱۹۹۴). روند کلی تغییر کاربری زمین در آبخیزهای مورد مطالعه به‌صورت کاهش سطح جنگل‌ها و مراتع و افزایش اراضی کشاورزی و مسکونی می‌باشد (Saghafian و همکاران، ۲۰۰۶). به همین خاطر، از نقشه کاربری اراضی استان گلستان مربوط به میانه دوره آماری دبی و رسوب در

^۱ Mean patch size (AREA-MN)

^۲ Landscape Shape Index (LSI)

جدول ۱ - سنج‌های مورد استفاده در پژوهش و تغییرات عددی آنها

ویژگی سیما	سنجه	حروف اختصاری	واحد	رابطه محاسباتی	تغییرات عددی سنجه
	تراکم لکه	PD	متر در صد هکتار	$\frac{N_i}{A} (10000)(100)$	$PD > \dots$
	تراکم حاشیه	ED	متر در هکتار	$\frac{E}{A} (10000)$	$ED \geq \dots$
حاشیه	شاخص بزرگ‌ترین لکه	LPI	درصد	$\frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$	$\dots < LPI \leq \dots$
	میانگین اندازه لکه	AREA-MN	هکتار	$a_{ij} \frac{1}{10000}$	$AREA > \dots$
	شاخص شکل سیمای سرزمین	LSI	بدون واحد	$\frac{e_i}{\min e_i}$	$LSI \geq 1$
	مجموع جزئیات انواع لکه	CONTAG	درصد	$\left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m (P_i) \left[\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] * \left[\ln(P_i) \left[\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \right]}{2 \ln(m)} \right] (100)$	$\dots \leq CONTAG \leq \dots$
تجمع	پراکندگی نسبی در هر کاربری	III	درصد	$\left[\frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\frac{e_{ik}}{E} \right] * \ln \left[\ln \left[\frac{e_{ik}}{E} \right] \right]}{\ln(0.5[m(m-1)])} \right] (100)$	$\dots < III \leq \dots$
	شاخص تجمع میانگین	AI	درصد	$\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} (100)$	$\dots \leq AI \leq \dots$
	فاصله نزدیک-ترین همسایه	ENN-MN	متر	h_{ij}	$ENN > \dots$
	شاخص پیوستگی لکه	COHESION	بدون واحد	$\left[1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right]^{-1} (100)$	$\dots \leq COHESION < \dots$
	میانگین شاخص شکل لکه	SHAPE-MN	بدون واحد	$\frac{P_{ij}}{\min P_{ij}}$	$SHAPE \geq 1$
شکل	میانگین نسبت محیط به مساحت	PARA-MN	بدون واحد	$\frac{P_{ij}}{a_{ij}} (10000)(100)$	$PARA > \dots$
	ابعاد فراکتال منطقه	PAFRAC	بدون واحد	$\left[\frac{n_i [\sum_{j=1}^n (\ln P_{ij} + \ln a_{ij})] - [(\sum_{j=1}^n \ln P_{ij})(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij})]}{(n_i \sum_{i=1}^n (\ln P_{ij}^2)) - (\sum_{j=1}^n (\ln P_{ij}))^2} \right]$	$\dots \leq PAFRAC \leq \dots$
	شاخص تنوع شانون	SHDI	بدون واحد	$\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$	$SHDI \geq \dots$
تنوع	شاخص تنوع سیمپسون	SIDI	بدون واحد	$1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$	$\dots \leq SIDI < \dots$

درصد بیان می‌شود. زمانی که لکه بیشینه جداشدگی را داشته باشد، AI برابر با صفر و زمانی که چشم‌انداز شامل یک لکه واحد باشد، معادل ۱۰۰ است. سنجه

سنجه شاخص تجمع (AI) از نسبت تعداد اتصالات کاربری مشابه به بیشینه تعداد اتصالات ممکن مربوط به کاربری مربوطه به دست می‌آید که به

کاربری اراضی استان گلستان در پنج طبقه مرتع، جنگل، سطوح آبی، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی استفاده شد (Salman Mahini, ۲۰۱۳). این نقشه از نظر پراکنش کاربری‌های مزبور دقت بالایی دارد. به همین دلیل، برای اهداف کمی‌سازی سیمای سرزمین و ارتباط آن با میزان رسوب‌دهی آبخیز استفاده شد. شکل ۲، نقشه کاربری اراضی زیرحوضه‌های پژوهش را نشان می‌دهد.

رگرسیون کمینه مربعات جزئی: یک روش سریع، کارآمد و بهینه بر مبنای کوارینانس است که برای کشف روابط احتمالی یا مدل‌سازی اکتشافی مناسب می‌باشد. این روش، در شرایط حجم نمونه کم، تعداد متغیرهای مستقل زیاد و وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل کاربرد دارد. بدین‌منظور، از ترکیب روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه استفاده می‌شود (Wold و همکاران، ۲۰۰۱). در این مطالعه، ۱۵ سنج‌های سیمای سرزمین به‌عنوان متغیر مستقل و رسوب سالانه به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل‌سازی شد. به متغیرهای وابسته و مستقل به ترتیب متغیر پاسخ^۵ و پیش‌بینی^۶ نیز گفته می‌شود. از این‌رو، در روش رگرسیون کمینه مربعات جزئی ارتباط بین دو مجموعه متغیر به‌صورت یک ماتریس $n \times n$ بررسی می‌شود که m متغیر پیش‌بینی، n تعداد نمونه (تعداد زیرحوضه‌ها) و $Y_{n \times 1}$ متغیر پاسخ است. در روش رگرسیون کمینه مربعات جزئی رابطه بین متغیرهای پیش‌بینی و پاسخ بر اساس ضرایب رگرسیون^۷ بیان می‌شود. اهمیت هر متغیر در پیش‌بینی نیز با آماره VIP^8 نشان داده می‌شود. به طوری که هر چه میزان VIP نزدیک به یک و بیشتر باشد، میزان تأثیرگذاری متغیر پیش‌بینی‌کننده بر متغیر وابسته بیشتر است. برای تعیین مؤلفه‌های مهم از شاخص Q^2 ، به شرح رابطه (۲) استفاده می‌شود. این شاخص کسری از تغییرات کل متغیرهای وابسته است

میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه^۱ (ENN-MN) متوسط فاصله دو لکه مشابه و شاخص پیوستگی لکه‌ها (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را نیز نشان می‌دهند. با افزایش پیوستگی لکه‌ها، مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت. میانگین شاخص شکل لکه^۲ (SHAPE-MN) از نسبت محیط لکه به کمترین محیط ممکن برای لکه با بیشترین فشردگی به دست می‌آید. این سنجه برای لکه مربع شکل برابر یک است و با نامنظم شدن شکل، بیشتر می‌شود. سنجه نسبت محیط به مساحت^۳ (PARA-MN) بیان‌کننده شکل لکه است و هر چه نسبت محیط به مساحت کمتر باشد، شکل آن بیشتر به سمت دایره میل می‌کند. در صورتی‌که تعداد لکه‌های انسان‌ساخت زیاد شود، میانگین نسبت محیط به مساحت لکه‌ها افزوده شده و مرز مشترک بیشتری با باقی‌مانده لکه‌های طبیعی خواهند داشت. ابعاد فراکتال محیط-مساحت (PAFRAC) شاخص پیچیدگی شکل لکه را در طیف گسترده‌ای از مقیاس‌های مکانی نشان می‌دهد. در صورتی‌که لکه منظم باشد، مقدار این سنجه یک و با افزایش پیچیدگی شکل، مقدار آن تا دو افزایش می‌یابد. سنجه‌های سیمپسون (SIDI)^۴ و شانون (SHDI) از مهم‌ترین سنجه‌های تنوع هستند. شاخص‌های تنوع به همراه شاخص سرایت، جنبه‌های مختلف ناهمگونی را در سطح چشم‌انداز نشان می‌دهند. شاخص شانون، تنوع را در هر لکه به‌طور نسبی محاسبه می‌کند. اگر در سیمای سرزمین فقط یک لکه وجود داشته باشد، این شاخص‌ها برابر با صفر هستند و زمانی‌که تعداد لکه افزایش می‌یابد و توزیع منطقه متناسب با انواع لکه بیشتر شود، مقدار آن یک است (McGarigal, ۲۰۱۳).

به‌منظور بررسی ساختار مکانی و تجزیه و تحلیل سنجه‌های مختلف لکه‌های کاربری اراضی از نقشه

¹ Mean euclidian nearestneighbor distance (ENN-MN)

² Mean shape index (SHAPE-MN)

³ Mean perimeter-area ratio (PARA-MN)

⁴ Simpson's Diversity Index (SIDI)

⁵ Response

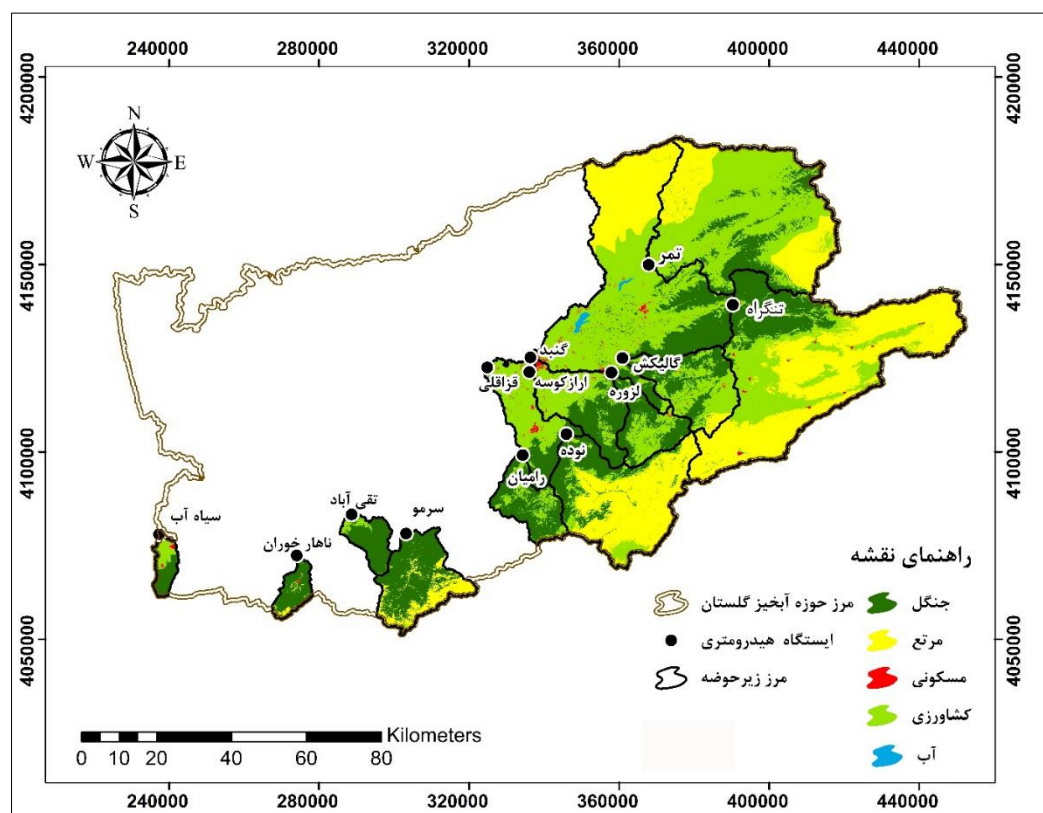
⁶ Predictor

⁷ Regression Coefficients (RC)

⁸ Variable Importance for the Projection (VIP)

توانایی مدل در پیش‌بینی متغیر پاسخ مناسب است (Shi و همکاران، ۲۰۱۳).

که به‌وسیله یک مؤلفه پیش‌بینی می‌شود. اگر مقدار تجمعی این شاخص (Q^2_{cum}) بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد،



شکل ۲ - نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۹ زيرحوضه‌های منتخب استان گلستان (Salman Mahini، ۲۰۱۳)

به‌عنوان متغیرهای بهینه وارد مدل‌سازی رگرسیون کمینه مربعات جزئی شدند (Shi و همکاران، ۲۰۱۳).

نتایج و بحث

رسوب زيرحوضه‌ها: میانگین رسوب سالانه و رسوب ویژه به همراه ضرایب مدل‌های برآورد رسوب زيرحوضه‌های مورد مطالعه برای دوره آماری ۳۱ ساله در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲، مقدار رسوب سالانه از ۵/۲ هزار تن در سال در زيرحوضه آبخیز ناهارخوران تا ۱۱۷۲/۳ هزار تن در سال در زيرحوضه آبخیز گنبد متغیر است. زيرحوضه‌های آبخیز گنبد و تنگراه به‌ترتیب با ۲۱۲/۰۷ و ۸/۵ تن در کیلومتر مربع در سال بیشترین و کمترین مقدار رسوب ویژه را داشته‌اند. مقادیر رسوب محاسبه شده با مقادیر ارائه شده در پژوهش Sharifan و Mosaedi (۲۰۰۷)، Mosaedi و همکاران (۲۰۱۰) و Varvani و

$$Q^2 = 1.0 - PRESS/SS \quad (2)$$

$$Q^2_{cum} = 1.0 - \prod \left(\frac{PRESS}{SS} \right)_a \quad a = (1, 2 \dots m) \quad (3)$$

که در آن، $PRESS$ مجموع مربعات خطای پیش‌بینی، SS مجموع مربعات باقی‌مانده و m تعداد مؤلفه‌های $PLSR$ است. علاوه‌بر این، از مجذور میانگین مربعات خطای پیش‌بینی ($RMSEP$) برای واسنجی و توسعه مدل رگرسیون استفاده شد (رابطه ۴).

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_{i,predicted} - y_{i,measured})^2}{n}} \quad (4)$$

با توجه به این‌که متغیرهای اضافی اهمیت آماری مدل را کاهش می‌دهد، ضرورتی برای ورود تمام سنجه‌های سیمای سرزمین در مدل رگرسیون کمینه مربعات جزئی نمی‌باشد (Shi و همکاران، ۲۰۱۳). از این‌رو، ابتدا یک شبیه‌سازی برای تمام متغیرهای پیش‌بینی انجام شد و متغیرهایی که اهمیت متغیر در پیش‌بینی (VIP) کمتری داشتند، از مدل حذف شدند. سپس، مدل رگرسیون کمینه مربعات جزئی دوباره اجرا شده، در نهایت سنجه‌هایی با بزرگ‌ترین مقدار

همکاران (۲۰۰۲) اختلاف قابل قبولی داشته که با توجه به تفاوت دوره آماری دور از انتظار نیست.

جدول ۲- ضرایب معادله سنجه و مقدار رسوب زیرحوضه‌های منتخب

زیرحوضه	ضریب b رابطه سنجه رسوب	ضریب a رابطه سنجه رسوب	تولید رسوب (هزار تن در سال)	رسوب ویژه (تن بر کیلومتر مربع در سال)
گنبد	۱/۹۰	۲۳/۵۲	۱۱۷۲/۳۳	۲۱۲/۰۷
تمر	۱/۷۷	۳۸/۷۴	۱۳۲/۳۳	۸۶/۳۸
تنگراه	۱/۴۷	۹/۱۵۸	۱۵/۲۲	۸/۵۰
گالیکش	۲/۲۲	۷/۲۰	۲۰/۳۹	۵۱/۲۲
نوده	۱/۷۷	۱۰/۹۱	۲۶/۵۲	۳۱/۲۰
رامیان	۱/۵۴	۴۴/۰۴	۵۲/۶۵	۲۱۱/۳۱
سرمو	۱/۱۴	۱۷/۳۲	۳۰/۶۸	۷۵/۵۸
ارازکوسه	۱/۶۰	۲۲/۱۵	۲۳۳/۱۸	۱۵۱/۵۷
سیاه‌آب	۱/۵۰	۸/۱۰	۱۵/۵۷	۱۹۶/۶۱
تقی‌آباد	۱/۶۱	۵۰/۸۳	۱۴/۷۰	۱۱۲/۷۳
لزوره	۱/۸۲	۱۰/۳۸	۳۷/۰۵	۱۴۴/۹۷
قزاقلی	۱/۷۳	۱۷/۳۳	۱۰۲۶/۲۸	۱۳۹/۸۲
ناهارخوران	۱/۶۴	۵۳/۳۰	۵/۲۲	۵۲/۵۷

سنجه‌های سیمای سرزمین: در این پژوهش، ۱۵ سنجه سیمای سرزمین، در ۱۳ زیرحوضه آبخیز منتخب استان گلستان به شرح جدول ۳ محاسبه شد. با توجه به جدول ۳، بیشترین سنجه تراکم لکه (PD) در زیرحوضه‌های آبخیز نهارخوران و سرمو و کمترین تراکم لکه در تنگراه، تقی‌آباد و گنبد مشاهده می‌شود. وجود تراکم بالای لکه در زیرحوضه‌ها نشان‌دهنده، تکه‌تکه شدن کاربری اراضی است که می‌تواند باعث افزایش میزان فرسایش خاک و رسوب شود. تراکم حاشیه (ED) در زیرحوضه آبخیز رامیان و نهارخوران بالاترین مقدار و در زیرحوضه‌های آبخیز تنگراه و گنبد کمترین سنجه تراکم حاشیه مشهود است (جدول ۳). سنجه بزرگ‌ترین لکه (LPI) که شاخصی از غالبیت سیمای سرزمین است، برای زیرحوضه‌های آبخیز تقی‌آباد و نهارخوران به سبب مساحت کم و غالبیت کاربری جنگل بیشترین مقدار به دست آمده است. کمترین مقدار نیز در زیرحوضه‌های آبخیز قزاقلی، گنبد و ارازکوسه مشاهده شد که به دلیل تغییر کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی در جنگل، از تنوع بالایی برخوردارند. بیشترین و کمترین شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) به ترتیب در

زیرحوضه‌های آبخیز تنگراه و نهارخوران مشاهده شد. بر اساس جدول ۳، بیشترین فشردگی شکل لکه (LSI) در زیرحوضه قزاقلی و کمترین مقدار این سنجه در زیرحوضه‌های تقی‌آباد و سیاه‌آب دیده می‌شود. زیرحوضه‌های آبخیز لزوره و رامیان کمترین III و زیرحوضه آبخیز نهارخوران بیشترین III را دارد. همچنین، در زیرحوضه‌های آبخیز منتخب، بالاترین مقادیر سنجه AI در زیرحوضه‌های آبخیز گنبد و تقی‌آباد و کمترین مقدار سنجه در زیرحوضه آبخیز رامیان مشاهده شد (جدول ۳). متوسط فاصله نزدیک-ترین همسایه (ENN-MN)، فاصله دو لکه مشابه را نشان می‌دهد که بیانگر بروز از هم گسیختگی در سیمای سرزمین است. بیشترین فاصله دو لکه در زیرحوضه آبخیز تنگراه و کمترین فاصله دو لکه در زیرحوضه آبخیز نهارخوران دیده می‌شود (جدول ۳). هر چه تعداد لکه در سیمای سرزمین بیشتر باشد، سیمای سرزمین از تنوع بیشتری برخوردار خواهد بود و در نتیجه لکه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده و چشم‌انداز در معرض تخریب بیشتری قرار دارد. شاخص پیوستگی لکه‌ها (Cohesion) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را بیان می‌کند. با

افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به مقادیر این شاخص در تمامی زیرحوضه‌ها، الگوهای پوشش گیاهی دارای پیوستگی می‌باشد.

سنجه میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE-MN) بزرگ‌تر از یک می‌باشد. با توجه به مقادیر سنجه‌های محاسبه شده، شکل لکه‌های کاربری در تمامی زیرحوضه‌ها نامنظم می‌باشد. بیشترین میزان سنجه نسبت محیط به مساحت (PARA-MN)، در زیرحوضه ناهارخوران و کمترین مقدار در زیرحوضه تنگراه مشاهده می‌شود. در صورتی که تعداد لکه‌های انسان-ساخت زیاد شود، میانگین نسبت محیط به مساحت لکه‌ها افزوده شده، مرز مشترک بیشتری با باقی‌مانده لکه‌های طبیعی خواهند داشت که این امر منجر به افزایش تخریب پوشش‌های طبیعی می‌شود. به همین

خاطر است که بیشترین میزان این سنجه در زیرحوضه ناهارخوران و کمترین مقدار در زیرحوضه تنگراه مشاهده می‌شود. با توجه به مقادیر سنجه ابعاد فراکتال منطقه (PAFRAC) در جدول ۳، تقریباً تمامی زیرحوضه‌ها دارای شکلی پیچیده هستند. مقادیر بالای شاخص تنوع شانون نشان‌دهنده حضور متعدد لکه‌های کوچک در کاربری‌های مختلف اراضی در سطح حوزه آبخیز است. این سنجه به خوبی میزان تکه‌تکه شدن کاربری جنگل را در آبخیز مورد مطالعه نشان می‌دهد. زمانی که انواع کاربری در سطح زیرحوضه پراکنده شده باشد، همبستگی این سنجه با رسوب زیرحوضه‌ها مثبت است. بر این اساس، زیرحوضه‌های ارازکوسه، قزاقلی و گنبد دارای بیشترین میزان تنوع و زیرحوضه‌های تقی‌آباد و ناهارخوران کمترین تنوع را دارند.

جدول ۳- مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در زیرحوضه‌های منتخب

زیرحوضه		سنجه‌ها*													
PD	ED	LPI	AREA-MN	LSI	CONTAG	III	AI	ENN-MN	COHESION	SHAPE-MN	PARA-MN	PAFRAC	SHDI	SIDI	
ارازکوسه	۴/۰۵	۲۹/۰۲	۳۳/۴	۲۴/۶۸	۲۸/۴۶	۶۲/۹۸	۳۵/۴۷	۹۵/۹۲	۱۱۱/۱۴	۹۹/۷۵	۱/۲۸	۹۵۵/۹۱	۱/۳۹	۱/۱۳	
گالیکش	۳/۷۷	۳۴/۹۷	۴۲/۷۷	۲۶/۵۱	۱۷/۴۴	۶۸/۱۶	۱۸/۳۶	۹۵/۲۶	۱۱۶/۸۸	۹۹/۷۲	۱/۲۷	۹۰۳/۷۴	۱/۳۴	۰/۹۱	
قزاقلی	۲/۵۹	۱۸/۲۷	۳۰/۳۸	۳۸/۵۸	۳۹/۱۱	۶۵/۲۶	۳۸/۳	۹۷/۴	۱۲۴/۲۴	۹۹/۸۸	۱/۱۹	۹۸۴/۳۷	۱/۳۳	۱/۱۱	
گنبد	۱/۳۱	۱۴/۷۱	۳۲/۶	۷۶/۲	۲۷/۳۵	۶۶/۷۱	۳۶/۶۵	۹۷/۹۶	۱۶۹/۸۸	۹۹/۸۸	۱/۲۶	۸۱۳/۳۱	۱/۲۹	۱/۰۸	
لزوره	۳/۸۷	۳۶/۰۵	۳۹/۰۵	۲۵/۸۲	۱۴/۴۲	۷۱/۶۱	۱۱/۳۷	۹۵/۲۱	۱۲۲/۲۶	۹۹/۷	۱/۲۶	۸۹۴/۷۶	۱/۳۴	۰/۷	
ناهارخوران	۷/۲۶	۳۸/۶۳	۸۲/۳۶	۱۳/۷۸	۹/۶۲	۷۶/۰۴	۴۷/۲۳	۹۵/۱۳	۱۰۴/۶۳	۹۹/۵۶	۱/۲۳	۹۹۸/۷۳	۱/۴	۰/۵۴	
نوده	۴/۷۲	۳۱/۳۴	۶۰/۴۳	۲۱/۱۸	۲۲/۸۳	۶۸/۷۳	۳۱/۲۳	۹۵/۶۵	۱۱۲/۷۱	۹۹/۶۹	۱/۳	۹۵۸/۴۹	۱/۴۱	۰/۹۳	
رامیان	۴/۷۱	۴۱/۰۴	۶۸/۱۳	۲۱/۲۴	۱۶/۱۹	۷۴/۸۸	۱۳/۶۱	۹۴/۴۵	۱۰۸/۱۲	۹۹/۶۹	۱/۲۵	۹۱۲/۱۲	۱/۳۴	۱/۴۲	
سرمو	۶/۴۸	۳۷/۰۸	۶۴/۰۹	۱۵/۴۲	۱۸/۶۷	۷۰/۳۷	۳۵/۶۹	۹۴/۹۲	۱۱۲/۵۲	۹۹/۷۷	۱/۲۲	۹۸۵/۵۴	۱/۳۷	۰/۷۲	
سیاه‌آب	۲/۳۴	۲۳/۹۸	۵۸/۰۵	۴۲/۸۲	۵/۳۴	۷۱/۷۷	۳۴/۵۱	۹۷/۵۲	۱۲۶/۰۲	۹۹/۶۳	۱/۲۵	۹۶۸/۸۲	۱/۳۴	۰/۷۷	
تقی‌آباد	۱/۶۱	۱۷/۲۲	۸۴	۶۲/۱	۴/۹۳	۸۴/۱۶	۲۵/۵۱	۹۸/۲۳	۱۱۵/۶۵	۹۹/۷۲	۱/۲۷	۸۷۸/۲۹	۱/۳۲	۰/۴۶	
تمر	۲/۸۶	۲۱/۶۵	۵۷/۹۳	۳۵/۰۲	۲۱/۱۸	۶۹/۶۷	۲۷/۵۴	۹۷/۳	۱۱۱/۷۴	۹۹/۸۴	۱/۲۴	۹۸۰/۹۱	۱/۳۵	۰/۹۴	
تنگراه	۰/۴۴	۱۵/۷۳	۳۷/۲۷	۲۲۶/۵۴	۱۶/۶۳	۷۰/۰۸	۳۱/۶۵	۹۷/۹۲	۳۳۹/۱۱	۹۹/۸۴	۱/۷۵	۵۵۵/۰۶	۱/۳۶	۰/۹۵	

* علایم اختصاری و واحدها مطابق با جدول ۱ است.

رگرسیون کمینه مربعات جزئی: جدول ۴، آماره‌های توصیفی سنجه‌های منتخب سیمای سرزمین در زیرحوضه‌های آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که دامنه تغییرات داده‌ها به دلیل تفاوت ویژگی‌های زیرحوضه‌ها مانند مساحت، بسیار

زیاد بوده است. به طوری که ضریب تغییرات سنجه‌های شاخص پیوستگی لکه و شاخص تجمع (AI) زیاد به دست آمده است. با توجه به مقادیر شاخص پیوستگی لکه در تمامی زیرحوضه‌ها، کاربری اراضی دارای پیوستگی می‌باشد. در زیرحوضه‌های مطالعاتی

نسبت به تراکم لکه، تراکم حاشیه و میانگین سطح لکه حساس‌تر است (Shi و همکاران، ۲۰۱۳). همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، شاخص‌های تنوع با سنجه سرایت (CONTAG) نیز همبستگی بالایی ($r = -0/93$ و $r = -0/95$) دارند.

نتایج مدل‌سازی رسوب با رگرسیون کمینه مربعات جزئی در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس این جدول، اولین مؤلفه ۳۷/۶ درصد از واریانس را در داده‌های رسوب نشان می‌دهد و مؤلفه دوم و سوم به ترتیب ۱۲/۹ و ۲۰/۷ درصد از واریانس کل را شامل می‌شوند. علاوه بر این، سه مؤلفه اول ۷۱ درصد از واریانس کل رسوب را به خود اختصاص داده‌اند. به‌طوری که کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) برای مؤلفه سوم به میزان ۰/۷۶۳ تن در سال به‌دست آمد (جدول ۶). همچنین، مقدار Q^2_{cum} در میزان رسوب ۰/۸۸ می‌باشد که این نشان‌دهنده توانایی مناسب مدل در پیش‌بینی رسوب است.

گنبد و تقی‌آباد بیشینه مقدار شاخص تجمع مشاهده می‌شود و کمترین جداسدگی در زیرحوزه آبخیز رامیان و در لکه‌های کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع مشاهده می‌شود.

جدول ۵، ماتریس همبستگی بین شاخص‌های چشم‌انداز را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که سنجه‌های سیمای سرزمین با یک‌دیگر همبستگی بالایی دارند. به‌طوری که سنجه‌های تراکم لکه (PD)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، تراکم حاشیه (ED)، شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) که از اساسی‌ترین سنجه‌ها در چشم‌انداز می‌باشند، همبستگی بالایی با سنجه‌های تنوع (شاخص شانون و سیمپسون) و تجمع دارند. از طرفی، سنجه‌های تنوع نیز همبستگی بالایی ($r = 0/97$) با هم دارند. این در حالی است که شاخص شانون نسبت به پوشش‌های جزئی چشم‌انداز و شاخص سیمپسون نسبت به انواع پوشش‌های معمول حساس است. علاوه بر این، شاخص‌های شانون نسبت به سیمپسون

جدول ۴- آماره‌های توصیفی سنجه‌های منتخب برای زیرحوزه‌های آبخیز مطالعاتی

سنجه‌های سیمای سرزمین	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
PD	۰/۴۴	۷/۲۶	۳/۵۴	۱/۹۷	۱/۷۹
ED	۱۴/۷۱	۴۱/۰۴	۲۷/۶۷	۹/۵۱	۲/۹۱
LPI	۳۰/۳۸	۸۴	۵۳/۱۱	۱۸/۵۷	۲/۸۶
AREA-MN	۱۳/۷۸	۲۲۶/۵۴	۴۸/۴۵	۵۶/۵۱	۰/۸۶
LSI	۴/۹۳	۳۹/۱۱	۱۸/۶۳	۹/۵۴	۱/۹۵
CONTAG	۶۲/۹۸	۸۴/۱۶	۷۰/۸۳	۵/۳۵	۱۳/۲۳
III	۱۱/۳۷	۴۷/۲۳	۲۹/۷۸	۱۰/۳۰	۲/۸۹
AI	۹۴/۴۵	۹۸/۲۳	۹۶/۳۵	۱/۳۵	۷۱/۵
ENN-MN	۱۰۴/۶۳	۳۳۹/۱۱	۱۳۶/۵۳	۶۳/۰۲	۲/۱۷
COHESION	۹۹/۵۶	۹۹/۸۸	۹۹/۷۴	۰/۱۰	۱۰۴۴/۴
SHAPE-MN	۱/۱۹	۱/۷۵	۱/۲۹	۰/۱۴	۹/۲۰
PARA-MN	۵۵۵/۰۶	۹۹۸/۷۳	۹۰۶/۹۳	۱۱۸/۵۱	۷/۶۵
PAFRAC	۱/۲۹	۱/۴۱	۱/۳۵	۰/۰۳	۳/۹۸
SHDI	۰/۴۶	۱/۱۳	۰/۸۴	۰/۲۱	۳/۹۰
SIDI	۰/۲۶	۰/۶۷	۰/۵۱	۰/۱۳	۴/۰۲

جدول ۵- ماتریس همبستگی سنجه‌های چشم‌انداز

AI	SIDI	SHDI	COHESION	IJI	CONTAG	ENN-MN	PAFRAC	PARA-MN	SHAPE-MN	AREA-MN	LSI	ED	LPI	PD	
														۱/۰۰	PD
													۱/۰۰	-۰/۴۵	LPI
												۱/۰۰	-۰/۳۴	-۰/۸۸	ED
											۱/۰۰	-۰/۲۳	-۰/۰۷	-۰/۰۹	LSI
									۱/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۶۲	-۰/۰۳	-۰/۶۹	-۰/۶۹	AREA-MN
								۱/۰۰	-۰/۹۳	-۰/۱۲	-۰/۳۵	-۰/۲۴	-۰/۴۸	-۰/۴۸	SHAPE-MN
								۱/۰۰	-۰/۹۱	-۰/۹۴	-۰/۰۸	-۰/۴۶	-۰/۳۳	-۰/۶۵	PARA-MN
							۱/۰۰	-۰/۲۶	-۰/۰۹	-۰/۱۹	-۰/۰۳	-۰/۴۸	-۰/۲۹	-۰/۶۴	PAFRAC
						۱/۰۰	-۰/۱۲	-۰/۹۴	-۰/۹۵	-۰/۹۸	-۰/۰۱	-۰/۵۱	-۰/۳۸	-۰/۰۶	ENN-MN
				۱/۰۰	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰	-۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۸۳	-۰/۰۵	-۰/۰۵	CONTAG
				۱/۰۰	-۰/۲۱	-۰/۰۹	-۰/۳۴	-۰/۱۵	-۰/۰۲	-۰/۰۷	-۰/۲۲	-۰/۲۹	-۰/۰۵	-۰/۱۴	IJI
			۱/۰۰	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۴۲	-۰/۴۶	-۰/۳۸	-۰/۲۳	-۰/۴۳	-۰/۷۱	-۰/۶۶	-۰/۶۴	-۰/۵۹	COHESION
	۱/۰۰	-۰/۶۹	-۰/۲۲	-۰/۹۳	-۰/۲۶	-۰/۰۵	-۰/۱۵	-۰/۱۵	-۰/۰۲	-۰/۸۴	-۰/۴۱	-۰/۸۶	-۰/۳۵	-۰/۳۵	SHDI
	۱/۰۰	-۰/۹۷	-۰/۶۵	-۰/۰۷	-۰/۹۵	-۰/۲۳	-۰/۱۱	-۰/۱۳	-۰/۱۲	-۰/۱۶	-۰/۷۹	-۰/۳۳	-۰/۹۱	-۰/۳۵	SIDI
۱/۰۰	-۰/۱۸	-۰/۲۵	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۴۷	-۰/۴۹	-۰/۴۳	-۰/۳۲	-۰/۵۹	-۰/۰۵	-۰/۹۸	-۰/۲۱	-۰/۸۶	AI

جدول ۶- نتایج مدل‌سازی رسوب با رگرسیون کمینه مربعات جزئی

متغیر وابسته (Y)	R ²	Q ²	مؤلفه	درصد تغییرات رسوب	درصد تجمعی تغییرات رسوب	RMSEP	Q ² cum
			۱	۳۷/۶	۳۷/۶	۱/۳۰۶	۰/۷۶۱
			۲	۱۲/۹	۵۰/۵	۱/۲۲۱	۰/۸۰۲
رسوب	۷۱	۰/۸۸۳	۳	۲۰/۷	۷۱/۲	۰/۷۶۳	۰/۸۸۳
			۴	۱۳/۴	۸۴/۶	۰/۸۹۳	۰/۸۸۵
			۵	۱۴/۹	۹۹/۵	۱/۱۲۲	۰/۹۰۵

شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) و پراکندگی نسبی در هر کاربری (IJI) با دارا بودن مقادیر مثبت ارتباط مستقیم با رسوب آبخیز دارند. بیشتر بودن ضرایب رگرسیونی مثبت برای سنجه شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI) ($RC=۰/۰۲۰$) و $VIP=۰/۸۰$ و سپس سنجه شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) ($RC=۰/۰۱۷$) و $VIP=۰/۸۴$ نشان‌دهنده ارتباط بیشتر این سنجه‌ها با رسوب آبخیز می‌باشد. بیشترین مقادیر ضرایب رگرسیونی منفی

اهمیت نسبی سنجه‌های سیمای سرزمین در میزان رسوب از طریق بررسی مقادیر VIP و ضریب رگرسیون (RC) تعیین می‌شوند (جدول ۷). با توجه به ضرایب رگرسیونی در جدول ۷، سنجه‌های شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، تراکم حاشیه (ED)، میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) و مجموع جزئیات انواع لکه (CONTAG) ارتباط معکوس و سنجه‌های شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI)،

سنجه‌های مهم در کاهش رسوب معرفی شده است. سنجه شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI) و شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) به علت داشتن ضریب رگرسیون مثبت و VIP نزدیک به یک بیشترین تأثیر را در افزایش رسوب آبخیز دارند. شاخص شکل سیمای سرزمین، تابعی از نحوه گسترش کاربری است. زمانی که توسعه کاربری پراکنده با پیشینه محیط باشد، انتقال رسوب به سهولت انجام می‌شود. به همین خاطر، با میزان رسوب زیرحوضه‌ها رابطه مستقیم دارد. جدول ۷، بالاترین مقادیر وزن (بار عاملی) را برای سنجه‌های حاصل نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر بار عاملی سنجه‌های شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI)، شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) در مؤلفه اول و دوم، سنجه میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) در مؤلفه‌های سوم و چهارم، سنجه شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI)، در مؤلفه اول و سنجه شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) در مؤلفه چهارم مشاهده می‌شود. بیشتر نمود بار عاملی سنجه‌ها در میزان رسوب در مؤلفه‌های سه‌گانه نیز تکرار می‌شود.

برای سنجه‌های میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) ($RC=-0.039$ و $VIP=1/18$) و سپس برای دو سنجه سنجه‌های شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) و تراکم حاشیه (ED) نشان داده شده است. سنجه‌های شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) و میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN) به علت داشتن VIP بیش از یک و داشتن ضرایب رگرسیونی منفی، بیشترین تأثیر را در کاهش میزان رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز منتخب دارند. این بدین معنی است که هر چه وسعت بزرگ‌ترین لکه در آبخیز کاهش یابد، مقدار رسوب کاهش می‌یابد. در بیشتر آبخیزهای مورد مطالعه وسعت لکه غالب مربوط به کاربری جنگل است که کاهش سطح آن فرسایش خاک و رسوب بیشتر را به همراه دارد. تخریب پوشش جنگلی و مرتعی که به صورت لکه‌های پراکنده در سطح زیرحوضه‌ها نمایان می‌شود، سبب می‌شود، فاصله هر کاربری تا نزدیک‌ترین لکه همسایه کاهش یابد. به همین خاطر، سنجه میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) نیز به‌عنوان یکی از

جدول ۷- مقادیر VIP و ضرایب وزن در مدل PLSR

سنجه‌های سیمای سرزمین	VIP	RC	مؤلفه سوم	مؤلفه دوم	مؤلفه اول
LPI	۱/۲۹	-۰/۰۱۴	۰/۱۹	-۰/۴۶	-۰/۶۳
ED	۰/۶۲	-۰/۰۱۴	-۰/۳۹	-۰/۱۸	-۰/۲۱
LSI	۰/۸۰	۰/۰۲۰	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۴۱
AREA-MN	۰/۸۴	۰/۰۱۷	-۰/۰۹	۰/۳۲	-۰/۱۹
PARA-MN	۱/۷۴	-۰/۰۰۲	-۰/۴۱	-۰/۶۵	۰/۵۰۷
ENN-MN	۱/۱۸	-۰/۰۳۹	-۰/۷۳	۰/۳۶	-۰/۲۰۴
CONTAG	۰/۳۳	-۰/۰۰۵	۰/۱۲۱	-۰/۱۱	-۰/۱۷
III	۰/۱۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۷	۰/۰۳۱	۰/۰۶

رگرسیون کمینه مربعات جزئی با همبستگی بالا و کم‌ترین میزان خطا می‌باشد.

$$Sediment = 7.57 - 0.014LPI + 0.02LSI + 0.018AREA_MN - 0.001PARA_MN - 0.02ENN_MN \quad (5)$$

$$R^2 = 0.84 \text{ و } RMSEP = 0.37$$

با توجه به رابطه (۵) از میان ۱۵ سنجه سیمای سرزمین سنجه بزرگ‌ترین لکه (LPI)، سنجه شکل سیمای سرزمین (LSI)، شاخص میانگین اندازه لکه

پس از محاسبه تأثیرگذارترین سنجه‌ها در رسوب، با استفاده از رگرسیون چندگانه ارتباط سنجه‌های حاصله و میزان رسوب به شرح رابطه (۵) به دست آمد. با توجه به معیارهای ارزیابی مدل رگرسیون کمینه مربعات جزئی، میزان ضریب همبستگی (R^2) بین رسوب و سنجه‌های سیمای سرزمین ۰/۸۴ و مجذور میانگین مربعات خطای پیش‌بینی شده (RMSEP)، ۰/۳۷ محاسبه شد که بیانگر کارایی مناسب مدل

کاربری اراضی را نشان می‌دهد که می‌تواند باعث رسوب‌زایی زیادی در آبخیز شود.

نتایج حاصل از سنجه میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه در بین کاربری‌های مختلف چشم‌انداز در استان گلستان، نشان می‌دهد که هر چه تعداد و تراکم لکه‌های مختلف کاربری بیشتر باشد، میانگین و واریانس فواصل نزدیک‌ترین همسایه کمتر خواهد بود و میزان فرسایش افزایش می‌یابد. بنابراین، حضور فراوان لکه‌های کوچک در پوشش‌های گیاهی مختلف، منجر به کم شدن فواصل دو لکه مشابه شده و در نتیجه افزایش میزان فرسایش و میزان رسوب را به همراه دارد که با پژوهش He و همکاران (۲۰۰۰) و Mostafazadeh (۲۰۱۴) مطابقت دارد. از این رو، بهتر است برای تغییر کاربری‌های آستانه مساحتی در نظر گرفته شود. در این پژوهش، زیرحوضه تنگراه بیشترین مقدار فاصله دو لکه مشابه را نشان می‌دهد، کاربری غالب این زیرحوضه، مرتع و کشاورزی است. میزان تراکم لکه‌های اراضی مرتعی و اراضی کشاورزی زیاد نبوده، منطقه دارای یکپارچگی است. عواملی از جمله فرسایش، تغییرات اقلیمی و دخالت‌های انسانی در تغییر ساختار سیمای سرزمین بسیار مؤثر بوده، تغییرات گسترده در نسبت کاربری‌ها به صورت افزایش مساحت لکه‌های اختلالی (کشاورزی، شهر و اراضی بایر) و کاهش در عرصه‌های منابع طبیعی (جنگل و مرتع) از عوامل مؤثر در میزان فرایندهای فرسایش و میزان رسوب‌دهی است.

سنجه شکل سیمای سرزمین (LSI) و شاخص میانگین اندازه لکه (AREA-MN) از سنجه‌های مؤثر در میزان رسوب‌دهی آبخیزهای منتخب شناخته شدند. همبستگی مثبت شکل لکه (LSI) با مقادیر رسوب زمانی مشاهده می‌شود که انواع کاربری در سطح زیرحوضه پراکنده باشند. در زیرحوضه قزاقلی با توجه به وسعت آبخیز بیشترین پراکنش کاربری اراضی مشاهده می‌شود. تنوع کاربری‌های مختلف اعم از مرتع، جنگل، سطوح آبی، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی منجر به ایجاد لکه‌های فراوان نسبت به زیرحوضه‌های دیگر و افزایش بی‌نظمی شکل لکه‌ها و پیچیدگی بیشتر شکل شده است. همچنین، شاخص شکل لکه در زیرحوضه‌های آرازکوسه و گنبد بیشتر

(AREA-MN)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) و میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN)، بیشترین نقش در برآورد رسوب را داشتند. از این رو برای تفسیر نتایج رسوب زیرحوضه‌ها مناسب‌تر شناخته شدند. بر اساس طبقه‌بندی Marks و McGarigal (۲۰۰۲)، سنجه‌های حاصل از این پژوهش نمایندگان حاشیه، تجمع، شکل چشم‌انداز هستند که با میزان رسوب خروجی از زیرحوضه‌های منتخب، ارتباط معنی‌داری دارند (جدول ۷). با توجه به جدول ۷، بین سنجه شاخص بزرگ‌ترین لکه و میزان رسوب همبستگی منفی بالایی دیده می‌شود. در بیشتر زیرحوضه‌های آبخیز مورد مطالعه کاربری جنگل، اراضی کشاورزی و مراتع غالب است و کاهش شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) نشان‌دهنده تخریب یک‌پارچگی پوشش اراضی و توسعه مناطق مسکونی و زراعی در سایر کاربری‌هاست که این باعث افزایش فرسایش خاک و رسوب می‌شود. Shi و همکاران (۲۰۱۳) نیز در پژوهشی که در چین انجام دادند، شاخص بزرگ‌ترین لکه را به عنوان یکی از مهمترین سنجه‌های مؤثر در میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها معرفی کردند، همچنین، پژوهش Zhang و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد که میزان فرسایش با سنجه شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، شاخص انسجام لکه، شاخص رطوبت سیمپسون و شاخص تجمع همبستگی بالایی دارد. به طوری که با افزایش مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) میزان فرسایش خاک کاهش یافته است. میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN) پارامتر دیگری است که در رسوب آبخیز نقش دارد. هر چه نسبت محیط به مساحت کمتر باشد، شکل لکه بیشتر به سمت دایره میل می‌کند. از این رو حاشیه لکه ساده‌تر می‌شود و میزان انتقال رسوب کاهش می‌یابد. حال، با توجه به این که سنجه میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN) از مؤثرترین سنجه‌ها در کاهش میزان رسوب‌دهی شناخته شد، با ثابت نگه داشتن شکل، افزایش اندازه لکه باعث کاهش نسبت محیط به مساحت می‌شود و این امر منجر به کاهش فرایندهای فرسایش آبخیز از جمله رسوب شده است. این موضوع، لزوم توجه به کمینه حاشیه و محیط در تخصیص

فاصله نزدیک‌ترین همسایه (ENN-MN) و میانگین نسبت محیط به مساحت (PARA-MN) به ترتیب با مقادیر اهمیت متغیر در پیش‌بینی (VIP) ۱/۲۹۶، ۱/۱۸۴ و ۱/۷۴۷ و ضرایب همبستگی ۰/۰۱۴-، ۰/۰۳۹- و ۰/۰۰۲- به‌عنوان سنج‌های اصلی که با مقدار رسوب رابطه عکس داشتند، شناسایی شدند و سنج‌های شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI) و میانگین اندازه لکه (AREA-MN) با مقادیر VIP، ۰/۸۰ و ۰/۸۴ و ضرایب رگرسیونی ۰/۰۲۰ و ۰/۰۱۷ ارتباط مستقیمی با رسوب حوزه آبخیز داشتند که ۷۱ درصد از تغییرات رسوب را در زیرحوزه‌های آبخیز تبیین می‌کنند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که الگوی توزیع مکانی کاربری‌های مختلف نقش تعیین‌کننده‌ای در رسوب خروجی حوزه آبخیز دارد. در مطالعات رایج برای برنامه‌ریزی کاربری زمین بیشتر به قابلیت اراضی توجه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که قابلیت اراضی به تنهایی معیار صحیحی برای برنامه‌ریزی کاربری زمین نیست. از این‌رو، در مدیریت آبخیز و توسعه کاربری‌های مختلف نحوه گسترش و الگوی توزیع مکانی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. تدوین استانداردهایی برای جلوگیری از تغییر کاربری با وسعت کم و حاشیه زیاد می‌تواند نقش زیادی در کاهش رسوب داشته باشد. از سوی دیگر، ارتباط رسوب آبخیز و کاربری‌های مختلف در سطح آبخیز می‌تواند با پژوهش‌های بیشتر برای برآورد رسوب در آبخیزهای فاقد ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی تبدیل شود. از این‌رو، با توجه به نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود، سنج‌های متنوعی برای کمی‌سازی و تحلیل این الگوها استفاده شود و نتایج پژوهش حاضر در شرایط اقلیمی مختلف و کاربری‌های گوناگون بررسی شود.

است که این امر بیانگر مؤثر بودن سنج شکل لکه در افزایش میزان رسوب آبخیز در این زیرحوضه‌ها است. نتایج به‌دست آمده از کاربرد سنج متوسط شاخص شکل لکه در بررسی و تحلیل تغییرات کاربری و الگوهای پوشش گیاهی با یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش‌های Matsushita و همکاران (۲۰۰۶) و Fathizad و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

سنج میانگین اندازه لکه (AREA-MN) مفیدترین اطلاعات در سیمای سرزمین را ارائه می‌کند. در زیرحوضه‌های مطالعاتی بیشترین تراکم لکه در گنبد، قزاقلی و تنگراه مشاهده می‌شود. از این‌رو، مهمترین تغییرات ایجاد شده در سیمای سرزمین مربوط به تعداد لکه و تراکم لکه‌هاست که با کاهش میانگین اندازه لکه‌ها، میزان آن‌ها افزایش می‌یابد. سیمای سرزمین با میانگین اندازه لکه کوچک‌تر، تخریب شده‌تر تلقی می‌شود. افزایش تعداد لکه‌ها نیز نشانه تجزیه و کاهش پیوستگی است. کارایی میانگین اندازه لکه در بررسی تغییرات کاربری اراضی به‌وسیله Wang و همکاران (۲۰۱۱) و Ji (۲۰۰۸) نیز تایید شده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به دنبال تعیین ارتباط بین رسوب آبخیز با الگوی پراکنش کاربری‌های مختلف در قالب سیمای سرزمین در زیرحوزه‌های آبخیز منتخب استان گلستان بود. بدین‌منظور، از داده‌های دبی و رسوب معلق اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های هیدرومتری استان و تجزیه و تحلیل رگرسیون کمینه مربعات جزئی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که بین رسوب آبخیز با الگوهای مکانی کاربری‌های مختلف ارتباط زیادی وجود دارد. از میان ۱۵ سنج سیمای سرزمین، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین

منابع مورد استفاده

1. Apan, A.A., S.R. Raine and M.S. Paterson. 2002. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley Catchment, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 59(1): 43-57.
2. Bakker, M.M., G. Govers, A. van Doorn, F. Quetier, D. Chouvardas and M. Rounsevell. 2008. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology*, 98(3): 213-226.

3. Bateni, F., S. Fakheran Esfahani, A. Safianian and N. Mirghafari. 2016. Landscape pattern changes and water quality relationship in Zayandehroud River Basin. *Journal of Natural Environment*, 69(1): 1-20.
4. Boongaling, C.G.K., D.V. Faustino-Eslava and F.P. Lansigan. 2018. Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land Use Policy*, 72: 116-28.
5. Botequilha, A. and J. Ahern. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59(2): 65-93.
6. Farina, A. 1998. *Principles and methods in landscape ecology*. Chapman and Hall, London, 235 pages.
7. Fathizad, H., M. Faramarzi, M. Tazeh and A. Nohegara. 2013. Analysis of territory landscape metrics in the study of land use change, case study: Dehloran area. *The First International Conference on Land Ecology*, 8th and 9th Nov. 2013, Isfahan (in Persian).
8. Hasanalizadeh, N., A. Mosaedi, A.R. Zahiri and M. Babanezhad. 2014. Determine of homogeneous regions distribution of annual rainfall in Golestan Province using clustering and L-moments. *Journal of Water and Soil*, 28: 1061-1071 (in Persian).
9. He, C., S.B. Malcolm, K.A. Dahlberg and B. Fu. 2000. A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. *Landscape and Urban Planning*, 49(1-2): 25-34.
10. Hevia, G.G., M. Mendez and D.E. Buschiazzo. 2007. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma*, 140(1): 90-96.
11. Hosseini Vardei, M., A. Salman Mahiny, M. Monavari and M.M. Kheirkhah Zarkesh. 2012. Using landscape metrics in cumulative effects assessment of road network on tree cover. *Natural Environment*, 65(2): 139-152 (in Persian).
12. Huang, J., Q. Li, R.G. Pontius, V. Klemas and H. Hong. 2011. Detecting the dynamic linkage between landscape characteristics and water quality in a subtropical coastal watershed, southeast China. *Environmental Management*, 51(1): 1-13.
13. Irvem, A., F. Topaloğlu and V. Uygur. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336(1): 30-37.
14. Ji, W. 2008. Landscape effects of urban sprawl: spatial and temporal analyses using remote sensing images and landscape metrics. *ISPRS Archives*, 37(Part B): 1691-1694.
15. Kamyab, H., A. Salman Mahini and M. Shahraini. 2015. A genetic algorithm enhancement of MOLA approach using landscape metrics. *Town and Country Planning*, 7(1): 29-48 (in Persian).
16. Matsushita, B., M. Xu and T. Fukushima. 2006. Characterizing the changes in landscape structure in the lake Kasumigaura basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, 78(3): 241-250.
17. McGarigal, K. 2013. Landscape pattern metrics. *Encyclopedia of Environmetrics*, 2: 1441-1451.
18. McGarigal, K. and B. Marks. 2002. *Spatial pattern analysis program for categorical maps: computer software*. University of Massachusetts: Amherst, MA, USA.
19. McGarigal, K. and B.J. Marks. 1994. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. V. 2.0. Oregon Forest Science Lab, Oregon State University, Corvallis.
20. McGarigal, K., 2002. Landscape pattern metrics. In *Encyclopedia of Environmetrics*, 2: 1135-1142.
21. Memarian, H., S.K. Balasundram, J.B. Talib, A.M. Sood and K.C. Abbaspour. 2012. Trend analysis of water discharge and sediment load during the past three decades of development in the Langat Basin, Malaysia. *Hydrological Sciences Journal*, 57(6): 1207-1222.
22. Mosaedi, A., A. Sadodin, M. Zanganeh and H. Farazjo. 2010. Estimation of suspended sediment discharge based on sediment measurement equation and factors affecting its coefficients in Gorganroud Basin, Proceedings of the First National Conference on Applied Water Resources of Iran. May 22-21, Kermanshah. 583-592 (in Persian).
23. Mostafazadeh, R. (2014). Effects of different management scenarios of landscape metrics on storm runoff and sediment variations, PhD Thesis, Tarbiat Modares University, 145 pages (in Persian).
24. Ouyang, W., A.K. Skidmore, F. Hao and T. Wang. 2010. Soil erosion dynamics response to landscape pattern. *Science of the Total Environment*, 408(6): 1358-1366.
25. Sadeghi Shal, M., K. Sefidi, R. Mostafazadeh and M. Ahmadi. 2017. Regression modeling of land use metrics and runoff production in western Gilan watersheds. 2nd National Iranian Conference on Hydrology. 11-12 July, Shahrekord University.
26. Salman Mahini, A. 2013. Land use planning of Golestan Province. First faze report, Gorgan Governor of Golestan (in Persian).

27. Saghafian, B., H. Farazjoo, A. Sepehry and A. Najafinejad. 2006. Effects of land use change on floods in Golestan Dam drainage basin. *Water Resources Research Journal*, 18(2): 28-28 (in Persian).
28. Sharifan, H. and A. Mosaedi. 2007. Investigation of suspended sediment loads in Perennial Rivers, case study: Gorganroud Basin. *Journal of Water and Soil*, 22(1): 49-58 (in Persian).
29. Shi, Z.H., L. Ai, X. Li, X.D. Huang, G.L. Wu and W. Liao. 2013. Partial least-squares regression for linking land-cover patterns to soil erosion and sediment yield in watersheds. *Journal of Hydrology*, 498: 165-176.
30. Talebi, A., F. Sozandipour, M.T. Dastorani, A. Karimian and M. Soltani. 2015. Investigating the effect of land use in current and optimum conditions on sediment yield, case study: Shoor and Shirin Watershed of Shiraz. *Journal of Water and Soil Science*, 72: 47-55 (in Persian).
31. Varvani, J., S. Feiznia, M. Mahdavi and M. Arabkhedri. 2002. Analysis of regional suspended sediment in Gorganroud drainage basin using regression equations. *Iranian Natural Resources Journal*, 1: 35-47 (in Persian).
32. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1981. The reliability of suspended load data. *Erosion and Sediment Transport Measurement. Proceedings of the Florence Symposium, IAHS Publication*, 133: 177-194.
33. Wang, J., L. Yang, W. Wei, L. Chen and Z. Huang. 2011. Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of Loess Plateau in China: Landscape-level and comparison at multiscale. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica*, 31(19): 5531-5541.
34. Wold, S., M. Sjöström and L. Eriksson. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics Intelligent Laboratory Systems*, 58(2): 30-109.
35. Xu, Y., H. Tang, B. Wang and J. Chen. 2017. Effects of landscape patterns on soil erosion processes in a mountain-basin system in the north China. *Natural Hazards*, 87(3): 1567-1585.
36. Zhang, S., W. Fan, Y. Li and Y. Yi. 2017. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. *Science of the Total Environment*, 574: 34-45.
37. Zhou, Z.X. and J. Li. 2015. The correlation analysis on the landscape pattern index and hydrological processes in the Yanhe Watershed, China. *Journal of Hydrology*, 524: 417-426.