نشریه علمی مدیریت اراضی/ جلد ۱۱/ شماره ۱ / ۱۴۰۲.ص ۵۵-۶۵
https://doi.org/10.22092/lmj.2023.358686.308

بررسی سهم منابع رسوب در حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از ردیاب‌های طبیعی خاک

آزیتا غیبی‌پور، نسرین قرهی[1]*، رفعت زارع بیدکی و رسول زمانی احمد محمودی

دانش‌آموخته کارشناس ارشد حفاظت آب‌وخاک، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
azita.gh1371@gmail.com

استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.**na_gharahi@yahoo.co.uk**

استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

دریافت: تیر ۱۴۰۱ و پذیرش: بهمن ۱۴۰۱

چکیده

روش منشأیابی به‌منظور تعیین سهم واحدهای اراضی در تولید رسوب استفاده می‌شود. در روش‌های رایج با استفاده از ترکیب مناسب خصوصیات جداکننده منابع رسوب، سهم منابع رسوب در تولید رسوب تعیین می‌شود. هدف از مطالعه حاضر تعیین سهم نسبی رسوب‌دهی هر یک از کابری‌های مختلف در بخشی از حوزه آبخیز بهشت‌آباد با مساحت ۳۰۸ کیلومتر مربع از طریق روش انگشت‌نگاری رسوبات است. به این منظور ۳۶ نمونه خاک از عمق ۰-۵ سانتی‌متر کاربری‌های مختلف و ۱۰ نمونه از رسوب معلق خروجی حوضه برداشت شد. در همه نمونه‌ها، ردیاب‌های اولیه شامل آهن، مس، منیزیم، سدیم، کلسیم، پتاسیم، آهک، کربن آلی، نیتروژن و فسفر اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از آنالیز آماری و تجزیه تابع تشخیص، ترکیب بهینه‌ای از ردیاب‌ها برای هر کاربری با استفاده از توابع تحلیل تشخیص به دست آمد. سرانجام در مرحله بعدی، سهم هر کاربری در تولید رسوب با استفاده از مدل ترکیبی چند متغیره تعیین گردید. سهم نسبی هر یک از کاربری‌های کشت آبی، مرتع، کشت دیم و مسکونی به ترتیب برابر با ۶۷/۸۸، ۷/۶۳، ۱۹/۴۰، ۵/۱۰ درصد برآورد شد. با توجه به اینکه که در منطقه مورد مطالعه، سهم اراضی کشت آبی در تولید رسوب معلق در مقایسه با سایر کاربری‌ها زیاد است، باید توجه ویژه به نحوه عملیات کشاورزی داشت تا از تولید رسوب جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: انگشت‌نگاری، مدل ترکیبی چند متغیره، کاربری اراضی، فرسایش خاک، منبع رسوب

[1]- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: na_gharahi@yahoo.co.uk

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

تغییرات شدید محیط‌زیستی و روند افزایشی ناپایداری زیست‌بوم‌ها در چند دهه‌ی اخیر نشان‌دهنده‌ی مدیریت‌های نادرست منابع طبیعی یک کشور است (بودرو و همکاران، ۲۰۱۹). طبق گزارش‌های اخیر (عرب خدری،۱۴۰۰ ; اسدی، ۱۴۰۱)، وضعیت فرسایش آبی ایران با توجه به وضعیت منابع خاک کشور و میزان خاکسازی، بحرانی است. اگرچه با اطمینان نمی‌توان رقمی دقیق برای کل فرسایش آبی کشور گفت، با در نظر گرفتن برآوردهای مختلف از یک سو و قیاس کیفی وضعیت ایران در نقشه‌های جهانی فرسایش، تولید رسوب ایران، مقداری حدود یک میلیارد تن در سال است. دلیل یک میلیارد تن فرسایش سالانه با میانگین حدود ۶۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال را می‌توان به تغییر ناآگاهانه و غیر علمی کاربری اراضی مرتعی و جنگلی و استفاده از سیستم خاک‌ورزی بدون شناخت کافی از محیط خاک، طی سالیان پی‌درپی نسبت داد (عرب خدری،۱۴۰۰). در سطح جهانی نیز، به علت نرخ بالای رشد جمعیت و در نتیجه استفاده بی‌رویه بشر از منابع طبیعی و فشار بر زمین‌های حساس به فرسایش، تهدیدی جدی برای پایداری مدیریت اراضی و بهره‌برداری به شمار می‌رود (محمدی رایگان و همکاران، ۲۰۱۹).

مشکلات ناشی از فرسایش بالای خاک نه تنها موجب کاهش عمق و میزان مواد آلی خاک، تخلیه مواد مورد نیاز و در دسترس گیاه را به همراه دارد، بلکه موجب خساراتی نظیر رسوب‌گذاری در مزارع، دشت‌های سیلابی و مجموعه‌های آبی می‌شود که در نتیجه باعث افزایش بار رسوبی که موجب مشکلات درون و برون منطقه‌ای در رابطه با حوزه‌های آبخیز می‌گردد (نصرتی و جلالی، ۱۳۹۶). رسوبات افزون بر اثرات مخربی که بر محیط‌های رودخانه‌ای می‌گذارد، سبب کاهش کیفیت آب، کاهش ظرفیت مخازن در نتیجه تولید و انباشته شدن رسوب که سبب تغیر شکل کانال‌ها و گرفتگی مسیر رودخانه، شکوفایی جلبکی منابع آب که باعث کاهش نفوذ نور به لایه‌های عمقی آب که نتایج زیان باری چون کاهش انتقال مواد مغذی مورد نیاز جانداران که سبب نرسیدن اکسیژن و در نتیجه خفگی جانداران و کاهش تولید اولیه را موجب می‌شود (چن وفنگ، ۲۰۱۶). برای رفع این مشکلات، آگاهی از ماهیت و اهمیت نسبی و منشأ منابع اصلی رسوبات ضروری است.

روش‌های گوناگون تعیین سهم منابع مختلف رسوب به دو روش کلی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند، روش غیرمستقیم مبنی بر فنونی است که جابجایی خاک را اندازه‌گیری یا ارزیابی می‌کنند. روش مستقیم از جمله روش انگشت‌نگاری رسوب است. در این روش، به نحوی منابع رسوب و شار رسوبات را به هم مربوط می‌کنند که نیاز به اطلاعات تکمیلی در مورد نرخ تحویل رسوب ندارند (جمشیدی زنجانی و سعیدی، ۱۳۹۲). انگشت‌نگاری رسوب یا منشأیابی رسوب عبارت از بررسی چندین منبع بالقوه رسوب جهت افزایش تشخیص بین منابع و اجتناب از منبع رسوب غیر واقعی است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۷). در واقع انگشت‌نگاری رسوبات به منزله ابزاری برای شناسایی و ارزیابی منبع رسوبات درون یک حوزه آبخیز است. روش منشأیابی منبع رسوب، روشی مؤثر برای اثبات اهمیت نسبی منابع رسوب بالقوه است. در روش انگشت‌نگاری از مشخصات فیزیکی و شیمیایی طبیعی رسوبات، برای مثال، رنگ، ژئوشیمایی و رادیونوکلیدهای پرتوزا (کولینز و والینگ، ۲۰۰۷)، به‌منظور ردگیری رسوبات تا منابع اصلی‌شان استفاده می‌کند. در ایران نیز پژوهش‌هایی در زمینه روش منشأیابی منبع رسوب هر چند اندک در سال‌های اخیر انجام شده است که از آن جمله می‌توان به فیض‌نیا و همکاران (۱۳۹۲)، نجفی و صادقی (۱۳۹۳) و حبیبی و همکاران (۱۳۹۷) اشاره کرد. فیض نیا و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی منابع رسوب سه زیر حوزه عمروان، عطاری و علی‌آباد که زیر حوزه آبخیز چاشت خوران در استان سمنان است، پرداختند. در این مطالعه پس از جدا کردن ذرات زیر ۶۰ میکرون و اندازه-گیری ۱۵ خصوصیت منشأ یاب‌ها ابتدا از روش‌های آماری مقایسه میانگین‌ها و تحلیل تشخیص برای تعیین

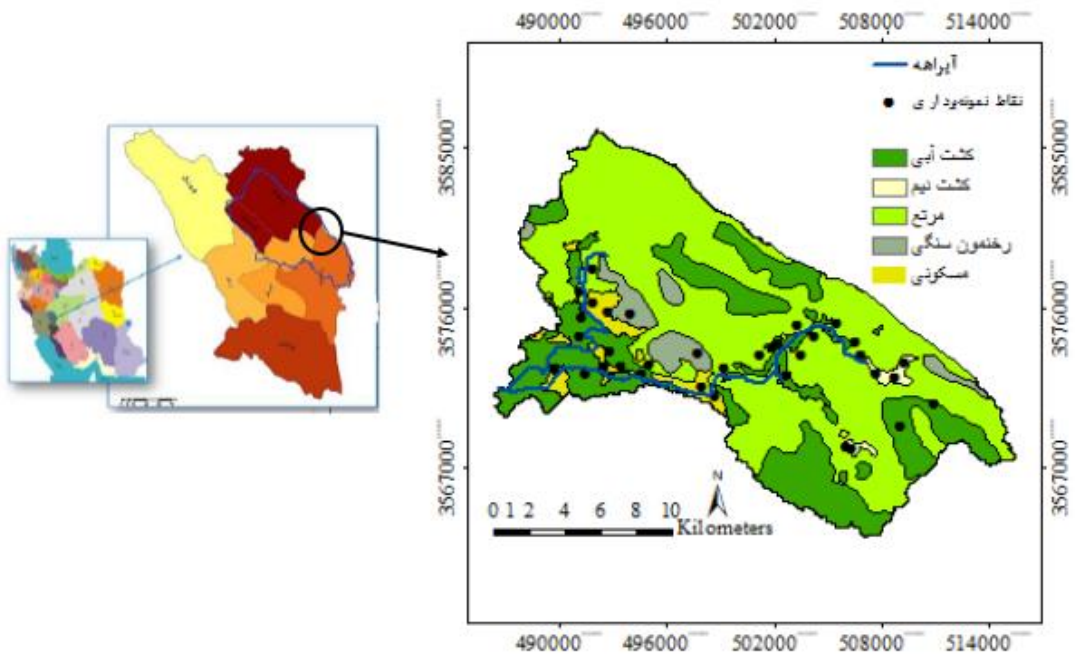
خصوصیاتی که منابع رسوب را از هم تفکیک می‌کند، استفاده کردند. نتایج نشان داد سازند قرمز بالایی در حوزه‌های عمروان، عطاری و علی‌آباد به ترتیب بالاترین سهم را در تولید رسوب داشته است. نجفی و صادقی (۱۳۹۳) در پژوهشی به ارزیابی تطبیقی نتایج حاصل از روش‌های مبتنی بر انگشت‌نگاری رسوب، سیمای فرسایش خاک و اندازه‌گیری مستقیم منابع رسوب پرداختند. طبق نتایج حاصل به‌روش انگشت‌نگاری، واحد سنگ‌شناسی مارن بیش‌ترین سهم رسوب را با ۸۵ درصد به خود اختصاص داد. حبیبی و همکاران (۱۳۹۷) به منشایابی رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد با استفاده از روش انگشت‌نگاری در حوزه آبخیز سد لاور فین در استان هرمزگان پرداختند. هدف از این تحقیق برآورد درصد سهم سه زیر حوزه در رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد لاور فین با استفاده از مدل ترکیبی چند متغیره و عناصر ردیاب بود. همچنین مطالعات دیگر بر روش منشأیابی منبع رسوب توسط حکیم خانی و همکاران (۱۳۸۶)، نصرتی و همکاران (۱۳۹۴)،نظری سامانی و همکاران (۲۰۱۱) و عرب خدری (۱۴۰۰) انجام شده است.

برای اولویت‌بندی فعالیت‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب، آگاهی از سهم منابع رسوب اهمیت به سزایی دارد. همچنین از آنجایی که منشأیابی رسوب به‌عنوان روشی مناسب برای تعیین سهم منابع رسوب در دنیا شناخته شده است، در این مطالعه با توجه به اهمیت نقش کاربری‌ها در تولید رسوب، با انتخاب ترکیب مناسبی از ردیاب‌ها و بررسی کارایی روش منشأیابی، نقش و اهمیت انواع کاربری‌های حوزه بهشت‌آباد واقع در استان چهارمحال و بختیاری در تولید رسوب تعیین شده است. در واقع، هدف نهایی از این پژوهش تعیین سهم نسبی کاربری‌های مختلف در تولید رسوب معلق حوزه آبخیز بهشت‌آباد، استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی و مدل ترکیبی منشأیابی رسوب است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه بهشت‌آباد است که از لحاظ شرایط آب و هوایی و اقلیم جز مناطق مرتفع سردسیر کوهستانی است. در طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم نیمه مرطوب و سرد است. بیش‌ترین میزان بارش مربوط به ماه‌های آذر و دی و کم‌ترین میزان بارش‌ها مربوط به تابستان و به کمتر از یک میلی‌متر نیز رسیده است. متوسط بارش درازمدت سالانه در این حوضه ۴۱۹ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه معادل ۱۱/۳۸ درجهٔ سلسیوس است (ادارهٔ کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری، ۱۳۹۹). حوضه مورد مطالعه با جهت شیب جنوبی و غربی و با شیب متوسط ۲۱/۷ درصد در ارتفاع متوسط ۲۴۲۲ متر از سطح دریا واقع است. فرسایش غالب در منطقه فرسایش سطحی و شیاری است. منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه بهشت‌آباد با مساحت ۳۰۸ کیلومتر مربع است و قسمت شرقی این حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). کاربری اراضی در این حوضه در حدود ۷۶ درصد مرتع، ۱۲/۳ درصد کشت آبی، ۱/۷ درصد کشت دیم، چهار درصد مسکونی، پنج درصد رخنمون سنگی و حدود یک درصد باقی مانده هم به‌صورت بیشه‌زار و بوته‌زار است که به تفکیک کاربری‌ها در جدول ۱ بیان شده است. کشت غالب حوزه گندم و جو آبی و دیم و یونجه است .پانزده تیپ گیاهی در سراسر حوزهٔ بهشت‌آباد گسترش دارد و گون به‌عنوان گونهٔ غالب مراتع طبیعی پراکنش دارد.



شکل ۱- نقشه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مساحت منطقه مورد مطالعه، درصد مساحت و شیب هر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

	کشت آبی	مرتع	کشت دیم	مسکونی	رخنمون سنگی
مساحت (٪)	۱۲/۳	۷۶/۴	۱/۷	۴	۵/۶
شیب ٪	۱۲>	۱۸-۱۵	۹>	۹>	۳۰-۲۰

جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری از خاک در ۳۶ مکان از عمق ۰-۵ سانتی‌متر از کاربری‌های کشت آبی، مرتع، کشت دیم و مسکونی در کل حوضه در آبان ماه ۱۳۹۹ برداشت شد (شکل ۱). در مناطق مسکونی نمونه‌ها از حاشیه جاده برداشت شد. به این منظور که نمونه‌های برداشت شده معرف کاملی از منطقه باشند، در هر یک از نقاط نمونه-برداری مورد نظر، در یک شعاع ۲۰ متری، چند نمونه خاک از چهار سوی نقطه اولیه برداشت شده و پس از مخلوط کردن آن‌ها یک نمونه مخلوط خاک (یک کیلوگرم) به‌عنوان نماینده منطقه برداشت شد. در کل ۱۰ نمونه خاک از کاربری کشت آبی، ۱۵ نمونه خاک از کاربری مرتع، پنج نمونه خاک از کاربری دیم و شش نمونه خاک از کاربری شهری برداشت شد. پس از خشک کردن خاک در هوای آزاد و کوبیدن آن‌ها، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متر و سپس از الک ۶۳ میکرون عبور داده شد تا برای اندازه‌گیری ردیاب‌های شیمیایی و ژئوشیمیایی استفاده شود (والبرینگ و کروک، ۲۰۰۲). تعداد ۱۰ نمونه از رسوب معلق از رواناب خروجی حوضه برداشت شد. برای نمونه‌برداری رسوب معلق در رواناب سیل واقع در انتهای حوضه با توجه به زمان تمرکز حوضه (رابطه ۱، رابطه ویلیامز) یک ساعت پس از رخداد بارش در آذر ماه ۱۳۹۹ با استفاده از بطری پلاستیکی ۱۰ نمونه رسوب معلق برداشت شد.

$$TC = \frac{0.96L^{1.2}}{H^{0.2}A^{0.1}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، TC زمان تمرکز بر حسب ساعت، L طول مسیر آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر، H اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای آبراهه اصلی بر حسب متر و A مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع است.

برای هر نمونه رسوب معلق، هر ۱۰ دقیقه یکبار از رسوب معلق در خروجی حوضه نمونه‌برداری شد و در

مجموع شش نمونه معلق با هم ترکیب شدند و پس از ته‌نشست شدن و عبور از کاغذ صافی در آزمایشگاه استفاده شدند.

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها عناصر ژئوشیمیایی و شیمیایی شامل آهن، مس، منیزیم، سدیم، کلسیم، پتاسیم، آهک، کربن آلی، نیتروژن (نیتروژن کل) و فسفر (فسفر کل) به‌عنوان ردیاب‌های اولیه در نمونه‌های منابع رسوب و نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری عناصر شیمیایی، سه گرم نمونه خشک توسط محلول ترکیب سه به یک اسید کلریدریک غلیظ و اسید نیتریک به مدت دو ساعت روی حمام آبی قرار داده شد. پس از سرد شدن، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی قطر ۰/۲ میکرون عبور داده شدند. در نهایت غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل ((JENWAY(PFP7) ساخت کشور انگلستان و با استفاده از نمونه استاندارد و رسم منحنی واسنجی اندازه‌گیری شد و به واحد میلی‌گرم بر کیلوگرم نمونه خاک گزارش شدند. همچنین غلظت پتاسیم (K^+) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر خوانده شد (توماس، ۱۹۸۴). کربن آلی به روش تیتراسیون (نلسون و همکاران، ۱۹۹۶)، نیتروژن کل به روش کجلدال (مککیل و همکاران، ۲۰۰۷)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (اولسن و سامر، ۱۹۸۲) و آهک به روش اکسیداسیون محاسبه و اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آهن، منگنز، روی و مس از روش سوختن و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Soil Survey Staff, 1999).

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌های اولیه که توانایی تفکیک منابع رسوب را داشته باشند، یک روش آماری دو مرحله‌ای به کار گرفته شد (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷a). در مرحله اول، از آزمون کروسکال والیس برای بررسی سطح معنی‌داری عناصر ژئوشیمیایی و شیمیایی استفاده شد و ردیاب‌هایی که اختلاف میانگین کمتر از ۰/۰۵ داشتند، وارد مرحله دوم شدند. در مرحله دوم، به‌منظور انتخاب ترکیب بهینه از زیر مجموعه ردیاب‌ها که به‌عنوان ویژگی بالقوه در مرحله اول انتخاب شدند، از تحلیل توابع تشخیص چند متغیره گام به گام و عملیات حداقل کردن لامبدا ویلکس (Wilks lambda) استفاده شد. برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS26 استفاده گردید (فرنس و همکاران، ۲۰۱۴، کولینز و والینگ، ۲۰۰۷).

تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب

برای برآورد سهم هرکدام از منابع رسوبی پس از انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها با استفاده از روش تحلیل تشخیص این ردیاب‌ها وارد مدل ترکیبی چند متغیره شدند که در اینجا از مدل ترکیبی چند متغیره کولینز و همکاران (۱۹۹۷b) استفاده گردید.

در رابطه ۲ دو شرط باید مدنظر قرار گیرد:

۱- مقدار ضریب سهم هر کدام از منابع رسوب بین صفر تا یک باشد.

۲-مجموع سهم نسبی همه منابع رسوبی نیز برابر عدد یک باشد.

$$0 \leq P_s \leq 1$$

$$\sum_{s=1}^{n} P_s = 1$$

$$R = \sum_{i=1}^{n} .\{(C_i - (\sum_{s=1}^{m} P_s . s_{is} . Z . O))/C_i .\} . W_i \quad (۲)$$

که در این رابطه، R مجموع مربعات خطا، Ci غلظت ردیاب i در نمونه رسوب، s_{is} غلظت ردیاب i در منبع s، Ps سهم نسبی از منبع s. Z ضریب تصحیح اندازه ذرات. O ضریب تصحیح کربن آلی. Wi ضریب وزنی ویژه هریک از ردیاب‌ها. n تعداد ویژگی‌ها ردیاب شامل ترکیب بهینه و m منابع رسوب است. به علت اینکه از الک ۶۳ میکرون استفاده شد، بنابراین به‌جای ضریب Z عدد یک در فرمول گذاشته شد (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷، نصرتی و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به اینکه از خروجی حوضه ۱۰ نمونه رسوب برداشت شده بود، مدل کولینز و همکاران (۱۹۹۷b) برای تک تک نمونه رسوبات به‌وسیله برنامه Solver در

اکسل اجرا شد و بار دیگر مجموع آن‌ها یک‌جا مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج و بحث

در جدول ۲ آمار توصیفی هر یک از ردیاب‌ها در نمونه‌های منابع سطحی رسوب و همچنین آمار توصیفی هریک از ردیاب‌ها در نمونه‌های رسوب سیل خروجی نشان داده است. این آمار بیان کننده میزان تغییرات خصوصیات ردیاب‌ها در نمونه‌های رسوب در هر کاربری می‌باشند.

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

نتایج آزمون آماری کروسکال والیس در انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌های اولیه که توانایی تفکیک کاربری‌های مرتع، دیم، کشت آبی و مسکونی در حوزه آبخیز را داشتند در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار (انحراف معیار ± میانگین) ردیاب‌ها در کاربری‌ها و رسوب معلق خروجی حوضه

ردیاب	واحد	کشت آبی	مرتع	کشت دیم	مسکونی	رسوب معلق سیلاب
نیتروژن (**N**)	%	۰/۰۷± ۰/۰۲	۰/۰۷± ۰/۰۲	۰/۰۷± ۰/۰۴	۰/۰۸±۰/۰۳	۰/۱۱± ۰/۱
کربن‌آلی(**OC**)	%	۰/۸۶± ۰/۱۶	۰/۷۷± ۰/۳۴	۰/۸۹± ۰/۵۰	۱/۱۹±۰/۷۸	۰/۶۶± ۰/۲
فسفر (**P**)	mg/kg	۱۸/۶۱± ۱۲/۲۱	۱۲/۳۱± ۵/۰۲	۱۶/۱۹± ۳/۸	۲۸/۰۴ ±۲۱/۲۵	۱۶/۸۸± ۵/۵
پتاسیم (**K**)	mg/kg	۳۸۳/۷۰± ۱۲۸	۳۸۶/۶۷± ۸۰/۹	۴۲۹/۳۳± ۴۰/۴۴	۴۸۴/۲ ±۱۵۲/۲	۳۸۸± ۹۵
کلسیم (**Ca**)	g/kg	۹/۹۶±۳/۶	۵/۳۳± ۱/۹۷	۴/۵۲± ۱/۱۴	۱۲/۰۱ ± ۲/۰۸	۷/۰۵± ۳/۹
سدیم (**Na**)	g/kg	۴/۲۴± ۱/۱	۴/۰۷± ۰/۸۵	۳/۸۰± ۱/۰۶	۴/۳۷±۱/۴۷	۳/۷۸± ۰/۷
روی (**Zn**)	g/kg	۰/۷۴±۰/۱۴	۰/۷۴± ۰/۱۷	۰/۷۲± ۰/۱۵	۰/۸۸± ۰/۳۵	۰/۷۰± ۰/۱
منگنز(**Mn**)	g/kg	۷/۹۹±۱/۲۳	۸/۰۹± ۱/۷۱	۷/۴۵± ۱/۲۸	۸/۱۶± ۲/۸۶	۷/۹± ۱/۶
آهن (**Fe**)	g/kg	۵/۳۱±۱/۰۰	۴/۹۰± ۰/۸۶	۴/۸۵± ۰/۴۶	۵/۱۲± ۱/۵۴	۵/۰± ۰/۹
آهک (**$CaCO_3$**)	%	۲۶/۵±۶/۶۷	۱۵/۹±۵/۶۷	۱۵±۳/۶۰	۳۰/۵±۴/۶۶	۲۰/۰۸±۸/۹
تعداد نمونه **i**	-	۱۰	۱۵	۵	۶	۱۰

جدول ۳- نتایج آزمون کروسکال والیس

ردیاب	کای اسکور	سطح معنی‌داری	ردیاب	کای اسکور	سطح معنی‌داری
نیتروژن کل (**N**)	۴/۹۸۵	۰/۱۷۳	سدیم (Na)	۰/۰۷۸	۰/۹۹۴
کربن آلی (**OC**)	۹/۴۰۰	۰/۰۲۴	روی (Zn)	۰/۱۳۵	۰/۹۸۷
فسفر کل(**P**)	۹/۸۱۱	۰/۰۲۰	منگنز (Mn)	۰/۴۰۶	۰/۹۳۹
پتاسیم (**K**)	۳/۹۸۳	۰/۲۶۳	آهن (Fe)	۱/۰۹۲	۰/۷۷۹
کلسیم (**Ca**)	۱۸/۹۹۷	۰/۰۰۰	آهک ($CaCo_3$)	۱۹/۲۵۳	۰/۰۰۰

با توجه به جدول ۳ چهار ردیاب اولیه دارای قدرت جداسازی و تفکیک بین واحدهای کاربری اراضی هستند. به‌عبارت‌دیگر، میانگین غلظت هر یک از ردیاب‌های مشخص‌شده، حداقل در یک گروه (کاربری) متفاوت از دیگر گروه‌ها است. قدرت تفکیک ردیاب‌ها به نسبت اینکه هرچه مقدار کای اسکور بالاتر باشد، سطح معنی‌داری بهتر است. با توجه به نتایج حاصل شده از آزمون کروسکال والیس از میان ۱۰ ردیاب اندازه‌گیری شده ژئوشیمیایی ردیاب OC، P، $CaCO_3$ و Ca در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شدند. نتایج مربوط به تعداد گام‌های ورود ردیاب به مدل و ردیاب‌های بهینه در جداسازی منابع رسوب منطقه موردمطالعه در جدول ۴ ارائه‌شده است. آماره لامبدای

ویلکس معیاری مناسب برای نشان دادن نسبت اختلاف درون گروهی (بین کاربری‌ها) است. در هر مرحله، ردیابی که در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده وارد تابع شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که با اضافه شدن هر ردیاب مقدار لامبدا ویلکس کاهش و سطح معنی‌داری بهتر می‌شود.

جدول ۵ نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۵ تابع براساس ویژگی‌های ردیاب‌ها مشخص شده است. درصد واریانس و همچنین واریانس تجمعی تابع برابر با ۸۵/۲ است. سطح معنی‌داری در جدول ۵ با آماره کای اسکور قابل تشخیص است.

جدول ۴- وضعیت مرحله مختلف ورود ردیاب‌ها به مدل

مرحله	ردیاب	Wilk's Lambda	سطح معنی‌داری
۱	کربن آلی (OC)	۰/۷۰۵	۰/۰۱۲
۲	فسفر کل (P)	۰/۷۵۰	۰/۰۲۹
۳	کلسیم (Ca)	۰/۴۰۰	۰/۰۰۰
۴	آهک ($CaCO_3$)	۰/۴	۰/۰۰۰

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های آماری در تحقیق حاضر با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده توسط نصرتی و همکاران (۱۳۹۴) که نقش کاربری اراضی در تولید رسوب معلق و کف بر پایه منشأیابی رسوب در حوضه طالقانی در خرم‌آباد را بررسی کردند و معضمی و کوهپیما (۱۳۸۸) که رسوبات رودخانه‌ای ریزدانه با استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب، در حوضه ابوالفارس خوزستان بررسی کردند، مطابقت دارد.

جدول ۵- ویژگی‌های تابع تحلیل تشخیص منابع رسوب

مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	سطح معنی‌داری
۱/۶۵۶	۸۵/۲	۸۵/۲	۰/۷۹	۳۶/۵۱۰	۰/۰۰۱

تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی‌شده و درصد طبقه‌بندی صحیح در کاربری‌های کشت آبی، مرتع، دیم و اراضی مسکونی در جدول) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پنج نمونه دیم و شش نمونه مسکونی به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و از بین ۱۰ نمونه اراضی کشت آبی دو نمونه به اشتباه وارد کاربری مرتع و دیم شده است. همچنین از بین ۱۵ نمونه کاربری مرتع یک نمونه به اشتباه وارد کاربری کشت آبی شده است. بنابراین کاربری کشت آبی، مرتع، دیم و اراضی مسکونی به ترتیب ۸۰، ۹۳/۴، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد به‌طور صحیح طبقه‌بندی گردیده است. به‌طورکلی، درصد طبقه‌بندی صحیح برای چهار کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه برابر با ۹۱/۱۳ درصد است؛ بنابراین ترکیب بهینه ردیاب‌ها به خوبی قادر به جداسازی منابع رسوب می‌باشند.

جدول ۶- تعداد و درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در واحدهای کاربری اراضی

کاربری اراضی		پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها				کل نمونه‌ها
		کشت آبی	مرتع	دیم	مسکونی	
تعداد	کشت آبی	۸	۱	۱	۰	۱۰
	مرتع	۱	۱۴	۰	۰	۱۵
	دیم	۰	۰	۵	۰	۵
	مسکونی	۰	۰	۰	۶	۶
درصد	کشت آبی	۸۰	۱۰	۱۰	۰	۱۰۰
	مرتع	۶/۶	۹۳/۴	۰	۰	۱۰۰
	دیم	۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
	مسکونی	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰

سهم منابع رسوب در تولید رسوب با استفاده از رابطه کولینز و همکاران (۱۹۹۷b) (رابطه ۱) محاسبه شد. در این پژوهش سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب را براساس نمونه خروجی حوضه محاسبه شده است. (جدول ۶).

تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب

با میانگین گرفتن از تمام موقعیت‌ها به ترتیب کاربری کشت آبی در تولید رسوب با ۶۷/۸۸ درصد بیشترین سهم در تولید رسوب و سپس کاربری دیم با ۱۹/۴۰ و پس از آن مرتع ۷/۶۳ و در نهایت کمترین میزان تولید رسوب مربوط به کاربری مسکونی با ۵/۱۰ درصد است (جدول ۷).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از نمونه‌های رواناب، سهم نسبی هر یک از کاربری‌های کشت آبی، مرتع، دیم و مسکونی در تولید رسوب معلق رخداد سیل اندازه‌گیری شده به ترتیب حدود ۶۸، ۸، ۱۹ و ۵ درصد برآورد شد؛ بنابراین از بین کاربری‌های مورد بررسی، کاربری کشت آبی بیش‌ترین سهم در تولید رسوب معلق حوضه مورد مطالعه در رخداد سیل نمونه‌برداری شده را داشته استاز دلایل بیشتر بودن سهم کاربری اراضی کشت آبی نسبت به دیگر کاربری‌ها عملیات خاک‌ورزی نادرست، استفاده از کودهای شیمیایی که با توجه به تأثیر که بر کیفیت آب‌وخاک دارد باید مورد توجه جدی قرار گیرد که با نتایج چاوو و همکاران (۲۰۱۱) و کینگ و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. از طرفی توسعه زمین‌های کشاورزی تا حاشیه‌ی رودخانه در نزدیکی خروجی حوزه آبخیز منجر به ورود خاک شسته شده سطحی به داخل جریان می‌شود که می‌تواند نقش تأثیرگذاری در تولید رسوب ایفا کند. یکی از دلایل پایین بودن سهم مناطق مسکونی ساخت‌وساز سطوح غیرقابل فرسایش اماکن مسکونی مانند پشت‌بام‌ها، جاده‌های آسفالته، در حوضه مورد مطالعه است. همچنین کاربری مرتع نسبت به کاربری کشت آبی و دیم سهم نسبتاً کمی در تولید رسوب خروجی در منطقه مورد مطالعه داشت که با نتایج زانگ و همکاران (۲۰۱۶) نصرتی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشته و با نتایج کولینز و همکاران (۲۰۱۰) و فیض‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) و حکیم خانی و همکاران (۱۳۸۶) مغایرت داشته است. برخلاف مساحت بیش‌تر مرتع نسبت به کاربری کشاورزی و دیگر کاربری‌ها از دلایل سهم کمتر کاربری مرتع نسبت به دیگر کاربری‌ها (جدول ۷) در تولید رسوب با توجه به بازدیدهای صورت گرفته زمان نمونه‌برداری می‌توان به پوشش متوسط و دست نخورده مرتعی در این منطقه (شکل ۲) و درنتیجه مقاوم شدن خاک این کاربری نسبت به شست‌وشو که سبب فرسایش کمتر و در نتیجه تولید رسوب کمتر نسبت به سایر کاربری‌ها شده است.

قابل ذکر است که سهم بعضی کاربری‌ها در تعدادی از نمونه‌های رسوب خروجی صفر درصد محاسبه شد که این امر یکی از نقص‌های مدلکولینز و همکاران (۱۹۹۷b) است.

جدول ۷- مساحت و سهم تولید رسوب هر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

	کشت آبی	مرتع	کشت دیم	مسکونی
مساحت (km^2)	۳۷/۹	۲۳۵/۳	۵/۲	۱۲/۳
درصد سهم تولید رسوب معلق	۶۷/۸۸	۷/۶۳	۱۹/۴۰	۵/۱۰

شکل ۲- پوشش متوسط و دست‌نخورده مرتعی در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این مطالعه، روش منشأیابی رسوب به‌عنوان ابزار مفید در این رابطه قادر به تعیین و تفکیک مناسب سهم کاربری‌های اراضی حوضه مورد مطالعه است. نتایج گویای این مسئله است که توسعه زمین‌های کشاورزی تا حاشیه‌ی رودخانه در نزدیکی خروجی حوزه آبخیز عامل مهمی در فرسایش و تولید رسوب حوزه آبخیز بهشت‌آباد است. با توجه به اینکه که سهم رسوب اراضی کشت آبی در منطقه مورد مطالعه زیاد است، توصیه می‌شود توجه ویژه‌ای به نحوه عملیات کشاورزی و برنامه‌های مدیریت و حفاظت خاک در منطقه داشت. همچنین با توجه به اهمیت روش منشأیابی هنوز نیاز به مطالعه و تحقیقات بیش‌تری در زمینه تعیین مناسب‌ترین ترکیب از ردیاب‌ها، تأثیر زمان نمونه‌برداری بر سهم رسوب، رخدادهایی با شدت مختلف و منشأیابی منابع رسوب در فصل‌های مختلف وجود دارد. ازآنجاکه زمین‌های کشاورزی مجاور رودخانه در منطقه مورد مطالعه با خطر تغییر بستر رودخانه و فرسایش کناری مواجه هستند، ازاین‌رو هرگونه عملیات حفاظتی خاک در حاشیه این رودخانه مستلزم آگاهی از پیش‌بینی میزان فرسایش کناری رودخانه است. در پایان پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی در حوضه مورد مطالعه در زمینه منشایابی، منابع دیگر عدم قطعیت ازجمله فرسایش کناری و فرسایش عمقی مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. اسدی ح. ۱۴۰۱. واکاوی تاریخچه فعالیت دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و سازمان‌های اجرایی مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک در ایران. مجلهٔ تحقیقات آب‌وخاک ایران. دوره ۵۳ (شماره ۲)، ص ۴۱۱-۴۳۳.

۲. اعظمی ج، مرادپور ح، کیانی مهر ن. ۱۳۹۶. مروری بر شاخص‌های زیستیِ محیط‌های آلوده به فلزات سنگین. انسان و محیط‌زیست. دوره ۱۵ (شماره ۱)، ص ۱۳-۲۴

۳. حبیبی، س.، غلامی، ح.، فتح‌آبادی، ا.، دسموند، و. ۱۳۹۷. منشأیابی رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد با استفاده از روش انگشت‌نگاری (مطالعه موردی حوضه‌های آبخیز سد لاور فین استان هرمزگان). نشریه پژوهش‌های فرسایش محیطی. دوره ۸ (شماره ۳)، ص ۱-۱۵.

۴. حق‌شناس، آ.، حاتمی‌منش، م.، میرزائی، م.، میرسنجری، م.م.، حسین خضری، پ.۱۳۹۶. سنجش و ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، دوماهنامه طبّ جنوب. جلد ۲۰ (شماره ۵)، ص ۴۴۸-۴۶۹.

۵. حکیم خانی، ش.، احمدی، ح.، غیومیان، ج.، نظرنژاد، ح.۱۳۸۶. تعیین سهم کاربری‌های مختلف اراضی در تولید رسوب با استفاده از روش منشأیابی (مطالعه موردی حوضه پلدشت ماکو). مجله علوم آب‌وخاک. دوره ۲۱(شماره ۲)، ص ۳۰۱-۳۱۳.

۶. جمشیدی زنجانی ا.، سعیدی، م.۱۳۹۲. ارزیابی آلودگی و پهن ه بندی کیفی رسوبات سطحی تالاب انزلی بر اساس نتایج شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین. نشریه محیط‌شناسی. دورهٔ ۳۹ (شماره ۴)، صفحه ۱۷۰.

۷. عرب‌خدری م. ۱۴۰۰. وضعیت فرسایش آبی و رسوبدهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. دوره ۶ (شماره ۲)، ص ۱۳۹-۱۵۶.

۸. فیض‌نیا، س.،کوهپیما، ا.، احمدی، ح.، هاشمی، ع. ا. ۱۳۹۲. بررسی منابع رسوب حوضه‌های آبخیز بر اساس روش انگشت‌نگاری. نشریه مرتع و آبخیزداری. دوره ۶۶ (شماره ۲)، ص ۲۹۹-۳۰۶.

۹. معظمی، م.، کوهپیما، ا . ۱۳۸۸. بررسی منشأیابی رسوبات رودخانه‌ای ریزدانه با استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب، مطالعه موردی حوضه ابوالفارس خوزستان. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه.

۱۰. نصرتی، ک.، احمدی، ح.، شریفی، ف. ۱۳۹۲. منشأ یابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک دوره ۱۶ (شماره ۶۰)، ص ۲۲۷-۲۳۷.

۱۱. نصرتی، ک.، احمدی، ف.، نظری، سامانی، ع. ا.، ثروتی، م. ر. ۱۳۹۴. تعیین نقش کاربری اراضی در تولید رسوب معلق و کف بر پایه منشأیابی رسوب در حوضه طالقانی، خرم‌آباد.، مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۸ (شماره ۴)، ص ۷۵۱-۷۶۵.

۱۲. نصرتی، ک. ۱۳۹۰. منشأیابی رسوب براساس برآورد عدم قطعیت. مجله پژوهش‌های حفاظت آب ایران. دوره ۵ (شماره ۹)، ص ۵۱-۶۰.

۱۳. نصرتی،ک.، جلالی س. ۱۳۹۶. بررسی میزان تولید رسوب معلق حوزه آبخیز زیارت، گرگان در فصل‌های مختلف با استفاده از تکنیک منشأیابی رسوب. مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۴ (شماره ۳)، ص ۸۸۷-۸۹۵.

۱۴. نجفی، س.، صادقی، س. ح. ر. ۱۳۹۳. تعیین سهم منابع تولید رسوب از طریق مقایسه نتایج روش‌های تهیه نقشه سیمای فرسایش، انگشت‌نگاری و اندازه‌گیری میدانی. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. دوره ۵ (شماره ۳)، ص ۱۶۵-۱۷۸.

15. Boudreault, M., Koiter, A. J., Lobb, D. A., Liu, K., Benoy, G., Owens, P. N., and S. Li. 2019. Comparison of sampling designs for sediment source fingerprinting in an agricultural watershed in Atlantic Canada. Soils and Sediments. 19(9): 3302-3318.
16. Collins, A. L., and D.E. Walling. 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. Geomorphology. 88: 120-138
17. Collins, A.L., Walling, D. E., and G. J. L. Leek. 1997a. Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basin: Combining assessment of spatial provenance and source type. Geografiska Annaler. 79 (a): 239-25.

18. Collins, A.L., Walling, D.E., and G.J.L. Leeks. 1997b. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena. 29: 156-159.
19. Collins, A.L., Walling, D.E., Webb, L., and P. King. 2010. Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. Geoderma. 155: 249-261.
20. Chow, L., Xing, Z., Benoy, G., Rees, H., Meng, F., Jiang, Y., and J.L. Daigle. 2011. Hydrology and water quality across gradients of agricultural intensity in the Little River watershed area, New Brunswick, Canada. Soil Water Conservation. 66: 71–84
21. Chen, F., Fang, N., and Z. Shi. 2016. Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a smallcatchment. Science Total Environment. 557-558: 123-133. .
22. Franz, C., Makeschin, F., Weib, H., and C. Lorz. 2014. Sediments in urban riverbasins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil using the fingerprint approach. Science Total Environment. 466-467: 513-523.
23. King, D.J., Eilers, R.G., Grant, B.A., Lobb, D.A, Padbury, G.A., Rees, H.W., Shelton, I.J., Wall, G.J., and LJP. Vliet. 2000. Risk of tillage erosion. In: T. McRae, S. Smith, and L.J. Gregorich (eds) Environmental health of Canadian agroecosystems. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ontario: 77–8.
24. Mohammadi Raigania, Z., Nosratia, N., Adrian, L., and B. Collins. 2019. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources in a large Iranian catchment under dry-land cultivation and rangeland. Journal of Hydrology: Regional Studies. 24: 100613.
25. Nazari Samani, A., Wasson, R.J., and A. Malekian. 2011. Application of multiple sediment fingerprinting techniques to determine the sediment source contribution of gully erosion: review and case study from Boushehr province, southwestern Iran. Progress in Physical Geography. 35: 375-391
26. Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. pags 403-430. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
27. McGill, W., Rutherford, P., Figueiredo, C., and J. Arocena. 2007. Total Nitrogen. Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition.
28. Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: Abasic System of Soil Surveys, USDA- NRCS Agric, Handb.436.2 ed. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
29. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable Cations: 159-165. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R.Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nded. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
30. Wallbrink P.J., and G. Croke. 2002. A combined rainfall simulator and tracer approach to assess the role of Best Management Practices in minimizing sediment redistribution and loss in forests after harvesting. Forest Ecology and Management, 170: 217–232
31. Zhang, X.C., Liu, B., and G.H. Zhang. 2016. Quantifying sediment provenance using multiple composite fingerprints in a small watershed in Oklahoma. Environmental Quality. 45:1296-1302.
32. Zhou, H., Chang, W., and L. Zhang. 2016. Sediment sources in a small agricultural catchment: Acomposite fingerprinting approach based on the selection of potential sources. Geomorphology, 266: 11-19.

Fingerprinting of Water Sediments of Beheshtabad Basin Using Natural Soil Tracers

A. Gheibipor, N. Gharahi*, R. Zare Bidaki, and R. Zamani Ahmad-Mahmoodi

M.Sc. Graduate of Soil and Water Conservation, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, P.O. Box 115, Shahrekord, Iran. **azita.gh1371@gmail.com**

Assistant Prof., of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. **na_gharahi@yahoo.co.uk**

Assistant Prof., of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Associate Prof., of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Received: July 2022 and Accepted: January 2023

Abstract

The fingerprinting technique determines the contributions of land units to sedimentation in an area. In conventional techniques, a composite set of proper diagnostic properties and a multivariate mixing model are employed to estimate the relative contributions of sediment sources to the sediments transported into a watershed outlet. The present study uses the fingerprinting technique to determine the contributions by different sediment sources in the Beheshtabad Basin covering an area of 308 km^2. For this purpose, 36 soil samples were taken from sedimentary sources (at depths of 0-5 cm) and 10 sediment samples from the watershed outlet. The initial traces including Fe, Cu, Mg, Na, Ca, K, lime, organic carbon, N, and P were measured and evaluated using the Kruskal-Wallis test. In the second stage, an optimal combination of tracers for each source was obtained using diagnostic analysis functions, and in the final step, the contribution of each land use to sedimentation was determined for each sampling method using the multivariate model due to Collins et al. The contributions of agricultural, rangeland, rainfed, and residential land uses were determined to be 67.88, 7.63, 19.40, and 5.10%, respectively. Results showed that agricultural activities held the maximum share of 67.88% to sediment production. Given the fact that the high contribution of agricultural lands to sedimentation in the study area, it is recommended that agricultural operations and practices need to be revised and monitored in order to help the sedimentation process to abate.

Keywords: Fingerprinting, Diagnostic analysis functions, Land use, soil erosion, Sediment source

* - Corresponding author's email: na_gharahi@yahoo.co.uk