

بررسی میزان تولید رسوب معلق حوضه آبخیز زیارت گرگان در فصل‌های مختلف با استفاده از تکنیک منشأیابی رسوب

کاظم نصرتی^{۱*}، سعیده جلالی^۲

۱. دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲. کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۲۶؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۳/۳۰)

چکیده

فرسایش خاک جدی‌ترین و غیرقابل‌برگشت‌ترین تهدید برای توسعه پایدار به‌شمار می‌رود. با توجه به روند افزایشی نرخ فرسایش و تولید رسوب، هدف از این پژوهش تعیین سهم نسبی هریک از واحدهای فرسایشی سطحی و زیرسطحی در حوضه آبخیز زیارت گرگان در سه فصل پاییز، زمستان و بهار با استفاده از فن منشأیابی رسوب است. بدین‌منظور تعداد ۴۳ نمونه از منابع رسوب شامل کاربری‌های مرتع و کشاورزی (منابع سطحی) و کنار جاده و فرسایش کناره‌ای آبراهه (منابع زیرسطحی) و ۱۴ نمونه از رسوبات معلق خروجی حوضه جمع‌آوری و غلظت ۱۰ عنصر ژئوشیمیایی، به‌علاوه کربن آلی و سزیم ۱۳۷ در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از آزمون‌های کروسکال والیس و تحلیل تشخیص ترکیب بهینه ردیاب‌ها تعیین شدند. درنهایت، با استفاده از مدل چندمتغیره ترکیبی سهم نسبی هریک از منابع فرسایش در تولید رسوب در فصل‌های یادشده تعیین شد. نتایج نشان داد بیشترین سهم مربوط به فرسایش سطحی (کشاورزی و مراتع) در دو فصل زمستان و بهار است. همچنین فرسایش زیرسطحی (جاده و آبراهه) در فصل بهار با ۶۰/۴ درصد، میزان شایان توجهی را به خود اختصاص داده است. نتایج این پژوهش می‌تواند در انتخاب روش مدیریت فرسایش و رسوب حوضه آبخیز زیارت در فصل‌های مختلف به‌کار آید.

کلیدواژه‌گان: حوضه آبخیز زیارت، رسوب معلق، سزیم ۱۳۷، فرسایش فصلی، منشأیابی رسوب.

مقدمه

فرسایش خاک تحت تأثیر عامل آب (باران)، در کشورهای در حال توسعه به علت نرخ زیاد رشد جمعیت و فشار بر زمین‌های حساس به فرسایش، تهدیدی جدی برای پایداری مدیریت اراضی و بهره‌برداری از منابع آب به‌شمار می‌آید [۱]. مشکلات به‌وجودآمده از فرسایش تشدید می‌شود به‌طوری‌که مشکلات درون‌محلی در تخریب منابع طبیعی پایه مانند کاهش عمق و میزان مواد آلی خاک، تخلیه مواد مورد نیاز و در دسترس گیاه ختم نمی‌شود بلکه سبب مشکلات برون‌محلی مانند رسوب‌گذاری در مزارع، دشت‌های سیلابی و مجموعه‌های آبی، کیفیت آب و خسارت به آبیاری نیز می‌شود [۲-۴]؛ به‌طوری‌که طبق برآوردهای صورت‌گرفته سالانه ۲۳ میلیارد تن بیش از خاک تشکیل‌یافته از طریق زمین‌های زراعی از دسترس خارج می‌شود که به معنای تخلیه خاک موجود در جهان با نسبت ۷ درصد در هر دهه است. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که بیش از یک‌چهارم از خاک‌های جهان طی ۴۵ سال آینده حاصل‌خیزی خود را از دست بدهند [۴]. در این شرایط اجرای سیاست‌های مدیریت و کنترل رسوب یک نیاز فوری به‌شمار می‌آید و لازمه اجرای این برنامه‌ها، شناسایی و کسب اطلاع از اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آنها در تولید رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در درون آبخیز است [۵ و ۶]. در سال‌های اخیر روش منشأیابی رسوب به‌عنوان روشی قابل اطمینان برای تعیین سهم منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آنها مورد توجه محققان قرار گرفته است [۶-۹]، چراکه در این فن با مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بین منابع رسوب و رسوبات تولیدی در خروجی حوضه می‌توان مناطق پرخطر از نظر تولید رسوب را شناسایی کرد [۸ و ۱۰].

پیشینه تحقیق

بدین‌منظور نصرتی (۲۰۱۷) منابع رسوب در بین اجزای مختلف دامنه در اراضی کشاورزی و جنگل در حوضه آبخیز نچی- غرب ایران را با استفاده از ردیاب‌های کربن آلی و عناصر رادیونوکلئیدی بررسی کرد و به این نتیجه رسید بخش شانه دامنه در زمین‌های کشاورزی منبع اصلی رسوب است [۱۱]. تیپچر و همکارانش (۲۰۱۷) منابع رسوب را در یکی از حوضه‌های جنوب برزیل بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اراضی کشاورزی، رودخانه‌های اصلی، جاده‌های

غیرآسفالته و چراگاه‌ها به‌ترتیب ۱۶، ۴۹، ۱۵ و ۲۰ درصد در تولید رسوب سهم دارند [۱۲]. ژائو و همکارانش (۲۰۱۷) با استفاده از فن منشأیابی به این نتیجه رسیدند که ۶۵ درصد رسوبات رودخانه‌ی انچی‌چو در چین متعلق به ذرات ماسه‌سنگ‌های هوازده است [۱۳]. پنگ‌فی و والینگ (۲۰۱۷) با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی و سزیم ۱۳۷ توزیع مکانی فرسایش خاک و رسوب و منشأیابی رسوب را در یکی از حوضه‌های انگلستان انجام دادند و با مقایسه عدم قطعیت‌ها و آزمون‌های آماری به این نتیجه رسیدند که سزیم ۱۳۷ قابل اعتمادترین ردیاب در اندازه‌گیری فرسایش و منشأیابی رسوب است [۱۴]. گارازون گارزیا و همکارانش (۲۰۱۷) با استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپ پایدار، کربن آلی و نیتروژن منشأ رسوبات یکی از حوضه‌های آبخیز استرالیا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۶۰ درصد رسوبات مربوط به منابع زیرسطحی است [۱۵]. ارزیابی میزان فرسایش در فصول مختلف به‌خصوص در کشور ما ایران کمتر مورد توجه محققان بوده است. در صورتی که مطالعات نشان داده‌اند توجه به اختلاف فرسایش در فصول مختلف به میزان اختلاف فرسایش در مکان‌های مختلف مهم است [۱۶]. بدین‌ترتیب لازم است مکان‌هایی که در معرض خطر و فرسایش بیشتری هستند را در زمان‌های متفاوت جداگانه ارزیابی کرد تا با مشخص کردن عوامل مؤثر در فرسایش مدیریت بهتری را درباره روش‌های حفاظت خاک اعمال کرد.

هدف از این مطالعه، نشان‌دادن تنوع زمانی مقاومت خاک در برابر فرسایش با توجه به منابع فرسایشی در حوضه آبخیز زیارت است. حوضه آبخیز زیارت از جمله حوضه‌های آبخیز کوهستانی جنگل‌های هیرکانی واقع در استان گلستان است که در دهه اخیر با شدت فراوانی مورد تغییر کاربری از جنگل به اراضی کشاورزی و احداث جاده و ویلا شده که تخریب شدید خاک، افزایش بار رسوب و تغییر مسیر رود به‌وضوح قابل مشاهده است. بدین‌منظور در این مطالعه با استفاده از فن منشأیابی رسوب، سهم نسبی هریک از واحدهای فرسایشی در زمستان و بهار جداگانه محاسبه شد.

روش کار

معرفی منطقه

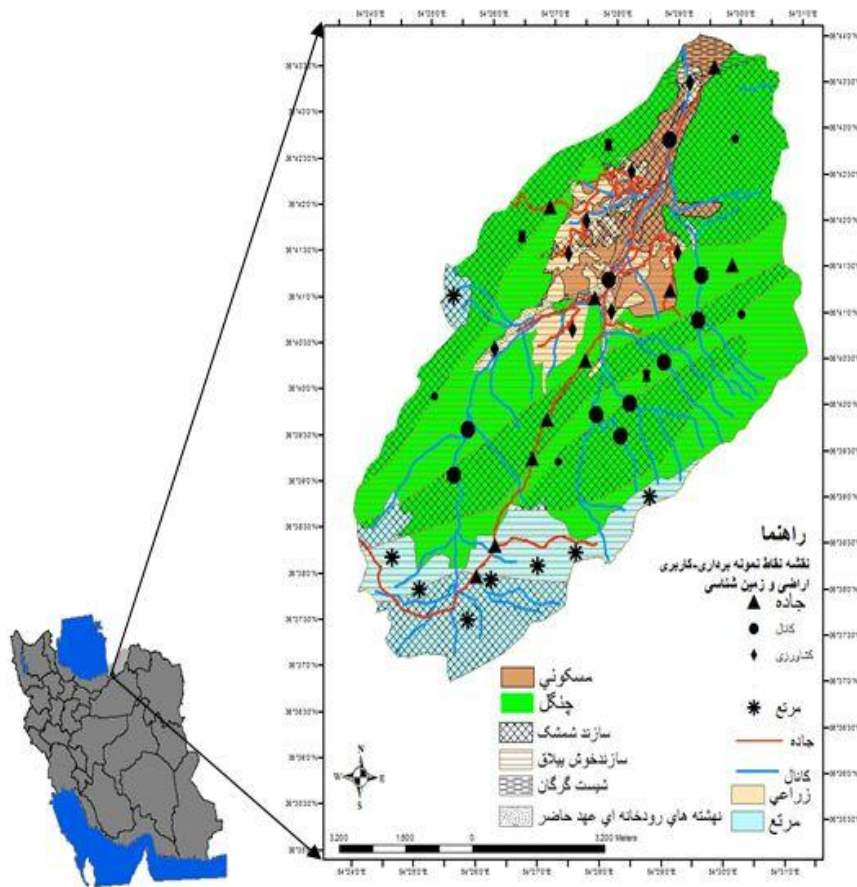
حوضه آبخیز زیارت با مساحت ۷۷/۹ کیلومتر مربع در استان

توجه به واحدهای موجود، انواع فرسایش سطحی (اراضی کشاورزی و مراتع) و فرسایش زیرسطحی (جاده و آبراهه) برای نمونه برداری انتخاب شدند. ۴۳ نمونه از واحدهای متفاوت، از عمق ۰-۵ سانتی متری جمع آوری شد (شکل ۱). به منظور اینکه نمونه‌ها معرف کاملی از محل نمونه برداری باشند، در هر یک از محل‌های نمونه برداری در شعاع تقریبی ۱۰۰ متری، حدود پنج نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن آنها، حدود یک کیلوگرم نمونه برداشت شد [۱۷-۲۰]. همچنین تعداد ۱۴ نمونه از رسوب‌های معلق در خروجی حوضه جمع آوری شد. بدین شرح که طی هر رخداد بارش در بازه زمانی سال (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳) هر ۱۵ دقیقه یکبار رسوبات معلق از آبراهه نقطه خروجی حوضه برداشت شدند. نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شدند، در داخل آن خشک و با الک ۶۳ میکرون غربال شدند و به آزمایشگاه ژئوشیمیایی دانشگاه شهید بهشتی و آزمایشگاه ژئوفیزیک دانشگاه مالک اشتر انتقال یافتند.

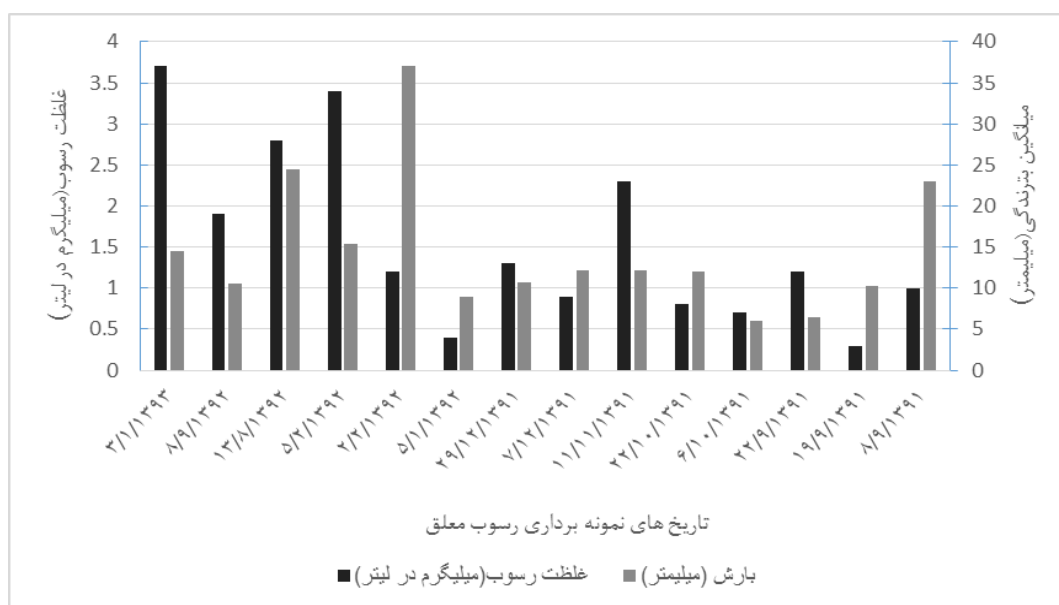
گلستان، جنوب شهرستان گرگان و بین مختصات ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۳۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶° و ۵۱' تا ۳۶° ۴۳' و ۵۹' عرض جغرافیایی قرار دارد. اقلیم معتدل تا سرد کوهستانی و میانگین دمای ۱۳/۷ سانتی گراد دارد. بیشترین بارش در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) و با میانگین ۵۳۱/۲۵ میلی‌متر در سال رخ می‌دهد. بیشترین و کمترین ارتفاعات در جنوبی‌ترین و شمالی‌ترین بخش حوضه به ترتیب با میانگین، ۳۰۲۰ و ۷۵۶/۴ متر از سطح دریا قرار دارد. در حوضه آبخیز زیارت، بیشترین مساحت مربوط به جنگل با مساحت ۵/۶ کیلومتر مربع، مرتع ۲ کیلومتر مربع، کشاورزی و مراتع ۱/۳ کیلومتر مربع و مناطق مسکونی ۱/۱ کیلومتر مربع است. طول جاده احداث شده ۳۲ کیلومتر مربع است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز و نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد.

نمونه برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

بعد از بازدید میدانی و آماده‌سازی نقشه‌های مورد نیاز، با



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز زیارت و نقاط نمونه برداری



شکل ۲. مشخصات نمونه برداری رسوبات معلق حوضه آبخیز زیارت

والیس^۴ و تحلیل تابع تشخیص^۵ استفاده شد. با استفاده از آماره H یا کروسکال والیس در آزمون ناپارامتری، توانایی هریک از ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب سطحی و زیرسطحی بررسی شد. ردیاب‌هایی که سطح معناداری آنها کمتر از ۰/۰۵ باشد، منابع رسوب را از هم تفکیک می‌کنند و وارد مرحله دوم می‌شوند و سایر ردیاب‌هایی که سطح معناداریشان بیشتر از ۰/۰۵ باشد، حذف می‌شوند. در مرحله بعد تحلیل تابع تشخیص گام‌به‌گام برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه به‌طوری که دارای کمترین همبستگی و بیشترین توان تفکیک باشند، استفاده می‌شود [۲۴ و ۱۳]. روش‌های آماری مربوط به این دو مرحله با استفاده از نرم‌افزار محاسبات آماری صورت پذیرفت.

در مدل‌های چندمتغیره ترکیبی از برنامه‌نویسی خطی برای حل تعدادی از معادلات استفاده می‌شود. در این مدل‌ها فرض بر این است که ترکیب و مخلوط شدن خصوصیات منشأیاب از منابع مختلف به‌صورت خطی است [۲۵]. از این‌رو، می‌توان مدل یا معادله ترکیبی را برای هر یک از خصوصیات منشأیاب به‌صورت رابطه ۱ نوشت:

$$\hat{X}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j \quad (1)$$

با توجه به مطالعات انجام‌شده قبل [۲۱-۲۳] و استدلال‌های موجود، عناصر آلی و ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئیدی، شامل، کربن آلی (OC)، استرانسیم (Sr)، نیکل (Ni)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg)، سرب (Pb) و سزیم (¹³⁷CS) به‌منظور منشأیابی انتخاب شدند. برای استخراج عناصر از نمونه‌های خاک و رسوب از روش هضم اسیدی استفاده شد. غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از دستگاه جذب اتمی^۱ و استفاده از نمونه استاندارد مرک^۲ و رسم منحنی کالیبراسیون اندازه‌گیری و به واحد میکروگرم بر گرم و مواد آلی نیز به روش والکی و بلاک^۳ اندازه‌گیری و به واحد گرم در کیلوگرم نمونه خاک گزارش شد. همچنین موجودی سزیم ۱۳۷ نیز در سیستم طیف‌نگاری ۵۵ درصد، طیف‌نگاری و آنالیز با استفاده از نرم‌افزار تحت ویندوز SrmBSI انجام و به واحد بکرل بر کیلوگرم در مدل استفاده شد [۲۴].

تعیین سهم منابع رسوب سطحی و زیرسطحی

به‌منظور انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها به‌عنوان ورودی در روش منشأیابی ترکیبی از روش‌های آماری کروسکال

4. Kruskal-Wallis H test
5. Discriminant function Analysis
6. SPSS 16

1. Atomic Absorption
2. Merck Standard
3. Walkley-Black method

معادله یادشده با حذف تأثیر واحدهای مختلف اندازه‌گیری را می‌توان به صورت رابطه ۳ نوشت:

$$R = \sum_{i=1}^m \left[\frac{X_i - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right)}{X_i} \right]^2 \quad (3)$$

R : مجموع خطاهای نسبی است. به این معادلات توابع هدف نیز می‌گویند. جواب‌های بهینه برای سهم منابع رسوب با حداقل کردن یکی از معادلات ۲ و ۳ با استفاده از عملیات تکرار و سعی و خطا به دست می‌آید. بدین شکل که مقادیر مختلف برای سهم منابع رسوب (b_j) انتخاب شده و مقدار تابع هدف (E یا R) محاسبه می‌شوند و این عملیات تا جایی ادامه می‌یابد که E یا R به کمترین مقدار خود برسند. برای به دست آوردن سهم بهینه رسوب برآورد شده توسط مدل‌های چندمتغیره ترکیبی استفاده شده است جواب بهینه برای سهم منابع رسوب با حداقل کردن این معادله و با استفاده از عملیات تکرار و سعی و خطا و با در نظر گرفتن دو شرط $0 \leq b_j \leq 1$ و مجموع b_j ها باید برابر با یک باشد و با استفاده از ابزار *solver* به دست می‌آید. به منظور محاسبه سهم فرسایشی در فرسایش و تولید رسوب در فصول مختلف، نمونه‌های رواناب برداشت شده از خروجی حوضه در هر فصل با منابع رسوب به صورت جداگانه مقایسه شدند. بدین معنا که در این مطالعه با توجه به اینکه پنج نمونه رواناب در فصل پاییز، چهار نمونه در فصل بهار و پنج نمونه در زمستان برداشت شده بود، با استفاده از فن منشأیابی رسوب، سهم هریک از منابع در تولید رسوب با نمونه‌های رسوب به طور مجزا در سه فصل پاییز، زمستان و بهار مقایسه شدند؛ یعنی مشخص شد سهم نسبی هریک از کاربری‌ها در تولید رسوب در هر فصل چند درصد است.

یافته‌ها

ترکیب بهینه ردیاب‌ها

جدول ۱ نتایج آزمون آماری کروسکال والیس را در واحدهای فرسایشی نشان می‌دهد. پنج عنصری که سطح معناداری آنها کمتر از ۰/۰۵ است، با ستاره مشخص شده‌اند. این پنج عنصر با ۹۵ درصد اطمینان از صحیح بودن، قادر به تفکیک و جداسازی واحدهای

در این معادله \hat{X}_i ، برابر با مقدار برآوردی خصوصیت i ام m و ... و ۲ و ۱، a_{ij} ، مقدار میانگین خصوصیت i ام در منبع رسوب j ام (n و ... و ۲ و ۱)، b_j ، سهم منبع رسوب j ام، n ، تعداد منابع رسوب و m ، تعداد خصوصیات منشأیاب است. برای هر یک از خصوصیات منشأیاب، معادله یادشده تکرار می‌شود و بنابراین به تعداد خصوصیات، معادله وجود خواهد داشت و مدل چندمتغیره ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادلات می‌توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به دست آورد. در حل این معادلات باید دو شرط زیر را در نظر گرفت [۲].

۱. مقادیر ضریب سهم هر یک از منابع رسوب باید بین صفر و یک باشد.
۲. مجموع ضرایب سهم هر یک از منابع رسوب باید برابر با یک باشد.

$$\sum_{j=1}^n b_j = 1$$

چون مجموعه معادلات یادشده مجهولات زیادی دارد و راه‌حل‌های متنوعی می‌تواند داشته باشد، برای به دست آوردن نتایج بهینه در تعیین سهم منابع رسوب و به جای حل مستقیم باید از روش‌های بهینه‌سازی استفاده شود [۵]. در مطالعات منشأیابی، روش‌هایی از جمله حداقل کردن مجموع مربعات باقی مانده یا حداقل کردن مجموع خطاهای نسبی و یا هر دو برای به دست آوردن سهم بهینه منابع رسوب برآورد شده توسط مدل‌های چندمتغیره ترکیبی استفاده شده است.

مجموع مربعات باقی مانده را می‌توان به صورت رابطه ۲ نوشت:

$$R = \sum_{i=1}^m (X_i - \hat{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^m \left[X_i - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right) \right]^2 \quad (2)$$

R ، مجموع مربعات باقی مانده و X_i مقدار اندازه‌گیری شده خصوصیت i ام در نمونه رسوب، Z_j ضریب اصلاحی مواد آلی، m تعداد خصوصیات ردیاب و n تعداد متغیر گروه‌بندی (واحدهای فرسایشی)، b_j ضریب سهم هر یک از منابع رسوب، a_{ij} مقدار میانگین ردیاب i ام در منبع رسوب j ام

جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است. نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص در جدول ۳ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۲، ردیاب‌های کربن آلی، سزیم ۱۳۷ و مس، در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۰۱، بیشترین توان تفکیک و جداسازی واحدهای فرسایش سطحی و زیرسطحی را دارند. نتیجه به‌دست‌آمده با مطالعه [۲۶، ۸، و ۲۷] مطابقت دارد. آنان به این مهم دست یافتند که در بین عناصر ژئوشیمی و رادیونوکلوئیدی به‌کار گرفته‌شده، سزیم ۱۳۷ قابل اعتمادترین ردیاب برای آگاهی از فرایندهای فرسایشی سطحی است.

فرسایشی هستند؛ یعنی میانگین غلظت هر یک از عناصر حداقل در یک منبع از منابع دیگر متفاوت است. در این جدول مقدار آماره H نیز در نظر گرفته شده است. هر چه مقدار H بیشتر باشد، قدرت تفکیک عنصر هم بیشتر می‌شود. همان‌طور که در اینجا مشخص شده است، با افزایش مقدار آماره H سطح معناداری نیز بهتر شده است. جدول ۲ مراحل مختلف اضافه‌شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش گام‌به‌گام و تأثیر آنها بر توان جداسازی منابع رسوب برای واحدهای فرسایشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص شده است، با اضافه‌شدن هر ردیاب مقدار ویلکس لامبدا (نسبت اختلاف‌های درون گروهی به اختلاف‌های بین گروهی) کاهش یافته و سطح معناداری بهتر شده است و در نتیجه توان

جدول ۱. نتایج آزمون آماری کروسکال والیس در واحدهای فرسایشی سطحی و زیرسطحی

سطح معناداری*	مقدار H	ردیاب	سطح معناداری	مقدار H	ردیاب
۰/۱۷۸	۵	Fe	۰/۳۴۴	۳/۳	Sr
۰/۷۱۱	۱/۴	Ca	۰/۲۳۶	۴/۲	Mn
۰/۰۰۰	۲۲	OC*	۰/۱۸۷	۴/۷	Na
۰/۰۵۰	۷/۸	Pb	۰/۶۶۵	۱/۵	Mg
۰/۸۳	۰/۸۴	Ni	۰/۰۲۲	۹/۷	K*
۰/۰۰۱	۱۳/۵۸	Cs ¹³⁷ *	۰/۰۰۰	۱۷/۸	Cu*

*سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است.

جدول ۲. وضعیت گام‌های مختلف ورود عناصر به مدل در واحدهای فرسایشی سطحی و زیرسطحی

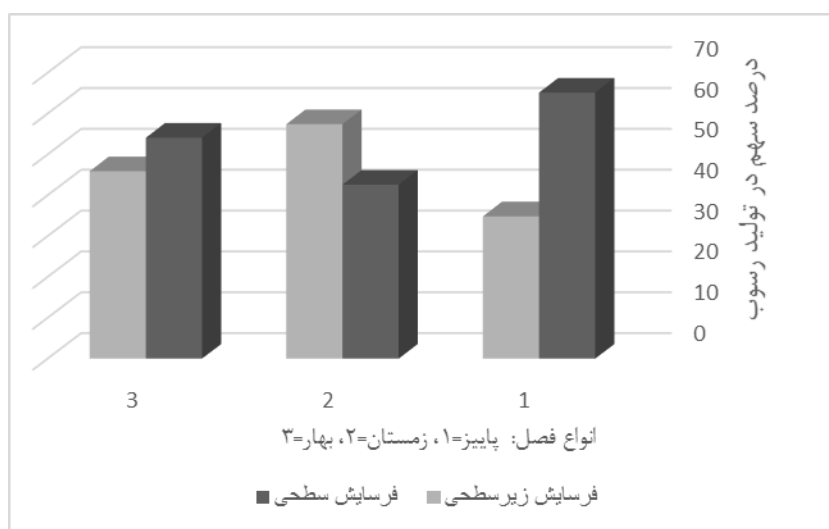
گام	خصوصیت ردیاب	ویلکس لامبدا	سطح معناداری*
۱	C	۱۸/۴	۰/۰۰۰
۲	Cs ¹³⁷	۱۶	۰/۰۰۰
۳	Cu	۱۱	۰/۰۰۰

*سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است.

جدول ۳. ویژگی‌های توابع تحلیل تشخیص در واحدهای فرسایشی سطحی و زیرسطحی

تابع	مقدار ویژه	درصد تجمعی	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	سطح معناداری*
۱	۳۴/۷	۹۶/۵	۹۶/۵	۰/۹۰۵	۱۲/۹	<۰/۰۰۰۱
۲	۰/۲۴	۳/۵	۱۰۰	۰/۲۸۸	۰/۷۱	<۰/۰۴۸

*سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است.



شکل ۳. نمودار نتایج سهم منابع رسوب در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار

آبراهه)، سهم بیشتری در تولید رسوب دارد، با توجه به اینکه بیشترین میزان بارش از نظر کمیت، بازه زمانی و مکانی در این فصل رخ داده و حدود ۵۰ درصد جاده در حوضه زیارت از نوع شوسه است و جاده‌های احداث شده سبب ایجاد حجم عظیمی از عملیات خاک‌برداری و فرسایش شده است و آبراهه‌های فرعی به‌صورت فصلی در این حوضه فعال‌اند. بنابراین، سبب ایجاد حجمی از رسوب شده است. از سوی دیگر، با توجه به کشت پاییزه در اراضی کشاورزی می‌توان گفت که در این فصل به‌رغم بارش زیاد، وجود گیاه در سطح خاک مانع از تخریب خاک در این کاربری شده است. منابع فرسایش سطحی شامل اراضی کشاورزی و مراتع دست‌خورده در زمستان و بهار بیشترین سهم را در تولید رسوب داشتند. در این فصل‌ها اراضی کشاورزی و مراتع عاری از پوشش گیاهی و محصولات زراعی هستند. قرارگیری اراضی کشاورزی در جهت شیب از یک‌سو و عملیات شخم‌زنی نادرست از سوی دیگر عامل فرسایش و تخریب خاک شده و به‌طور کلی به‌رغم وسعت کمتر، بیشترین سهم را در فرسایش خاک و تولید رسوب داشته است. نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات [۱۱ و ۲۸-۳۰] مطابقت دارد. در حوضه‌های مطالعه‌شده آنان فرسایش سطحی عامل اصلی تخریب خاک و رسوب است و بیشترین سهم را در تولید رسوب دارند. همچنین نتیجه به‌دست‌آمده مربوط به سهم منابع زیرسطحی با مطالعه [۳۱ و ۳۲] مطابقت دارد و جاده‌سازی عامل اصلی تولید رسوب در

با توجه به این جدول دو تابع بر اساس ویژگی‌های ردیاب‌ها مشخص شده است. درصد واریانس دو تابع به‌ترتیب برابر با ۹۶/۵ و ۳/۵ است و همچنین درصد تجمعی واریانس دو تابع برابر با ۹۸/۵ و ۱۰۰ درصد نشان داده شده است. در جدول یادشده معناداری توابع به‌وسیله آماره کای مشخص شده است.

سهم منابع رسوب در تولید رسوب در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار

شکل ۳ نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل ترکیبی چندمتغیره را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، منابع فرسایش سطحی و زیرسطحی در فصل پاییز، به‌ترتیب ۳۹/۶ و ۶۰/۴ درصد، فصل زمستان، ۶۵/۱۵ و ۳۴/۸۵ درصد و فصل بهار ۵۴/۱ و ۴۵/۹ درصد سهم نسبی در تولید رسوب داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از روش منشأیابی، سهم نسبی هر یک از واحدهای فرسایشی در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار، برای نخستین‌بار در حوضه آبخیز زیارت بررسی شد. بر اساس آزمون تحلیل تشخیص، ردیاب کربن آلی، سزیم ۱۳۷ و مس بیشترین حد توانایی را در جداسازی و تفکیک منابع رسوب دارند. با اجرای مدل چندمتغیره ترکیبی، سهم نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب در فصل‌های مختلف مشخص شد. در فصل پاییز فرسایش زیرسطحی (شبکه جاده و

- sediment sources in river basins. *Earth sci. Rev.* 2013. 125, 24-42
- [7]. Walling D.E., The evolution of sediment sources fingerprinting investigations in fluvial system. *Soils Sediments* 2013: 13:1658-1675
- [8]. Mabit L., Benmansour M., Abril J.M., Walling D.E., Meusburger K., Lurian A.R., Bernard C., Tarjan S., Owens P.N., Blake W.H., Alewell C. Fallout Pb²¹⁰ as a soil and sediment tracing in catchment sediment budget investigation : a review *Earth Sci. Rev.* 2014:138:335-351
- [9]. Walling D. E., Tracing suspended sediment sources in catchments and rivers systems, *Science of the Total Environment.* 2005: 334:159-184
- [10]. Carreras N. M., Krein A., Gallart F., Iffly J. F., Pfister L., Haffman L., Owens P. N., Assessment of different parameter for discriminating potential suspended sediment sources and provenance: A multi scale study in Luxembourg. *Geomorphology.* 2010: 11:118-129
- [11]. Collins A.L., Walling D. E., Leeks G. J. L., Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basin: Combining assessment of spatial provenance and source type. *Geografiska Annaler.* 1997: 79(a): 239-254
- [12]. Nostrati, K., Ascribing soil erosion of hillslope components to river sediment yield. *Journal of Environmental Management.* 2017: 194: 63-72
- [13]. Tiecher T., Caner L., Minella J.P.G., Pellegrini A., Capoane V., Rasche J.W.A., Schaefer G.L., Rheinimer D. Tracing sediment sources in two paired agricultural catchment with different riparian forest and wetland proportion in southern Brazil. *Geoderma.* 2017:258:225-239
- [14]. Zhao G., Mu X., Han M., An Z., Gao P., Sun W., Xu W., Sediment yield and sources in dam-controlled watershed on the northern Loess Plateau. *Catena* 2017:149:110-119
- [15]. Du. P., Des E Walling., Fingerprinting surficial sources: Exploring some potential problems associated with the spatial variability of material properties. *Journal of Environmental Management.* 2017: 194 : 4-15
- [16]. Garzon- Garcia A., Lacey J.P., Olley J.M., Bunn S.E., Differentiating the sources of fine sediment organic matter and nitrogen in a subtropical Australian catchment. *Science of the total environment.* 2017: 575: 1384-1394
- حوضه‌های آبخیز مطالعه شده بوده است. همچنین در جنوب استرالیا آبراهه‌ها تا ۹۰ درصد سهم رسوب را به خود اختصاص می‌دهند [۳۳]. این پژوهش کمک می‌کند ضمن مشخص شدن سهم نسبی منابع فرسایش در تولید رسوب، مناطق حساس به فرسایش مشخص شود. با توجه به وضع موجود و موقعیت خاص حوضه آبخیز زیارت، ضروری است فعالیت کشاورزی و احداث جاده به‌عنوان عوامل تخریب حوضه کنترل شود، محصولات کشاورزی در اراضی کم‌شیب و دور از حریم بستر رودخانه و به شکل محدودی کشت شود. متأسفانه در برخی از قسمت‌ها مسیر جاده و کانال رود همسو و موازی است و وجود ویلاهای مرتفع تنش و تخریب خاک و در نتیجه افزایش بار رسوب را چندین برابر کرده است. ضروری است عملیات آبخیزداری و تثبیت رسوب با توجه به وضعیت مناطق پرخطر فرسایشی طراحی و اجرا شوند.

منابع

- [1]. Morgan, R. P. C, Duzant, J. H. Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion. *Earth Surface Processes and Landform.* 2008,3: 3(1): 90 - 106
- [2]. Collins, A. L. Williams, L. J., Zhang, Y. S., Marius, M., Dungait, J. A. J., Smallman, D. J., Naden, P. S. Catchment source contributions to the sediment-bound organic matter degrading salmonid spawning gravels in a lowland river, southern England. *Science of The Total Environment,* 2001,3: 456: 181-195.
- [3]. Russel M. A., Walling D. E., and Hodgkinson R. A. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in UK. *Journal of Hydrology,* 2003:252, 1-24
- [4]. Zapata F.. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigation: Recent advances and future developments. *Soil and tillage Research,* 2003: 69.3-13
- [5]. Hakimkhani Sh.. Investigation use of tracers in sediment tracing fluvial sediment, Poldasht station. Master science thesis. 2007. [In persian].
- [6]. Koiter, A., J., Lobb, D.A., Owens. P.N., Petticrew, E.L., Tiessen, K., Li, S., The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying

- [17]. Collins, A. L., Williams, I. J., Zhang Y. S., Marius M., Dungait, J. A., Smallman, D. J. et al., Catchment source contributions to the sediment-bound organic matter degrading salmonid apawing gravels in a lowland river, southern England. *Science of the Total Environment*, 2013: 456:181-195
- [18]. Cooper, R., Krueger, T., Hiscock, K. M., and Rawlins, Barry G. High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: a Bayesian approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2015:40: 78-92.
- [19]. Devereux, O. H., Prestegard, K. L., Needelman, B. A., and Gellis, Allen C. Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland. *Hydrological Processes*, 2012:24:1391-1403.
- [20]. Gruszowski, K. E., Foster, I. D. L., Lees, J. A., & Charlesworth, S. M. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes*, 2013: 17: 2665-2681.
- [21]. Nosrati K, Govers G, Semmenes B.X, and Ward E.J., A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *CATENA*, 2014: 217: 173-180.
- [22]. Rowan, J. S., Black, S. and Franks, S. W. Sediment fingerprinting as an environmental forensics tool explaining cyanobacteria blooms in lakes. *Applied Geography*, 2013: 32: 832-843.
- [23]. D Haen K, Verstraeten G., Duser B., Degryse B., Heax J., Walkens M. Unravelling changing sediment sources in a Mediterranean mountain catchment Bayesian fingerprinting approach. *Hydrological Processes*. 2013: 27:896-927.
- [24]. Carter, J., Owens, P N., Walling, D. E., and Leeks, Graham J. L. Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. *Science of The Total Environment*, 2003: 14: 513-534.
- [25]. Hakimkhani Sh., investigation of relative contribution of erosion types in sediment yield. GhareAgaj, Maku, *Journal of Natural Resource*. 2001. 63-13-27, [In persia].
- [26]. Olley J., Burton J., Smolders K., Pantus F., and Pietsch T. The application of fallout radionuclides to determine erosion process in water supply catchments of subtropical Southeast Queensland, Australia. *Hydrological Processes*, 2012:27:62-70
- [27]. He, Q., and Walling, D. E. The distribution of fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb in undisturbed and cultivated soils. *Applied Radiation and Isotopes*, 1997: 48(5), 677-690.
- [28]. Ownes, P. N., Walling, D.E., Spatial variability of cesium-137 inventories at reference sites: an example from two contrasting sites in England and Zimbabwe. *Appl. Radiat. Isot.* 1996:47,699-707.
- [29]. Collins A.L., Walling D.E., Sickingabula H.M., Suspended sediment source fingerprinting in small tropical catchment and management implications, *Applied Geography*, 2001: 21:387-412.
- [30]. Motha J.A., Wallbrink P.J., Hairsine P.B., and Grayson R. B.. Determining the sources of suspended sediment in forested catchment in southeastern Australia. *Water Resources Research*. 2003: 39(3): 1056-1070
- [31]. Wallbrink, PJ, Murray, AS, Olley, JM, & Olive, LJ.. Determining sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb. *Water Resources Research*, 1998:34(4), 879-887.
- [32]. Caitcheon G. G, Olley J. M., Pantus F., Hancock G., and Leslie C.. The dominant erosion processes supplying fine sediment to three major rivers in tropical Australia. *Geomorphology*, 2012: 151-152. Pp.188-195