

تعیین سهم رسوب واحدهای کاربری اراضی در حوضه آبخیز کند با استفاده از رویکرد منشایابی

مهناز زارع خورمیزی^۱، عطاله کاویان^{۱*}، کریم سلیمانی^۱ و کاظم نصرتی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۱۷)

چکیده

لازمه اجرای برنامه‌های حفاظت آب و خاک و کنترل رسوب، کسب اطلاعات از اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آنها در تولید رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در درون آبخیز است. به همین منظور در این مطالعه جهت تعیین سهم رسوب‌دهی هر یک از کاربری‌ها به‌عنوان منابع رسوب در حوضه آبخیز کند در استان تهران، ۳۵ ردیاب ژئوشیمیایی و کربن آلی در ۴۵ نمونه از منابع رسوب و ۱۱ نمونه رسوب آبخیز، اندازه‌گیری گردید. براساس نتایج آزمون کروسکال والیس، از بین ۳۵ ردیاب اندازه‌گیری شده، ۱۰ ردیاب شامل آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، برلیم (Be)، کلسیم (Ca)، مولیبدن (Mo)، فسفر (P)، سرب (Pb)، گوگرد (S)، روی (Zn) و کربن آلی (OC)، با سطح معنی‌داری کمتر از یک درصد، توانایی تفکیک منابع رسوب را داشتند. سپس با استفاده از تحلیل تشخیص، ۵ ردیاب کربن آلی (OC)، گوگرد (S)، فسفر (P)، روی (Zn) و آرسنیک (As) با ضریب معنی‌داری ۰/۰۰۰، به‌عنوان ترکیب بهینه انتخاب شدند که با تأیید ۹۷/۸ درصد قادر به تفکیک منابع رسوب شدند. درنهایت نتایج حاصل از مدل ترکیبی چند متغیره نشان داد که میانگین سهم کاربری باغ، مرتع و اراضی مسکونی در تولید رسوب به ترتیب ۱/۵۴، ۱۴/۲۷ و ۸۴/۱۸ درصد و مجموع مربعات خطا نیز ۰/۳۳ بود. نتایج این مطالعه می‌تواند در انتخاب روش مناسب کنترل رسوب در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز کند، ردیاب، کاربری اراضی، منبع رسوب، منشایابی

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

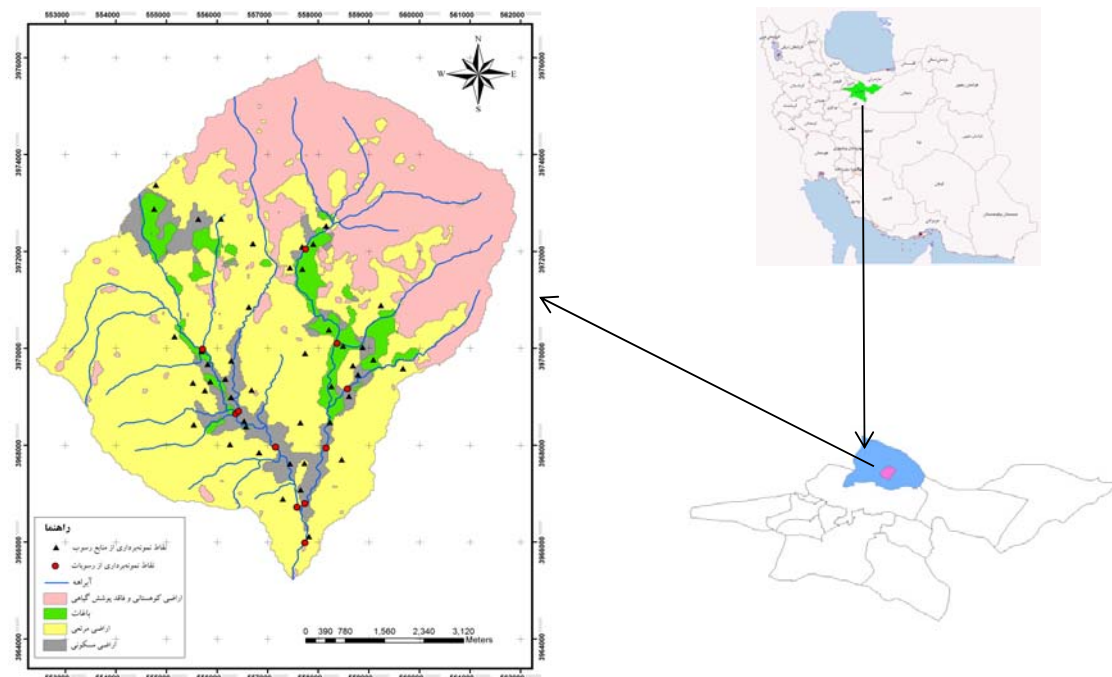
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.kavian@sanru.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی در حوضه‌های آبخیز ایران است. به علت تغییر کاربری در ایران، فرسایش در بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۲، ۸۰۰ درصد افزایش داشته است (۱۹). شناخت منبع تولید رسوب و تشخیص سهم هر یک از منابع رسوب برای تعیین فعالیت‌های مدیریتی حوضه آبخیز در راستای راهکارهای کنترل فرسایش و رسوب و حفاظت خاک که بیشترین اثر را بر کمیت و کیفیت آب و خاک دارد، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۴). روش‌های سنتی تعیین منابع رسوب شامل تفسیر بصری منابع بالقوه از طریق عکس‌های هوایی و مشاهدات صحرایی (۱۳)، پیمایش و اندازه‌گیری‌های محلی با استفاده از پروفیل‌متر (۱۷) و اندازه‌گیری هدررفت خاک در مناطق با کاربری متفاوت با استفاده از پلات‌های فرسایش (۶ و ۱۸) می‌باشد. اما کاربرد این روش‌ها معمولاً با مشکلات نمونه‌گیری مکانی و زمانی و تنگناهای اجرایی مواجه است و همچنین بعضی از این روش‌ها به زمان و هزینه زیادی نیاز دارند (۱۰ و ۱۴).

روش منشأیابی منبع رسوب، روشی مؤثر برای اثبات اهمیت نسبی منابع رسوب بالقوه است (۲۶). این روش، اصولی ساده و کم هزینه را برای گردآوری داده‌های مکانی و زمانی حوضه آبخیز در مقیاس‌های مختلف فراهم می‌کند (۱۰ و ۲۶). در روش منشأیابی رسوب، منابع رسوب باید براساس ویژگی ردياب‌ها از یکدیگر قابل تشخیص باشند (۱۴). این ویژگی‌های منحصر به فرد، در نمونه‌های رسوب و منبع رسوب اندازه‌گیری می‌شود (۱۶). این ردياب‌ها شامل ویژگی‌های ژئوشیمیایی (۱۵) و (۲۶)، فعالیت آنزیم‌ها به‌عنوان شاخص بیوشیمیایی (۱۹)، غلظت عناصر رادیواکتیو (۷ و ۲۶)، مواد آلی (۲۵)، ایزوتوپ پایدار (۶) و رنگ (۲۶) می‌باشند. در نهایت از مدل ترکیبی و آماری برای تخمین مشارکت رسوب هر منبع رسوب استفاده می‌گردد (۱۶). استفاده از منشأیاب‌های ترکیبی در مطالعات اخیر افزایش یافته است، زیرا باعث بالارفتن سطح تفکیک منابع رسوب می‌شود و در نتیجه قابلیت اعتماد به نتایج حاصله را

افزایش می‌دهد (۱۲، ۲۲ و ۲۶). محققین مختلفی در رابطه با منشأیابی رسوب مطالعاتی انجام داده‌اند که می‌توان به برخی از آنها اشاره نمود. فیض‌نیا و همکاران (۲)، به بررسی و تعیین سهم منابع تولید رسوب در حوضه آبخیز ابوالفارس در استان خوزستان با استفاده از ردياب‌های طبیعی خاک پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که بخش لِه‌بری از سازند آغاچاری، سازند آغاچاری، رسوبات کواترنر، سازندهای گچساران-میشان، ایلام- سروک و پابده- گورپی به ترتیب با داشتن ۲۹/۳، ۲۳/۸، ۱۹/۳، ۱۱/۳، ۹/۳ و ۶/۹ درصد بیشترین تا کمترین سهم را در رسوب خروجی حوضه آبخیز دارند. همچنین کاربری کشاورزی ۵۶/۳ درصد و کاربری مرتع ۴۳/۷ درصد در رسوب خروجی حوضه آبخیز نقش دارند. پورتو و همکاران، از روش منشأیابی رسوب با استفاده از دو ردياب سزیموم و سرب، به منظور بررسی تأثیر قطع درختان جنگل بر روی فرسایش خاک، در دو حوضه آبخیز کوچک واقع در ایتالیا استفاده کردند (۲۱). نتایج نشان داد که فرسایش در زمین‌هایی که پوشش جنگلی ناپیوسته‌ای دارد بیشتر است و همچنین قطع درختان جنگل و تبدیل آنها به زمین کشاورزی نیز باعث فرسایش زیادی در منطقه شده است. حدادچی و همکاران در تحقیقی سهم منابع رسوب بار بستر و رسوب معلق را در حوضه آبخیز طالقانی واقع در غرب ایران بررسی کردند (۱۵). بدین منظور ۴۴ نمونه منابع رسوب از خاک سطحی ۳ کاربری اراضی و خاک زیر سطحی کناره‌های کانال جمع‌آوری شد و همچنین ۸ نمونه رسوب معلق از رگبارهای مختلف و ۱۱ نمونه رسوب بار بستر از قسمت‌های مختلف رودخانه برداشت گردید و در نهایت از ۱۱ ردياب ژئوشیمیایی برای آنالیز نمونه‌ها استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که رسوبات منشأ گرفته از کانال سهم زیادی در تولید بار بستر داشته است (۷۱/۵ درصد). همچنین زمین‌های زراعی منبع اصلی رسوب در رگبارها بودند. فرانز و همکاران در مطالعه‌ای از بررسی آماری ردياب‌های ترکیبی و مدل ترکیبی چند متغیره برای تعیین کاربری مؤثر در انتقال رسوب در حوضه‌های آبخیز واقع در مرکز برزیل استفاده کردند (۱۴).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری منابع رسوب و رسوب

و سالانه مقدار قابل توجهی رسوب در مخزن سد انباشت می شود. برای اولویت بندی فعالیت های حفاظت خاک و کنترل رسوب، آگاهی از سهم منابع رسوب اهمیت به سزایی دارد. همچنین از آنجایی که منشایابی رسوب به عنوان روشی مناسب برای تعیین سهم منابع رسوب در دنیا شناخته شده است، در این مطالعه سعی شد تا از روش منشایابی رسوب با استفاده از مدل ترکیبی، سهم رسوب هر یک کاربری های موجود در حوضه آبخیز کند، تعیین گردد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کند در محدوده $35^{\circ} 49' 40''$ تا $35^{\circ} 51' 21''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 37' 21''$ تا $51^{\circ} 41' 24''$ طول شرقی واقع شده است و فاصله آن تا شهر تهران حدود ۲۰ کیلومتر بوده که در شمال شرق استان تهران و در شهرستان لوسانات قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت کل حوضه آبخیز مورد مطالعه $5758/83$ هکتار است که شامل $3164/31$ هکتار

بدین وسیله نمونه های منابع رسوب در طی فصول بارندگی سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ از کاربری های مختلف جمع آوری گردید. نمونه های رسوب نیز از انشعابات رودخانه برداشت شد. نتایج بیانگر این مسئله بود که منابع شهری بیشترین سهم را داشتند (۸۵ درصد) و پوشش های نیمه طبیعی و مناطق کشاورزی سهم خیلی کمی را در تولید رسوب منطقه داشتند (۵ درصد). نصرتی و همکاران از ردیاب های ژئوشیمیایی برای تعیین سهم منابع رسوب استفاده کردند (۲۰). در این تحقیق ۲۸ ردیاب در ۴۲ محل نمونه برداری از ۳ منبع رسوب شامل مرتع، باغ و کناره رودخانه و ۱۲ نمونه رسوب از پشت سدهای اصلاحی اندازه گیری شد. براساس نتایج مدل ترکیبی ایزوتوپ پایدار، سهم منابع رسوب منطقه از قبیل مرتع، باغ و کناره رودخانه به ترتیب ۲۰/۸، ۱۱/۲ و ۶۸ درصد برآورد گردید.

مطالعات انجام شده بر روی سدهای مخزنی نشان دهنده نرخ رسوب گذاری قابل توجه در سدهای مخزنی ایران است. حوضه آبخیز کند در بالادست سد لتیان قرار گرفته است و این سد تأمین کننده آب شرب شرق استان تهران محسوب می شود

آبراهه‌ای، فرسایش مکانیکی، فرسایش هزاردره، دامنه‌های منظم با فرسایش سطحی، فرسایش خندقی، فرسایش توده‌ای و فرسایش کناره‌ای می‌باشد. همچنین در پایین دست حوضه آبخیز مورد مطالعه، سد لتیان که یکی از سدهای مهم استان تهران می‌باشد، واقع شده است (۳).

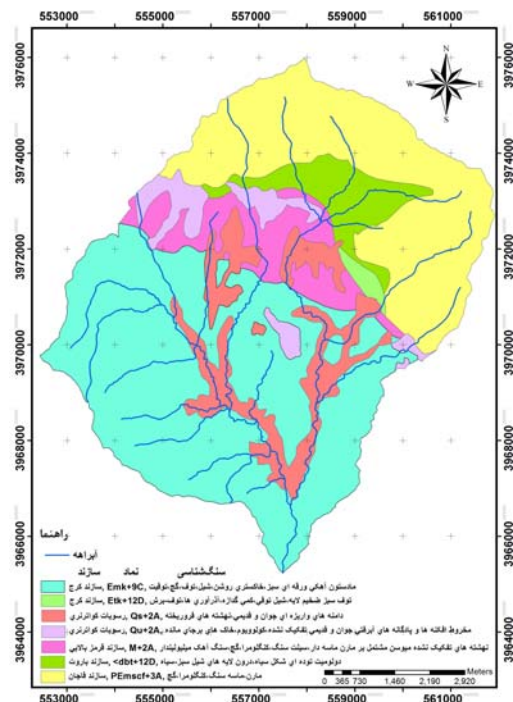
نمونه‌برداری رسوب و منابع رسوب

در حوضه آبخیز کند به‌منظور نمونه‌برداری از منابع رسوب تعداد ۱۱ نمونه از خاک سطحی فرسایش یافته (صفر تا ۵ سانتی‌متر) اراضی باغی، تعداد ۲۲ نمونه از اراضی مرتعی و ۱۲ نمونه از اراضی مسکونی جمع‌آوری گردید (شکل ۱) (۲۰). در اراضی مسکونی نمونه‌ها از حاشیه جاده برداشت شد (۱۴). روش نمونه‌برداری به این صورت بود که در هر منبع رسوب در منطقه‌ای به مساحت ۱۰۰ مترمربع، ۵ نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن، مقدار خاک لازم برداشت گردید تا نمونه برداشت شده نماینده‌ای از منطقه باشد. تعداد نمونه‌ها از هر کاربری با توجه به مساحت هر کاربری انتخاب شد. همچنین نمونه‌برداری با استفاده از یک بیلچه ضد زنگ انجام شد و بعد از هر بار نمونه‌برداری، به‌منظور جلوگیری از مخلوط شدن نمونه‌ها، بیلچه مورد استفاده تمیز شد (۲۰).

تعداد ۱۱ نمونه رسوب نیز از نهشته‌های جدید محل تلاقی آبراهه‌ها و انتهای زیر حوضه‌ها و خروجی حوضه آبخیز جمع‌آوری شد. تعداد نمونه‌های رسوب مخلوطی از ۵ زیرنمونه در مجاورت نقطه نمونه‌برداری بود تا نماینده همگنی از نمونه‌ها باشد (شکل ۱) (۲۰).

آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شد، سپس کوبیده شدند و ذرات زیر ۶۳ میکرون با استفاده از الک خشک جدا گردید (۹) و برای آنالیز در مرحله بعد آماده شد. برای تجزیه ۳۴ عنصر از دستگاه ICP-OES مدل Varian 735-ES و به‌روش انحلال چهار اسید مشتمل بر اسیدهای هیدروفلئوریک، پرکلریک،



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه

اراضی مرتعی (۵۴/۹۴ درصد)، ۱۸۵۲/۱۱ هکتار اراضی کوهستانی و فاقد پوشش گیاهی (۳۲/۱۶ درصد)، ۳۹۳/۳۹ هکتار اراضی مسکونی (۶/۸۳) و ۳۴۹/۰۲ هکتار باغ (۶/۰۶ درصد) می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع حداقل و حداکثر به ترتیب ۱۷۰۰ و ۳۹۰۰ متر، ارتفاع متوسط وزنی ۲۴۳۴ متر و شیب متوسط وزنی حوضه نیز ۵۳/۱۵ درصد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۷۵۹/۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۹/۲ درجه سانتی‌گراد است. متوسط رسوب‌دهی سالانه منطقه مورد مطالعه، ۱۸۴۳۲ تن برآورد گردیده است. همچنین از نظر زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه شامل ۲۶۰۴/۵۹ هکتار سازند کرج (۴۵/۲۲ درصد)، ۱۵۱۴/۴۸ هکتار سازند فاجان (۲۶/۲۹ درصد)، ۸۸۵/۲ هکتار رسوبات کواترنری (۱۵/۳۷)، ۴۲۰/۵۹ هکتار سازند قرمز بالایی (۷/۳۰ درصد) و ۳۳۰/۹۷ هکتار سازند باروت (۵/۷۹) می‌باشد که اطلاعات مربوط به سنگ‌شناسی در نقشه نشان داده شده است (شکل ۲). فرسایش‌های حوضه آبخیز کند نیز شامل فرسایش شیاری و

با توجه به گذراندن نمونه‌های منابع رسوب از الک ۶۳ میکرون دیگر نیازی به محاسبه ضریب Z نشد و به جای آن عدد یک در فرمول قرار گرفت. همچنین ضریب تصحیح کربن آلی به علت زیاد بودن مقدار آن در رسوبات در فرمول کولینز قرار گرفته است (۸) ولی در این مطالعه به علت زیاد نبودن مقادیر کربن آلی در نمونه‌های رسوب، برابر یک قرار گرفت (۲۰) و (۲۴). W_i نیز براساس معکوس جذر واریانس هر یک از ردیاب‌های بهینه به دست آمد. به دلیل بیشتر بودن تعداد معادلات نسبت به تعداد متغیرهای مجهول، باید مدل توسط حداقل نمودن تابع هدف با تکرار برازش داده شود که تابع هدف مجموع مربعات خطا در نظر گرفته شد (۵ و ۸). از این طریق سهم هر یک از کاربری‌ها در تولید رسوب به دست آمد. اجرای مدل ترکیبی و به دست آوردن سهم هر یک از منابع رسوب با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB 8.6 حاصل شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون آماری کروسکال والیس در بررسی توان ردیاب‌ها در جداسازی کاربری‌های مرتع، باغ و مسکونی در حوضه آبخیز کند در (جدول ۱) آورده شده است. از بین ۳۵ ردیاب ژئوشیمیایی و کربن آلی اندازه‌گیری شده، ۱۰ ردیاب آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، برلیوم (Be)، کلسیم (Ca)، مولیبدن (Mo)، فسفر (P)، سرب (Pb)، گوگرد (S)، روی (Zn) و کربن آلی (OC)، با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ توان تفکیک واحدهای کاربری اراضی حوضه آبخیز مورد مطالعه را به صورت انفرادی دارند که با علامت ستاره مشخص شده‌اند. به عبارت دیگر، میانگین غلظت هر یک از ردیاب‌های مشخص شده، حداقل در یک گروه (کاربری) متفاوت از دیگر گروه‌ها می‌باشد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، هر چه مقدار کای اسکور بالاتر بوده، سطح معنی‌داری بهتر شده است که از میان این ۱۰ ردیاب، گوگرد (S)، فسفر (P) و کربن آلی (OC) بالاترین مقدار کای اسکور را دارند. نتایج مربوط به تعداد گام‌های ورود ردیاب به مدل و ردیاب‌های بهینه در جداسازی منابع رسوب منطقه مورد مطالعه

نیتریک و هیدروکلریک استفاده گردید (۲۰). کربن آلی نیز به روش والکی بلک اندازه‌گیری شد (۲۳).

آزمون‌های آماری

برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌هایی که توان جداسازی و تفکیک منابع رسوب را داشته باشند، یک روش آماری دو مرحله‌ای به کار گرفته شد (۴ و ۸). در مرحله اول از آزمون کروسکال والیس برای بررسی توان جداسازی هر یک از ردیاب‌ها استفاده شد. بدین صورت ردیاب‌هایی که اختلاف میانگین کمتر از ۰/۰۱ داشتند، وارد مرحله دوم شدند. در مرحله دوم به منظور انتخاب ترکیب بهینه از زیر مجموعه ردیاب‌ها که به عنوان ویژگی بالقوه در مرحله اول انتخاب شدند، از تحلیل توابع تشخیص چند متغیره گام به گام استفاده شد (۱۴). هدف این تحلیل به حداکثر رساندن تفکیک بین منابع با به حداقل رساندن مجموعه بهینه ردیاب‌ها بوده است. به منظور تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS 23 استفاده گردید (۱۱). در پایان پس از انتخاب ترکیب نهایی ردیاب‌ها با استفاده از تحلیل تشخیصی، برای برآورد سهم هر یک از منابع رسوب، این ردیاب‌ها وارد مدل ترکیبی چند متغیره شدند که در این مطالعه از مدل ترکیبی چند متغیره کولینز و همکاران استفاده گردید (۵، ۸ و ۱۱).

در این مدل دو شرط در نظر گرفته می‌شود:

(۱) مقادیر ضریب سهم هر یک از منابع رسوب بین صفر و یک باشد.

$$0 \leq P_s \leq 1$$

(۲) مجموع سهم نسبی منابع رسوب برابر یک باشد.

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

$$R = \sum_{i=1}^n \left\{ \left(C_i - \left(\sum_{s=1}^m P_s \cdot S_{is} \cdot Z \cdot O \right) \right) / C_i \right\} \cdot W_i \quad [3]$$

که R مجموع مربعات خطا، C_i غلظت ردیاب i در نمونه رسوب، S_{is} غلظت ردیاب i در منبع S، P_s سهم نسبی از منبع S، Z ضریب تصحیح اندازه ذرات، O ضریب تصحیح کربن آلی، W_i ضریب وزنی ویژه هر یک از ردیاب‌ها، n تعداد ویژگی‌های ردیاب شامل ترکیب بهینه و m تعداد منابع رسوب می‌باشد.

جدول ۱. نتایج آزمون کروسکال والیس

سطح معنی داری	کای اسکور	ردیاب	سطح معنی داری	کای اسکور	ردیاب
۰/۰۰۲*	۱۲/۰۷۴	Mo(مولیبدن)	۰/۵۲۱	۱/۳۰۴	Ag(نقره)
۰/۶۵۴	۰/۸۴۹	Na(سدیم)	۰/۰۰۹*	۹/۳۷۷	Al(آلومینیوم)
۰/۸۱۳	۰/۴۱۵	Ni(نیکل)	۰/۰۰۰*	۱۷/۶۳۴	As(آرسنیک)
۰/۰۰۰*	۲۵/۵۷۴	P(فسفر)	۰/۹۸۶	۰/۰۲۸	Ba(باریم)
۰/۰۰۵*	۱۰/۶۹۹	Pb(سرب)	۰/۰۰۱*	۱۴/۹۴۶	Be(برلیوم)
۰/۰۰۰*	۳۵/۱۵۳	S(گوگرد)	۰/۰۰۳*	۱۱/۵۷۶	Ca(کلسیم)
۰/۴۶۴	۱/۵۳۶	Sb(آنتیموان)	۰/۸۵۸	۰/۳۰۶	Cd(کادمیوم)
۰/۴۱۹	۱/۷۳۹	Sc(اسکاندیوم)	۰/۸۷۸	۰/۲۵۹	Ce(سریوم)
۰/۴۲۶	۱/۷۰۷	Sr(استرونسیوم)	۰/۷۱۱	۰/۶۸۳	Co(کبالت)
۰/۶۸۳	۰/۷۶۳	Th(توریوم)	۰/۹۱۴	۰/۱۷۹	Cr(کروم)
۰/۹۹۸	۰/۰۰۴	Ti(تیتانیوم)	۰/۷۲۴	۰/۶۴۶	Cu(مس)
۰/۳۸۲	۱/۹۲۳	U(اورانیوم)	۰/۶۶۸	۰/۸۰۸	Fe(آهن)
۰/۱۸۷	۳/۳۵۳	V(وانادیوم)	۰/۶۶۲	۰/۸۲۵	K(پتاسیم)
۰/۳۰۵	۲/۳۷۴	Y(ایتريوم)	۰/۸۳۴	۰/۳۶۴	La(لانتانیوم)
۰/۲۸۱	۲/۵۳۷	Yb(ایتريوم)	۰/۴۵۹	۱/۵۵۷	Li(لیتیوم)
۰/۰۰۰*	۱۸/۶۰۸	Zn(روی)	۰/۶۶۸	۰/۸۰۷	Mg(منیزیوم)
۰/۶۶۰	۰/۸۳۰	Zr(زیرکونیوم)	۰/۵۵۴	۱/۱۸۰	Mn(منگنز)
			۰/۰۰۰*	۲۵/۵۷۰	OC(کربن آلی)

* سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۱

جدول ۲. وضعیت گام‌های مختلف ورود ردیاب‌ها به مدل

معنی داری	Wilk's Lambda	ردیاب	گام
۰/۰۰۰	۰/۱۵۲	OC	۱
۰/۰۰۰	۰/۰۶۱	S	۲
۰/۰۰۰	۰/۰۵۱	P	۳
۰/۰۰۰	۰/۰۴۳	Zn	۴
۰/۰۰۰	۰/۰۳۵	As	۵

نیز معیاری مناسب از نسبت اختلاف‌های درون گروهی به اختلاف‌های بین گروهی است (۴). در نهایت با توجه به توان تفکیک هر ردیاب، از بین ۱۰ ردیابی که در آزمون کروسکال والیس در سطح کمتر از ۰/۰۱ معنی دار بودند، به ترتیب، پنج ردیاب کربن آلی (OC)، گوگرد (S)، فسفر (P)، روی (Zn) و آرسنیک (As) در ۵ گام به عنوان ردیاب‌های بهینه که توانایی جداسازی واحدهای کاربری باغ، مرتع و اراضی مسکونی را از

در جدول (۲) ارائه شده است. مراحل مختلف وارد شدن ردیاب‌ها در تابع تشخیص به روش گام به گام می‌باشد. در روش گام به گام ویژگی‌های ردیاب به صورت یکی یکی و به ترتیب توان تفکیکی خود انتخاب می‌شوند. همچنین در این جدول سطح معنی داری و مقادیر ویلکس لامبدا در هر گام مشخص شده است. با افزایش هر گام مقدار ویلکس لامبدا کاهش می‌یابد و سطح معنی داری بهتر می‌شود. ویلکس لامبدا

جدول ۳. ویژگی‌های توابع تحلیل تشخیص سه منبع رسوب

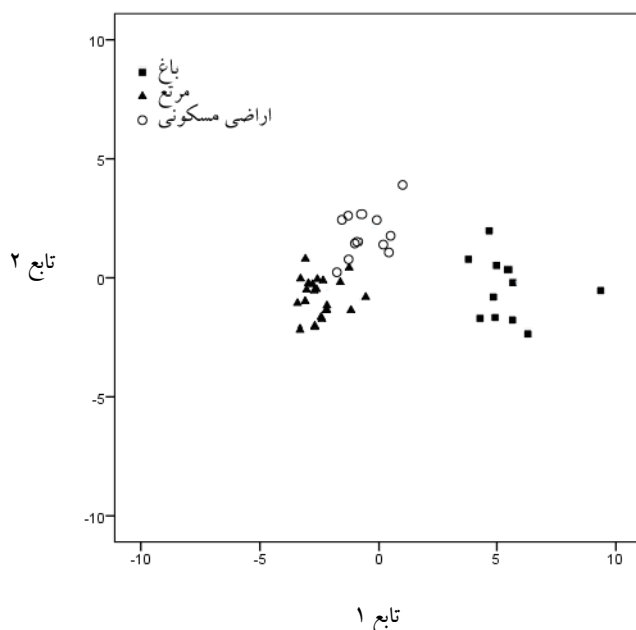
تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	معنی داری
۱	۱۰/۹۲۷	۸۸/۸	۸۸/۸	۰/۹۵۷	۱۳۳/۷۶۰	۰/۰۰۰
۲	۱/۳۷۵	۱۱/۲	۱۰۰	۰/۷۶۱	۳۴/۶۰۸	۰/۰۰۰

جدول ۴. درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در واحدهای کاربری اراضی

کل نمونه‌ها	پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها			کاربری اراضی	نتایج تحلیل
	اراضی مسکونی	مرتع	باغ		
۱۱	۰	۰	۱۱	باغ	نتایج تحلیل
۲۲	۰	۲۲	۰	مرتع	
۱۲	۱۱	۱	۰	اراضی مسکونی	
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	باغ	درصد
۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	مرتع	
۱۰۰	۹۱/۷	۸/۳	۰	اراضی مسکونی	
۱۱	۰	۰	۱۱	باغ	نتایج ارزیابی تحلیل
۲۲	۱	۲۱	۰	مرتع	
۱۲	۱۰	۲	۰	اراضی مسکونی	
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	باغ	درصد
۱۰۰	۴/۵	۹۵/۵	۰	مرتع	
۱۰۰	۸۳/۳	۱۶/۷	۰	اراضی مسکونی	

۱۱ نمونه باغ و ۲۲ نمونه مرتع به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و تنها از بین ۱۲ نمونه اراضی مسکونی، یک نمونه به اشتباه وارد کاربری مرتع شده است. بنابراین کاربری باغ، مرتع و اراضی مسکونی به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۹۱/۷ درصد به‌طور صحیح طبقه‌بندی گردیده است. به‌طور کلی درصد طبقه‌بندی صحیح برای سه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه برابر با ۹۷/۸ درصد می‌باشد. نتایج مربوط به ارزیابی متقابل تحلیل تشخیص نیز در قسمت دوم جدول آورده شده است که براساس نتایج این قسمت، ۱۱ نمونه کاربری باغ به درستی طبقه‌بندی گردیده است و از بین ۲۲ نمونه مرتع و ۱۲ نمونه اراضی مسکونی به ترتیب، یک و دو مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین درصد صحت طبقه‌بندی در این قسمت برای کاربری‌های باغ، مرتع و اراضی مسکونی به ترتیب ۱۰۰، ۹۵/۵ و ۸۳/۳ درصد بوده است و به‌طور کلی درصد ارزیابی صحت طبقه‌بندی برای سه کاربری

یکدیگر داشتند، وارد مدل شدند. همچنین نتایج مربوط به آزمون توابع تحلیل تشخیص در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده، دو تابع براساس ویژگی ردیاب‌ها مشخص گردیده است. درصد واریانس دو تابع به ترتیب برابر با ۸۸/۸ و ۱۱/۲ بوده است. همبستگی کانونی نیز میزانی از ارتباط بین گروه‌های متغیرهای وابسته و توابع متمایز شده را بیان می‌کند. مقادیر نزدیک به یک همبستگی قوی بین گروه‌ها و توابع را نشان می‌دهد (۵). در جدول ذکر شده، معنی داری توابع به وسیله آماره کای اسکور مشخص شده است و تابع تحلیل تشخیص با ضریب معنی داری ۰/۰۰۰ مورد قبول واقع شده است. تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده و درصد طبقه‌بندی صحیح در کاربری‌های باغ، مرتع و اراضی مسکونی در قسمت اول جدول (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود،



شکل ۳. نمودار پراکنش توابع تحلیل تشخیص براساس ترکیب بهینه ردیاب‌ها

رساندن مدل ترکیبی برای ۱۱ نمونه رسوب، سهم رسوب هر کاربری به دست آمد و سپس با میانگین‌گیری از مقادیر به دست آمده، میانگین سهم هر یک از کاربری‌های باغ، مرتع و اراضی مسکونی حوضه آبخیز کند به ترتیب ۱/۵۴، ۱۴/۲۷ و ۸۴/۱۸ درصد در تولید رسوب مشخص شد. همچنین میانگین مجموع مربعات خطا ۰/۳۳ به دست آمد. همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، سهم بعضی از کاربری‌ها صفر درصد می‌باشد که یکی از معایب مدل کولینز و همکاران می‌باشد (۸).

در نهایت از بین کاربری‌های اراضی مسکونی، باغ و مرتع، اراضی مسکونی به‌طور قابل توجهی، بیشترین سهم را در تولید رسوب حوضه آبخیز کند داشته است که با نتایج کولینز و همکاران (۱۲) مغایرت و با نتایج فرانز و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. یکی از دلایل مهم زیاد بودن سهم رسوب اراضی مسکونی نسبت به سایر کاربری‌ها این است که منطقه مورد مطالعه یک منطقه بیلاقی و تفریحی در شمال شرق استان تهران و در شهرستان لواسانات محسوب می‌شود به همین علت

حوضه آبخیز کند برابر با ۹۳/۳ درصد می‌باشد. بنابراین ترکیب بهینه ردیاب‌ها به خوبی قادر به جداسازی منابع رسوب می‌باشند.

به‌منظور بررسی بیشتر توان توابع تشخیص در جداسازی سه منبع رسوب باغ، مرتع و اراضی مسکونی در حوضه آبخیز کند، نمودار پراکنش توابع اول و دوم محاسبه شده توسط روش گام به گام تحلیل تشخیص و براساس ترکیب بهینه ۵ ردیاب کربن آلی (OC)، گوگرد (S)، فسفر (P)، روی (Zn) و آرسنیک (As) در (شکل ۳) نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تفکیک منابع رسوب در سه کاربری باغ، مرتع و اراضی مسکونی در حد قابل قبولی انجام گردیده است. با توجه به شکل مشخص است که کاربری باغ به‌طور کامل از کاربری مرتع و اراضی مسکونی مجزا شده است و تنها تعداد محدودی نمونه از کاربری مرتع و اراضی مسکونی هم‌پوشانی دارند.

با توجه به نتایج معادله (۳) و جدول (۵)، در نهایت با حل معادله مدل ترکیبی چند متغیره از طریق به حداقل

جدول ۵. درصد سهم هر کاربری برای هر نمونه رسوب و مجموع مربعات خطا برای هر نمونه رسوب

نمونه رسوب	کاربری باغ	کاربری مرتع	کاربری مسکونی	مجموع مربعات خطا (R)
۱	۰	۰	۱۰۰	۰/۳۲
۲	۰	۰	۱۰۰	۰/۳۲
۳	۰	۳۰	۷۰	۰/۰۲
۴	۰	۰	۱۰۰	۰/۳۲
۵	۲	۹۸	۰	۰/۰۱
۶	۱۵	۲۹	۵۶	۰/۰۰۱
۷	۰	۰	۱۰۰	۱/۱۷
۸	۰	۰	۱۰۰	۰/۳۲
۹	۰	۰	۱۰۰	۰/۵۷
۱۰	۰	۰	۱۰۰	۰/۳۲
۱۱	۰	۰	۱۰۰	۰/۳۲
میانگین	۱/۵۴	۱۴/۲۷	۸۴/۱۸	۰/۳۳

در حوضه آبخیز کند، فاصله مراتع از آبراهه اصلی نسبت به اراضی مسکونی و باغ بیشتر است و رسوبات حاصل از آن نسبت به سایر کاربری‌ها کم‌تر به انشعابات یا خروجی حوضه آبخیز می‌رسد و آبراهه‌های فرعی نیز به صورت فصلی هستند که در زمان نمونه‌برداری خشک بودند. در صورتی که اراضی مسکونی و باغ در مسیر آبراهه اصلی قرار گرفته‌اند. همچنین مراتع پایین دست حوضه به صورت قرق می‌باشند که همین امر باعث کاهش شدت فرسایش و به تبع آن کاهش تولید رسوب از اراضی مرتعی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان این چنین برداشت کرد که در حوضه آبخیز کند، روش منشایی رسوب قادر به تعیین و تفکیک مناسب سهم کاربری‌های اراضی حوضه می‌باشد و کارایی بالایی در این زمینه دارد. بنابراین می‌توان از نتایج حاصل از این مطالعه به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب در حوضه آبخیز کند استان تهران استفاده نمود و همچنین از آنجایی که سهم رسوب اراضی مسکونی زیاد می‌باشد، باید توجه ویژه به نحوه

کاربری منطقه به شدت در حال تغییر است و بعد از هر بارش مقدار زیادی رسوب حاصل از ویلاسازی سال‌های اخیر و به واسطه آن جاده‌سازی‌های صورت گرفته در منطقه، در انشعابات آبراهه و خروجی حوضه آبخیز نشست می‌کند. همچنین منطقه مورد مطالعه به علت کوهستانی بودن، شیب زیادی دارد به همین دلیل خاک حاصل از ساخت و ساز به راحتی شسته شده و در مسیر رودخانه رسوب می‌کند. کاربری باغ نیز کمترین سهم را در تولید رسوب داشته است که با نتایج نصرتی و همکاران (۲۰) مطابقت دارد (۲۰). کولینز و همکاران نیز در مطالعه‌ای که بر روی کاربری‌های مختلف انجام دادند، سهم رسوب پایین مناطق با پوشش درختی را تأیید نمودند (۱۱). در مناطق باغ‌کاری شده منطقه مورد مطالعه، شیب زمین کم و عمر درختان زیاد می‌باشد و پوشش مناسبی از لاشبرگ سطح زمین را پوشانده است. بنابراین خاک این مناطق نسبت به شستشو مقاوم می‌باشد. همچنین کاربری مرتع نیز سهم نسبتاً کمی در تولید رسوب داشته است که با مطالعات حدادچی و همکاران (۱۵)، فرانز و همکاران (۱۴) و نصرتی و همکاران (۲۰) صدق می‌کند ولی با نتایج مطالعات حکیم‌خانی و همکاران (۱)، فیض‌نیا و همکاران (۲) و کولینز و همکاران (۱۲) مغایرت دارد.

سپاسگزاری

از کارکنان محترم بخش آبخیزداری اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهران به خاطر مساعدت در اجرای پروژه کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

ساخت و سازهای منطقه داشت. با توجه به گسترش روش منشا‌یابی هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه انتخاب مناسب‌ترین ترکیب از ردیاب‌ها و تاثیر زمان نمونه‌برداری بر سهم رسوب وجود دارد.

منابع مورد استفاده

۱. حکیم‌خانی، ش.، ح. احمدی، ج. غیومیان و ح. نظرنژاد. ۱۳۸۶. تعیین سهم کاربری‌های مختلف اراضی در تولید رسوب با استفاده از روش منشا‌یابی (مطالعه موردی: حوضه پلدشت ماکو). مجله علوم خاک و آب ۲۱(۲): ۳۰۱-۳۱۳.
۲. فیض‌نیا، س.، ح. احمدی، م. معظمی و ه. فهمی. ۱۳۸۹. بررسی و تعیین سهم منابع تولید رسوب با بهره‌گیری از ردیاب‌های طبیعی خاک (بررسی موردی حوضه آبخیز ابوالفارس خوزستان). نشریه مرتع و آبخیزداری. مجله منابع طبیعی ایران ۶۳(۴): ۵۰۳-۵۱۴
۳. مهندسین مشاور آبخیزداران البرز. ۱۳۷۹. گزارش فرسایش و رسوب حوضه آبخیز کند (لتیان). مدیریت آبخیزداری، سازمان جهاد سازندگی استان تهران.
۴. نصرتی، ک. ۱۳۹۰. منشا‌یابی رسوب براساس برآورد عدم قطعیت. مجله پژوهش آب ایران ۵(۹): ۵۱-۶۰.
۵. نصرتی، ک.، ح. احمدی و ف. شریفی. ۱۳۹۱. منشا‌یابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۶(۶۰): ۲۳۷-۲۲۷.
6. Blake, W. H., K. J. Ficken, P. Taylor, M. A. Russell and D. E. Walling. 2012. Tracing crop-specific sediment sources in agricultural catchments. *Geomorphology* 140: 322-329.
7. Blake, W. H., P. J. Wallbrink, S. N. Wilkinson, G. S. Humphreys, S. H. Doerr, R. A. Shakesby and K. M. Tomkins. 2009. Deriving hillslope sediment budgets in wildfire-affected forests using fallout radionuclide tracers. *Geomorphology* 104: 105-116.
8. Collins, A. L., D. E. Walling and G. J. L. Leeks. 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *Catena* 29: 1-27.
9. Collins, A. L., D. E. Walling, H. M. Sickingabula and G. J. L. Leeks. 2001. Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. *Appl. Geogr.* 21: 387-412
10. Collins, A. L. and D. E. Walling. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Prog. Phys. Geog.* 28(2): 159-196.
11. 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.
12. Collins, A. L., D. E. Walling, L. Webb 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.
13. Eriksson, M., K. Reutersward and C. Christiansson. 2003. Changes in the fluvial system of the Kondoa Irangi Hills, Central Tanzania, since 1960. *Hydrol. Process.* 17: 3271-3285.
14. Franz, C., F. Makeschin, H. Weib and C. Lorz. 2014. Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil – using the fingerprint approach. *Sci. Total Environ.* 466-467: 513-523.
15. Haddadchi, A., K. Nosrati and F. Ahmadi. 2014. Differences between the source contribution of bed material and suspended sediments in a mountainous agricultural catchment of western Iran. *Catena* 116: 105-113.
16. Koiter, A. J., D. A. Lobb, P. N. Owens, E. L. Petticrew, K. H. D. Tiessen and SH. Li. 2013. Investigating the role of connectivity and scale in assessing the sources of sediment in an agricultural watershed in the Canadian prairies using sediment source fingerprinting. *J. Soils Sediments* 13: 1676-1691.
17. McCool, D. K., M. G. Dossett and S. J. Yecha. 1981. A portable rill meter for field measurements of soil loss. *Erosion and sediment transport measurement*. Wallingford: IAHS Press. 189-205.

18. Mohamadi, M. A. and A. Kavian. 2015. Effects of rainfall patterns on runoff and soil erosion in field plots. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 3: 273-281.
19. Nosrati, K., S. Feiznia, M. Van Den Eeckhaut and S. W. Duiker. 2011. Assessment of soil erodibility in Taleghan Drainage Basin Iran, using multivariate statistics. *Phys. Geogr.* 32: 78-96.
20. Nosrati, K., G. Govers, B. X. Semmens and E. J. Ward. 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma* 217-218: 173-180.
21. Porto, P., D. E. Walling and G. Callegari. 2009. Investigating the effects of afforestation on soil erosion and sediment mobilisation in two small catchments in Southern Italy. *Catena* 79: 181-188.
22. Schuller, P., D. E. Walling, A. Iroume, C. Quilodran, A. Castillo and A. Navas. 2013. Using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and other sediment source fingerprints to document suspended sediment sources in small forested catchments in south-central Chile. *J. Environ. Radioactiv* 124: 147-159.
23. Skjemstad, J. O. and J. A. Baldock. 2008. Total and organic carbon. PP. 225–237. *In: Carter, M. R. and E. G. Gregorich. (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis.* CRC Press, Boca Raton.
24. Smith, H. G. and D. Dragovich. 2008. Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. *Catena* 72: 191-203.
25. Smith, H. G. and W. H. Blake. 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: A critical re-examination of source discrimination and data corrections. *Geomorphology* 204: 177-191.
26. Walling, D. E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. Total Environ.* 344: 159-184.

Determining Sediment Contribution of Land Use Units in Kond Watershed using the Fingerprinting Approach

M. Zarea Khormizi¹, A. Kavian^{1*}, K. Soleimani¹ and K. Nosrati²

(Received: Feb. 27-2016 ; Accepted: Sept. 07-2016)

Abstract

Obtaining information about relative importance of sediment sources and their contributions on sediment production and thus identification of on-site critical areas is required for implementing soil and water conservations and sediment control programs. For this reason, in this study 35 geochemical tracers and organic carbon were measured in 45 samples of sediment sources and in 11 watershed sediment samples to determine the sediment deposit contribution of each land use as sediment resources in Kond watershed of Tehran province. Based on the results of Kruskal-Wallis test, from among 35 measured traces, 10 tracers including Al, As, Be, Ca, Mo, P, Pb, S, Zn and OC had ability to discriminate sediment sources with less than 1% confidence level. Then, 5 tracers: OC, S, P, Zn and As were selected as optimum composite using Discriminant Function Analysis (DFA) with 0.000 confidence coefficient that had distinguishing capability of sediment sources by 97.8% correct assignation. Finally, the results of multivariate mixing model showed that contribution means of orchard, range and residential were 1.54, 14.27 and 84.18% in sediment production, respectively. Also, the sum of squares of the error was 0.33. The results of this study can be used in selecting an appropriate method for sediment control in studied area.

Keywords: Kond watershed, Tracer, Land use, Sediment source, Fingerprinting.

1. Dept. of Watershed Manage. College of Natural Resour., Sari Agric. Sci. and Natural Resour. Univ., Sari, Iran.

2. Dept. of Physical Geography, Faculty of Earth Sci., Shahid Beheshti Univ., Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: a.kavian@sanru.ac.ir