

تعیین سهم نسبی زیرحوضه‌ها در تولید رسوب به‌وسیله داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی

کیوان صیدی‌نوره^۱، شمس‌اله ایوبی^{۱*} و کاظم نصرتی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵)

چکیده

هدف از این مطالعه، تعیین سهم نسبی منابع زیرحوضه در تولید رسوب به‌وسیله داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی به‌عنوان منشأ یاب در حوضه آبخیز چهل‌گزی سندج است. به این منظور، ۲۰ نمونه از خروجی پنج زیرحوضه برداشت و پذیرفتاری مغناطیسی آنها اندازه‌گیری شد. نتایج تحلیل آزمون کروسکال والیس نشان داد هر سه ردیاب بسامد بالا، پایین و وابسته توانایی تفکیک حداقل دو منبع را دارا هستند. در مرحله دوم، سه ردیاب در منبع زیرحوضه به‌وسیله تحلیل تشخیص آزمون شدند و دو ردیاب با توان تفکیک پذیری متفاوت، بسامد بالا ۸۸ درصد و پذیرفتاری وابسته با ۱۲ درصد و توان تفکیک‌پذیری هر دو ردیاب با هم در جداکنندگی زیرحوضه‌ها برابر با ۹۰ درصد بود، به‌عنوان ترکیب بهینه انتخاب شدند، پس این قابلیت را دارند که در مدل تعیین سهم نسبی رسوب شرکت داده شوند. نتایج مدل منشأ‌یابی رسوب بر اساس روش عدم قطعیت Bayesian نشان داد، زیرحوضه‌های تودارصمدی با ۴۴/۴ درصد بیشترین سهم و دویسه، چتان و چرندو به‌ترتیب با ۳۵/۵، ۷/۹ و ۴/۵ و مادیان‌دول با ۴/۴ درصد کمترین سهم را در تولید رسوب داشت. بر اساس نتایج موجود، زیرحوضه‌های تودارصمدی و دویسه دارای بیشترین میزان تولید رسوب بود، پس در اجرای برنامه‌های مدیریتی حفاظت خاک باید در اولویت قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: منشأ‌یابی رسوب، پذیرفتاری مغناطیسی، حوضه آبخیز چهل‌گزی، مدل عدم قطعیت Bayesian

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

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

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ayoubi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

متأسفانه تغییرات شدید محیط زیست در چند دهه اخیر نمایانگر مدیریت‌های نامطلوب منابع طبیعی و سیر صعودی ناپایداری اکوسیستم‌ها در کشور است. دلیل این امر به تغییر ناآگاهانه و غیرعلمی کاربری اراضی مرتعی و جنگلی و استفاده از سیستم‌های مختلف خاکورزی بدون شناخت کافی از محیط خاک، طی سالیان متمادی نسبت داده شده است. بر اساس نتایج آمار فائو (۱۹۹۴)، دومین گزارش زیست‌محیطی کشور (۱۳۸۴) و جلالیان (۲۰۱۱) میزان فرسایش آبی در کشور حدود ۳۸ تن در هکتار در سال برآورد شده است که ۲۰ تا ۳۰ برابر حد قابل قبول آن است و سه عامل چرای مفرط، کشت دیم روی شیب‌های تند و جنگل‌تراشی را از علل تخریب خاک اعلام کردند (۱۰، ۱۶ و ۳۰).

فرسایش خاک به‌عنوان یک معضل زیست‌محیطی شناخته می‌شود و پژوهش‌های انجام‌شده در ایران نشان می‌دهد شدت فرسایش خاک در ایران زیاد بوده است و هرساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری به کشور وارد می‌کند که از جمله می‌توان به پر شدن مخازن سدها، وقوع سیلاب‌ها و رواناب‌های دهه‌های اخیر، آلودگی آب و خسارت به تأسیسات آبیاری و از بین رفتن حاصلخیزی خاک اشاره کرد. عوامل مختلفی در روند افزایش فرسایش و رسوب خاک در کشور دخالت دارند که از جمله این عوامل می‌توان به تبدیل مراتع به دیم‌زارها، جنگل‌تراشی، دیم‌کاری در زمین‌های شیب‌دار، عملیات نادرست کشاورزی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع و عوامل متعدد دیگر اشاره کرد (۱۷).

بیشترین مساحت در معرض خطر فرسایش در جهان به قاره آسیا با ۳۵ میلیون هکتار و پس از آن مربوط به قاره آفریقا، آمریکا و اروپاست (۵). فرسایش خاک از جمله عوامل مهم در تخریب زمین‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است. با توجه به اینکه فرسایش خاک در اثر تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک تشدید می‌شود، نیاز به بررسی تأثیر شاخص‌های کیفیت خاک بر فرسایش‌پذیری خاک در کاربردهای مختلف زمین وجود

دارد (۲۶).

به‌منظور کنترل رسوب و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در حوضه‌های آبخیز، شناسایی منابع اصلی تولید رسوب و مناطق فرسایش‌پذیر امری ضروری است، زیرا برخی از استراتژی‌های حفاظت خاک باید روی منابع اصلی متمرکز شوند، در همین راستا مطالعات منشأیابی رسوب به‌عنوان روشی کارآمد، سریع و کم‌هزینه می‌تواند استفاده شود.

روش منشأیابی رسوب (Sediment fingerprinting)، تعیین سهم نسبی هریک از منابع رسوب در تولید رسوب براساس مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و مغناطیسی مواد فرسایش یافته و رسوب تولیدی، به‌دلیل تفاوت ویژگی‌های رسوبات به‌دست آمده از مراتع و زمین‌های کشاورزی و رسوبات کناره رودخانه است (۲۵).

برای فرایند مقایسه نیاز به یک سری ویژگی‌ها و ردیاب‌هایی است. به‌طور کلی روش منشأیابی شامل دو مرحله است؛ مرحله اول شامل انتخاب یک یا گروهی از ویژگی‌های متمایزکننده است که منابع رسوب را به‌طور دقیق و واضح جدا کنند، در مرحله دوم با روش‌های آماری، ترکیبی بهینه که قادر به تفکیک دقیق منابع رسوب باشد از ترکیب اولیه استخراج می‌شود.

نحوه پاسخ‌گویی به میدان مغناطیسی، ویژگی بنیادی در مواد است که اندازه‌گیری آن اطلاعات زیادی از ساختار الکترونی و وجود حالت‌های مغناطیسی منظم در ماده را به‌دست می‌دهد. پذیرفتاری مغناطیسی (Magnetic susceptibility) یک ثابت بدون بعد است که نشانگر درجه مغناطش یک ماده در پاسخ آن ماده به میدان مغناطیسی است.

عامل ایجاد مغناطش در خاک به‌طور عمده کانی‌های مگنتایت و مگهمایت هستند درحالی که کانی‌های آهن‌دار دیگر غیرمغناطیس و حتی برخی ترکیبات موجود در خاک نظیر کربنات‌ها دارای پذیرفتاری مغناطیسی منفی هستند (۲۳).

به‌طور کلی سه نوع رفتار مغناطیسی وجود دارد که شامل دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس می‌شود (۲۷). کانی‌های دیامغناطیس کانی‌های فاقد آهن هستند و شامل

پژوهش زمین‌های کشاورزی عامل اصلی تولید رسوبات بستری و معلق محسوب می‌شدند و براساس مدل‌های موجود نتایج این پژوهش با قطعیت حدود ۷۱ درصد همراه بود (۱۳).

حکیم‌خانی، تکنیک منشأیابی رسوب را در حوضه قره‌آغاج، ماکو در ایران به‌کار برد تا سهم منابع رسوب را در تولید رسوب مشخص کند. با بهره‌گیری از روش تجزیه تابع تشخیص، سه ردیاب سزیم ۱۳۷، کربن آلی و نیویم به‌عنوان ترکیب بهینه گزینش شدند. در پایان با بهره‌گیری از ترکیب یاد شده و مدل‌های چندمتغیره ترکیبی، سهم فرسایش سطحی و زیرسطحی در تولید رسوب به‌ترتیب برابر ۳۴/۶ و ۶۵/۴ درصد تعیین شد (۱۴).

در مطالعه‌ای نیز به منشأیابی رسوب با استفاده از داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی پرداختند. در این پژوهش با استفاده از بسامد پایین و قابلیت مغناطیسی وابسته به بسامد اقدام به منشأیابی رسوبات در حوضه‌های آبخیز استان سمنان کرده‌اند. از کروسکال والیس و تحلیل تشخیص برای وجود تفاوت معنی‌دار و انتخاب ترکیب بهینه استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که بسامد وابسته قابلیت خوبی در تفکیک منابع رسوب دارد (۱۸).

فتح‌آبادی و همکاران، در مطالعه‌ای در حوضه زیدشت - فشنک طالقان با استفاده از روش‌های مونت‌کارلو و گلو (GLUE) اقدام به تعیین عدم قطعیت جواب‌های به‌دست آمده با استفاده از روش ترکیبی چندمتغیره شد. نتایج به‌دست آمده در منطقه نشان داد که سهم منابع زیرسطحی نسبت به منابع سطحی بیشتر بود و اختلاف حد بالا و پایین به‌دست آمده برای منابع مختلف، بالا بود که نشان‌دهنده عدم قطعیت بالای این روش است (۱۱).

از این‌رو مطالعات منشأیابی رسوب به‌عنوان روشی کارآمد، سریع و کم‌هزینه در برآورد مقدار رسوب و سهم منابع مختلف در تولید رسوب می‌تواند استفاده شود. تکنیک منشأیابی رسوب براساس مدل‌های ترکیبی در ایران کمتر توجه شده است و در منطقه مورد مطالعه در رابطه با منشأیابی رسوب هیچ‌گونه تحقیق و مطالعه‌ای صورت نگرفته است. از این‌رو هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر زیرحوضه‌های مختلف بر میزان

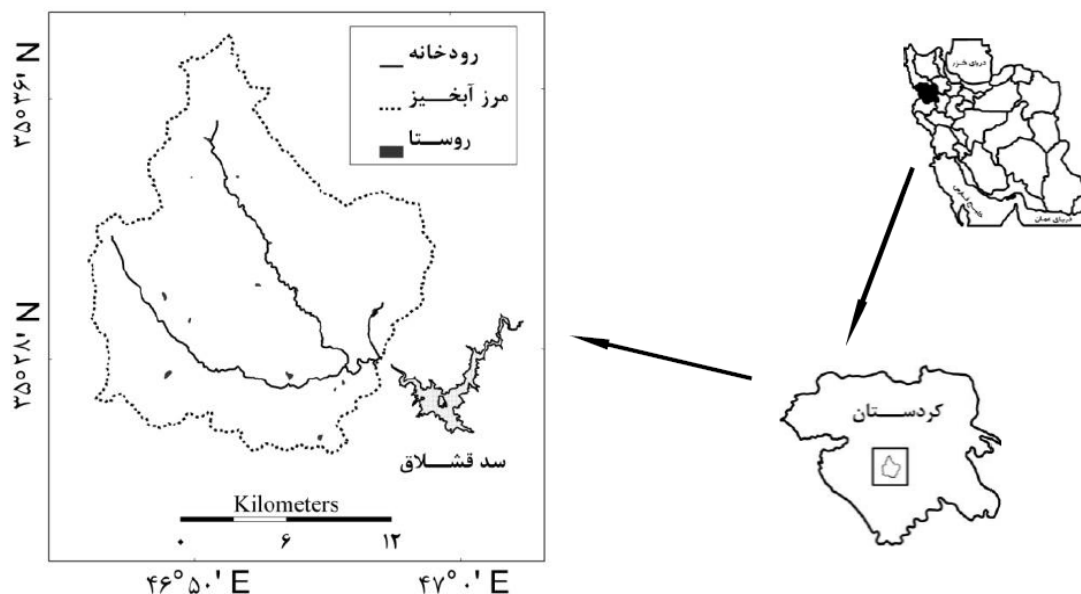
کلسیت، کوارتز و ماده آلی می‌شوند (۳). کانی‌های پارامغناطیس شامل آن دسته از کانی‌ها هستند که ممکن است در ساختار خود آهن داشته باشند مثل اولیوین، بیوتیت و پیریت (۸). رفتارهای فرامغناطیس کانی‌های با ساختار کاملاً آهنی هستند؛ مثل اکسیدهای آهن و سولفیدهای آهن. میزان حساسیت مغناطیسی نمونه‌های ترکیبی مثل خاک‌ها و رسوبات بر طبق کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها متفاوت خواهند بود (۱۵).

در مطالعات منشأیابی، منابع رسوب و انواع کاربری‌ها (۲۰)، فرسایش سطحی و زیرسطحی (۲۴)، و منابع مکانی از جمله واحدهای سنگ‌شناسی یا زیرحوضه‌ها (۶) و ترکیبی از تمام منابع (۴) را در نظر می‌گیرند. در این مطالعات انواع مختلفی از شاخص‌های منشأیاب مانند کانی‌های رسی (۹)، ویژگی‌های مغناطیسی (۱۲)، عناصر ژئوشیمیایی (۲۹)، مواد آلی (۲۴)، عناصر رادیواکتیو (۶) رنگ خاک و اندازه ذرات خاک (۲) برای تفکیک منابع رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کالینز و همکاران به‌منظور تعیین سهم و اهمیت نسبی نوع منابع رسوب از جمله فرسایش‌های سطحی و زیرسطحی (مانند رودخانه‌ای و خندقی) و ارتباط بین الگوهای فرسایش و تغییرات کاربری از تکنیک منشأیابی رسوب استفاده کردند که در همه موارد فرسایش زیرسطحی سهم بیشتری در تولید رسوب داشت (۷).

نصرتی و همکاران در مطالعه‌ای به منشأیابی رسوبات از طریق انگشت‌نگاری پرداختند و در همین راستا برای ارزیابی سهم منابع رسوب در تولید رسوب از برخی مدل‌های ترکیبی چندمتغیره برای تعیین عدم قطعیت نوع ردیاب بهره گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد ردیاب‌هایی از جمله استرانسیم، بر، کربن و تالیوم با ۹۷ درصد صحت به‌عنوان بهترین منشأیاب رسوب در منطقه بودند (۲۱).

حدادچی و همکاران در منطقه طالقان، ۱۱ ردیاب ژئوشیمیایی را برای منشأیابی رسوب استفاده کردند. در این مطالعه دو مدل ترکیبی به‌منظور تعیین سهم کاربری‌های مختلف در تولید رسوبات معلق و بستری استفاده شد. طبق نتایج این



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان کردستان

رودخانه دائمی است که از شمال و غرب سرچشمه می‌گیرند و به جنوب شرقی آن ختم می‌شوند. متوسط بارش سالیانه منطقه ۴۳۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۲۳ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس روش دومارتن، اقلیم منطقه در رده نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. شمالی‌ترین نقطه منطقه با ۲۶۰۰ متر و نقطه خروجی حوضه ۱۶۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب بلندترین و پست‌ترین نقاط ارتفاعی منطقه هستند. منطقه از نظر شیب دارای سرازیری‌های تند است، به طوری که شیب متوسط منطقه ۱۷/۵۷ درصد است. خاک منطقه عمدتاً نیمه‌عمیق است با بافت غالب شن‌لومی و دارای گروه‌های هیدرولوژیکی B و C، رژیم رطوبتی زیریک و رژیم حرارتی مزیک است و در زیررده‌های بزرگ خاک در گروه انتی‌سول قرار می‌گیرد. حوضه از سنگ‌های آندزیتی، شیلی و آهکی تشکیل شده و از لحاظ ژئومورفولوژی، بیشتر سطح منطقه کوهستانی است (۱).

نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

برای انجام نمونه‌برداری، نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی سنندج و باینجوب که از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شده بودند در محیط GIS پردازش و مکان‌های مناسب برای

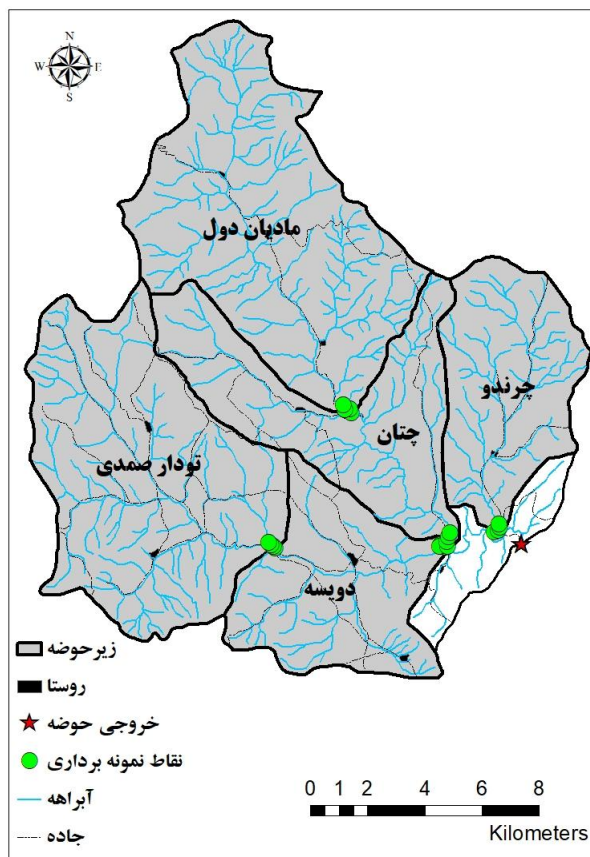
فرسایش و تولید رسوب به روش انگشت‌نگاری در منطقه مورد مطالعه است تا با شناخت مناطق حساس و پرخطر، روش‌های مناسب مبارزه با فرسایش در آنها استفاده شود. در این راستا اهداف زیر تعریف شده است:

- تعیین میزان تولید رسوب (سهم نسبی منابع رسوب) در زیرحوضه‌ها.
- انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌های پذیرفتاری مغناطیسی با توجه به اندازه‌گیری شاخص‌ها و تجزیه و تحلیل آماری.
- منشأیابی رسوبات منتقل شده به رودخانه با استفاده از روش انگشت‌نگاری و تعیین عدم قطعیت آنها با مدل Bayesian.

مواد و روش‌ها

توصیف منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش حوضه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق، با مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار واقع در استان کردستان و شمال شرقی شهر سنندج و در محدوده مختصات جغرافیایی ۱۱° ۴۶' ۴۶" تا ۱۵° ۵۹' ۴۶" طول شرقی و ۳۵° ۲۴' ۵۹" تا ۳۵° ۳۷' ۵۳" عرض شمالی، مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه از نظر منابع آبی دارای تعداد زیادی چشمه و دو



شکل ۲. نقشه آبراهه و نقاط نمونه برداری منطقه

در خروجی حوضه و همچنین نقاط نمونه برداری رسوبات کف بستر هر زیرحوضه را نشان می‌دهد.

نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شد. سپس کوبیده شده و ذرات زیر ۶۳ میکرون با استفاده از الک خشک جدا و برای آنالیز در مرحله بعد آماده شد.

پذیرفتاری مغناطیسی در بسامد پایین (X_{lf}) و پذیرفتاری مغناطیسی در بسامد بالا (X_{hf}) به کمک دستگاه پذیرفتاری سنج مدل Bartington MS2 Dual Frequency Meter اندازه‌گیری شد و پذیرفتاری وابسته به بسامد از رابطه زیر محاسبه شد.

(۱):

$$100 \times (\text{بسامد پایین} / (\text{بسامد بالا} - \text{بسامد پایین})) = \text{پذیرفتاری وابسته}$$

آنالیز آماری

برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌هایی که توان جداسازی و

نمونه برداری مشخص شدند. نمونه برداری از منطقه با توجه به شرایط توپوگرافیک و مساحت زیاد آن سخت و زمان‌بر بود و رسوبات تازه ته‌نشین شده در خروجی کف آبراهه‌های هر کدام از زیرحوضه‌ها به طول سه کیلومتر از خروجی حوضه با چهار تکرار برداشت شدند. فاصله هر نمونه با نمونه بعدی ۲۵۰ متر بود. ۲۰ نمونه از محل خروجی پنج زیرحوضه برداشت شدند. هر نمونه ترکیبی از پنج زیرنمونه بود و با فاصله ۵۰ متر از هم برداشت شدند تا نمونه‌های رسوب نماینده واقعی از جامعه باشند. نمونه برداری از رسوبات جدید صورت گرفت. برای هر نمونه برداری از رواناب در طول هر هشت رخداد مهم بارشی که در سال ۹۴ اتفاق افتاد، هر ۱۵ دقیقه یکبار از رسوبات معلق واقع در خروجی حوضه نمونه برداری شد و در پایان هر رخداد بارشی، نمونه‌ها با هم ترکیب و سپس صاف شدند. در مجموع هشت نمونه برداشت شد. شکل (۲) محل نمونه برداری رواناب

جدول ۱. نتایج پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون ($\times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$) در حوضه آبخیز چهل‌گری

پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های منابع رسوب				پذیرفتاری مغناطیسی وابسته (%)			
زیرحوضه	بسامد پایین	بسامد بالا	پذیرفتاری وابسته (%)	زیرحوضه	بسامد پایین	بسامد بالا	پذیرفتاری وابسته (%)
مادیان‌دول	۸۰/۱۰	۷۶/۵۸	۴/۴۰	تودار صمدی	۲۷/۸۰	۲۶/۷۳	۳/۸۶
مادیان‌دول	۷۵/۰۳	۷۱/۸۰	۴/۳۱	میانگین	۳۲/۶۰	۳۱/۲۱	۴/۱۴
مادیان‌دول	۵۸/۲۸	۵۵/۸۵	۴/۱۵	انحراف معیار	۶/۲۱	۵/۷۲	۰/۸۲
مادیان‌دول	۵۵/۸۳	۵۳/۳۵	۴/۴۲	چرندو	۸۸/۹۰	۸۳/۴۸	۶/۰۹
میانگین	۶۷/۳۱	۶۴/۳۹	۴/۳۲	چرندو	۸۴/۵۸	۷۹/۶۳	۵/۸۵
انحراف معیار	۱۲/۰۶	۱۱/۵۲	۰/۱۲	چرندو	۸۲/۳۳	۷۷/۲۵	۶/۱۷
دویسه	۲۷/۷۰	۲۶/۲۳	۵/۳۲	چرندو	۸۵/۳۸	۷۹/۸۸	۶/۴۴
دویسه	۲۵/۶۰	۲۴/۴۸	۴/۳۴	میانگین	۸۵/۲۹	۸۰/۰۶	۶/۱۴
دویسه	۲۵/۸۵	۲۴/۵۵	۵/۰۳	انحراف معیار	۲/۷۳	۲/۵۷	۰/۲۴
دویسه	۲۶/۰۵	۲۴/۹۰	۴/۳۹	چنان	۴۱/۳۸	۳۹/۳۰	۵/۰۱
میانگین	۲۶/۳۰	۲۵/۰۴	۴/۷۷	چنان	۴۳/۲۸	۴۱/۳۰	۴/۵۷
انحراف معیار	۰/۹۵	۰/۸۱	۰/۴۸	چنان	۴۶/۰۰	۴۳/۷۳	۴/۹۵
تودار صمدی	۳۶/۷۰	۳۵/۱۳	۴/۲۸	چنان	۵۰/۸۰	۴۸/۵۰	۴/۵۵
تودار صمدی	۳۹/۱۰	۳۷/۰۸	۵/۱۹	میانگین	۴۵/۳۶	۴۳/۲۱	۴/۷۷
تودار صمدی	۲۶/۸۰	۲۵/۹۰	۳/۲۳	انحراف معیار	۴/۰۹	۳/۹۷	۰/۲۴

مغناطیسی رسوبات در دو بسامد بالا و پایین و پذیرفتاری وابسته به بسامد (درصد) به‌عنوان ردیاب سوم آورده شده است (جدول ۱).

نمونه‌های با پذیرفتاری مغناطیسی بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ در طیف کانی‌های فرومغناطیس قرار دارند که سرشار از اکسید آهن هستند و اعداد ۵۰ تا ۱۰۰۰ در طیف کانی‌های پارامغناطیس قرار دارند که حد متوسطی از اکسید آهن را دارند و پایین‌تر از عدد ۵۰ نمونه‌های رسوب مربوط به کانی‌های دیامغناطیس هستند که تهی از اکسید آهن هستند. با توجه به جدول (۱) بیشتر نمونه‌ها دارای کانی‌های پارامغناطیس و دیامغناطیس هستند.

براساس نتایج جدول (۲) ردیاب‌های بسامد بالا و پایین و پذیرفتاری وابسته در اندازه ذرات پایین‌تر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر در منبع زیرحوضه دارای قابلیت جداکنندگی خوبی هستند. در این جدول، سه ردیاب بسامد بالا و پایین و پذیرفتاری وابسته با اطمینان ۹۵ درصد در منبع زیرحوضه دارای تفاوت معنی‌دار

تفکیک منابع رسوب را داشته باشند، یک روش آماری دومرحله‌ای به‌کار گرفته شد (۲۲). در مرحله اول از آزمون کروسکال‌والیس برای بررسی توان جداسازی هریک از ردیاب‌ها استفاده شد. بدین‌صورت ردیاب‌هایی که اختلاف میانگین کمتر از ۰/۰۵ داشتند، وارد مرحله دوم شدند. در مرحله دوم به‌منظور انتخاب ترکیب بهینه از زیرمجموعه ردیاب‌ها که به‌عنوان ویژگی بالقوه در مرحله اول انتخاب شدند، از تحلیل توابع تشخیص چندمتغیره گام‌به‌گام استفاده شد. هدف این تحلیل به حداکثر رساندن تفکیک بین منابع با به حداقل رساندن مجموعه بهینه ردیاب‌ها از عملیات حداقل کردن آماره ویلکس لامبدا (Wilks Lambda) استفاده شد. به‌منظور تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS ۱۹ استفاده شد (۲۸).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی داده‌های پذیرفتاری

جدول ۲. نتایج آزمون کروسکال والیس در بررسی توان ردیاب‌های مغناطیسی در جداسازی منابع رسوب در منبع زیرحوضه

ردیاب	اندازه ذرات رسوب (میلی‌متر)	آماره H	سطح معنی‌داری
بسامد بالا	> 0.063	18/071	0/001
بسامد پایین	> 0.063	18/071	0/001
بسامد وابسته	> 0.063	12/000	0/015

جدول ۳. نتایج تحلیل تشخیص در تعیین ترکیب بهینه ردیاب‌ها در منبع زیرحوضه

روش تحلیل تشخیص	حساسیت	اندازه ذرات	ویلکس لاند	F	سطح معنی‌داری	طبقه‌بندی صحیح منابع (%)
گام‌به‌گام	بسامد بالا	< 0.063	0/061	57/000	0/000	88
	پذیرفتاری وابسته	< 0.063	0/020	21/034	0/000	12

شکل تفکیک منابع رسوب در واحدهای زیرحوضه توسط توابع یک و دو به‌درستی انجام گرفته است.

سهم واحدهای زیرحوضه در تولید رسوب

با توجه به اینکه از خروجی حوضه هشت نمونه رسوب برداشت شده بود مدل عدم قطعیت Bayesian هشت بار برای تک‌تک نمونه رسوبات به‌وسیله برنامه Matlab اجرا شد و بار دیگر مجموع آنها یک‌جا استفاده شدند و سهم نسبی رسوبات در هر پنج زیرحوضه در صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ به‌دست آمدند، که در جدول (۵) صدک پنجاه بیانگر میانه سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب و صدک ۵ و ۹۵ بیانگر عدم قطعیت موجود در منابع تولید رسوب هستند. با توجه به جدول (۵) زیرحوضه تودارصمدی در تولید رسوب با ۴۴/۴ درصد بیشترین سهم و زیرحوضه مادیان‌دول با ۴/۴ درصد کمترین سهم را در تولید رسوب داشت. در شکل (۴) سهم نسبی تولید رسوب به‌صورت ترکیبی با استفاده از مدل عدم قطعیت Bayesian نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده اهمیت پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات در تفکیک پذیری منابع تولید رسوب است.

هستند. به این ترتیب، ردیاب‌های ذکر شده در منبع زیرحوضه قابلیت تفکیک‌کنندگی منابع را دارند.

بعد از آزمون H نیاز هست تا ترکیب بهینه ردیاب‌ها مشخص شود. براین اساس، سه ردیاب در منبع زیرحوضه به‌وسیله تحلیل تشخیص آزمون شدند و دو ردیاب بسامد بالا و بسامد وابسته با قدرت جداکنندگی متفاوت (بسامد بالا برابر ۸۸ درصد و بسامد وابسته برابر با ۱۲ درصد) و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ به‌عنوان ترکیب بهینه تشخیص داده شدند (جدول ۳) و قدرت جداکنندگی هر دو ردیاب با هم در جداکنندگی زیرحوضه‌ها برابر با ۹۰ درصد بود. به این ترتیب این دو ردیاب در منبع زیرحوضه این قابلیت را دارند که در مدل تعیین سهم نسبی رسوب شرکت داده شوند.

جدول (۴) درصد طبقه‌بندی صحیح در هر گروه و تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول نمونه‌ها در زیرحوضه ۹۵ درصد صحیح برداشت و طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه‌بندی صحیح به‌طور کلی برابر با ۹۵ درصد است. قسمت دوم جدول نیز نتایج ارزیابی متقابل تحلیل تشخیص را نشان می‌دهد. در این قسمت طبقه‌بندی صحیح برابر با ۹۰ درصد است. برای بررسی بیشتر توان توابع تحلیل تشخیص در جداسازی گروه‌ها، نمودار پراکنش تابع یک در مقابل تابع دو در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به این

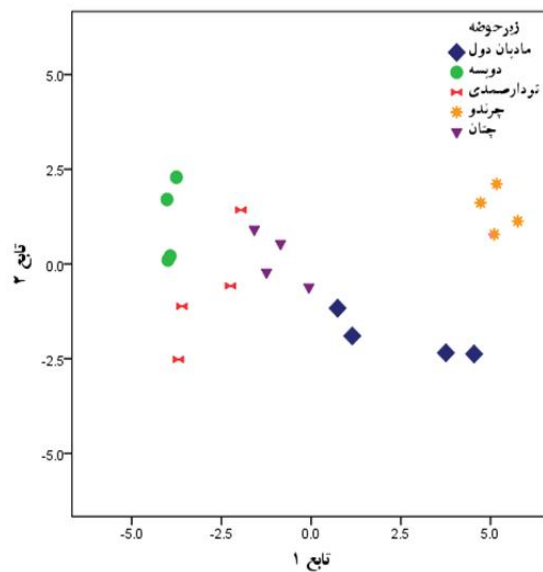
جدول ۴. درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در واحدهای زیرحوضه

کل نمونه‌ها	پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها					واحدهای زیرحوضه	نتایج طبقه‌بندی
	۵	۴	۳	۲	۱		
۴	۰	۰	۰	۰	۴	۱	تعداد
۴	۰	۰	۰	۴	۰	۲	
۴	۱	۰	۳	۰	۰	۳	
۴	۰	۴	۰	۰	۰	۴	
۴	۴	۰	۰	۰	۰	۵	
نتایج تحلیل							
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱	درصد
۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۲	
۱۰۰	۲۵	۰	۷۵	۰	۰	۳	
۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۴	
۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۵	
نتایج ارزیابی تحلیل							
۴	۱	۰	۰	۰	۳	۱	تعداد
۴	۰	۰	۰	۴	۰	۲	
۴	۱	۰	۳	۰	۰	۳	
۴	۰	۴	۰	۰	۰	۴	
۴	۴	۰	۰	۰	۰	۵	
نتایج ارزیابی تحلیل							
۱۰۰	۲۵	۰	۰	۰	۷۵	۱	درصد
۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۲	
۱۰۰	۲۵	۰	۷۵	۰	۰	۳	
۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۴	
۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۵	

کد ۱: زیرحوضه مادیان‌دول (چهار نمونه)، کد ۲: زیرحوضه دویسه (چهار نمونه)، کد ۳: زیرحوضه تودارصمدی (چهار نمونه)، کد ۴: زیرحوضه چرندو (چهار نمونه)، کد ۵: زیرحوضه چتان (چهار نمونه).

به دلیل منابع آبی بیشتر این دو زیرحوضه نسبت به دیگر زیرحوضه‌های منطقه است، همچنین این دو زیرحوضه دارای شیب تند (بیش از ۲۵ درصد) هستند که از عوامل مؤثر در افزایش رسوب است. پس لازم است در اجرای برنامه‌های حفاظتی در اولویت قرار گیرند، تا از هدررفت خاک جلوگیری شود. پس از تودارصمدی و دویسه، زیرحوضه‌های چتان، چرندو و مادیان‌دول به ترتیب با ۷/۹ درصد، ۴/۵ درصد و ۴/۴ درصد کمترین سهم را در تولید رسوب داشتند. زیرحوضه چتان

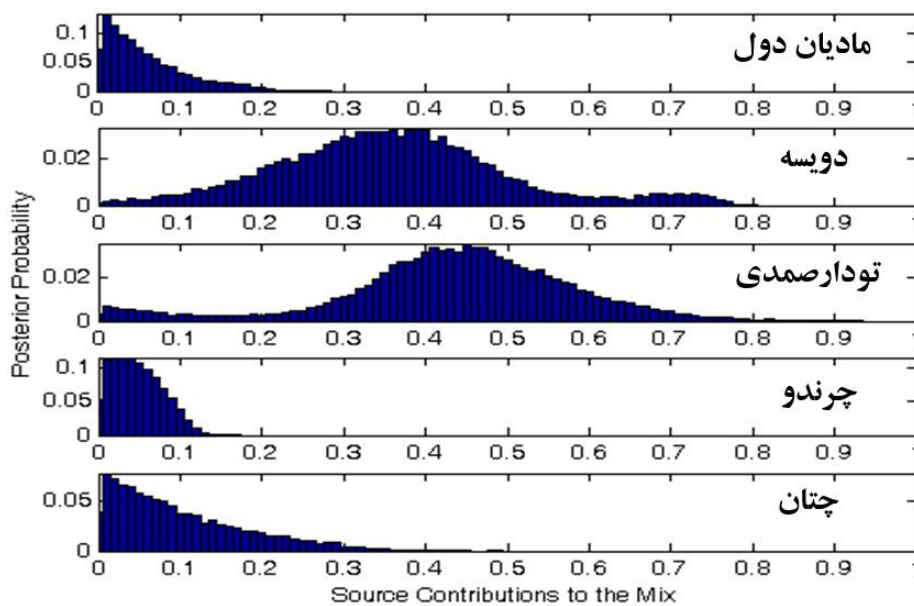
با توجه به نتایج به دست آمده، ویژگی‌های مغناطیسی رسوبات به خوبی توانستند منابع رسوب را از هم تفکیک کنند. این جداسازی حاکی از مغناطیسی شدن رسوبات در حوضه بود و نشان می‌دهد که فعالیت اکسید آهن در حوضه به خوبی انجام می‌شود. همچنین مدل عدم قطعیت Bayesian به خوبی سهم نسبی هر زیرحوضه در تولید رسوب را تعیین کرد. در حوضه مورد مطالعه، زیرحوضه‌های تودارصمدی با ۴۴/۴ درصد و دویسه ۳۵/۵ درصد بیشترین رسوب منطقه را تولید می‌کنند که



شکل ۳. نمودار پراکنش تابع ۱ و ۲ تحلیل تشخیص براساس ترکیب بهینه ردیاب پذیرفتاری مغناطیسی رسوب

جدول ۵. نتایج سهم نسبی رسوبات در واحدهای زیرحوضه

منابع رسوب	سهم نسبی منابع رسوب در حالت جداگانه (%)		
زیرحوضه	۵	۵۰	۹۵
مادیان دول	۰/۳	۴/۴	۱۶/۵
دویسه	۱۳/۸	۳۵/۵	۶۵/۶
تودارصمدی	۹/۹	۴۴/۴	۶۵/۸
چرندو	۰/۵	۴/۵	۱۰/۲
چتان	۰/۷	۷/۹	۲۶/۴



شکل ۴. سهم نسبی تولید به صورت ترکیبی با استفاده از مدل عدم قطعیت Bayesian در واحدهای زیرحوضه

(۴) سهم نسبی تولید رسوب به‌صورت ترکیبی با استفاده از مدل عدم قطعیت Bayesian نشان داده شده است.

سپاسگزاری

آنالیز آزمایشگاهی این پژوهش با پشتیبانی مالی معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شده است که بدین‌وسیله از این معاونت تشکر و قدردانی می‌شود.

(۱۶/۰۵ درصد مساحت منطقه) در منطقه پایینی دارای شرایط دو حوضه قبل بود و البته به‌دلیل نزدیکی به خروجی حوضه رسوب تولیدی می‌تواند از زیرحوضه خارج و به خروجی حوضه برسد. در زیرحوضه مادیان دول (۲۹/۱۳ درصد مساحت منطقه) به‌دلیل منابع آبی کم و مساحت زیاد، این پیش‌بینی می‌شود که بیشتر رسوب تولیدی در درون زیرحوضه به تله افتاده و به خروجی حوضه نمی‌رسد. همچنین زیرحوضه چرندو (۱۳/۴۸ درصد مساحت منطقه) به‌دلیل کم‌آبی و مساحت کم دارای کمترین سهم در تولید رسوب حوضه است. در شکل

منابع مورد استفاده

- Ahmadi Mirghaed, F., B. Suri and M. Pirbavaghar. 2013. Evaluation of land environmental capacity for rangeland functional development (case study: parcel a of qesh watershed). *Rangeland and Watershed Journal* 3: 321-334 (In Farsi).
- Blake, W. H., P. J. Wallbrink, S. H. Doerr, R. A. Shakesby and G. S. Humphreys. 2006. Magnetic enhancement in wildfire-affected soil and its potential for sediment-sources ascription. *Earth Surface Process Land* 31: 249-264.
- Booth, C. A., M. A. Fullen, J. Walden, J. P. Smith, M. D. Hallett, J. Harris and K. Holland. 2005. Magnetic properties of agricultural topsoils of the isle of man: their characterization and classification by factor analysis. *Communication Soil Science Plant* 36: 1241-1262.
- Carter, J., P. N. Owens, D. E. Walling and G. J. L. Leeks. 2003. Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. *Science Total Environment* 314-316: 513-534.
- Choundhary, M. A., A. R. Lal and W. A. Dick. 1997. Long-term tillage effect on run off and soil erosion under simulated rainfall for a Central Ohio soil. *Soil Tillage Resarch* 42: 175-184.
- Collins, A. L. and D. E. Walling. 2006. Investigation of the remobilization of fine sediment stored on the channel bed of lowland permeable catchments in the UK. Pp.471-479. *In: Sediment dynamics and the hydromorphology of the fluvial system. International Association of Hydrological Sciences Publication No. 306, Wallingford, UK.*
- Collins, A. L., Y. Zhang, R. Hickinbotham, G. Bailey, S. Darlington and S. E. Grenfell. 2013. Contemporary fine-gained bed sediment sources across the river Wensum Demonstration Test Catchment, UK. *Hydrological Process* 27: 857-884.
- Dearing, J. A. 1994. Booklet - Environmental Magnetic Susceptibility – Using the Bartington MS2 System.
- Devereux, O. H., K. L. Prestegard, B. A. Needelman and A. C. Gellis. 2010. Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland. *Hydrological Process* 24: 1391-1403.
- FAO, UNDP. 1994. Land degradation in South Asia: its severity causes and effects upon the people. World Soil Resources Reports No. 78.
- Fathabadi, A., A. Salajegheh, H. Pezeshk, A. Nazari Samani and H. Rouhani. 2017. Soil eorison in north of Iran by fingerprinting. *Iranian Natural Resources Journal* 70: 57-69. (In Farsi).
- Foster, I. D. L., J. Boardman and J. Keay-Bright. 2007. Sediment Tracing and Environmental History for Two Small Catchments, Karoo Uplands, South Africa.
- Haddadchi, A., K. Nosrati and F. Ahmadi. 2014. Differences between the source contribution of bed material and suspended sediment in a mountainous agricultural catchment of Western Iran. *Catena* 116: 105-113.
- Hakimkhani, S. 2010. Evaluation of the importance of different types of erosion in sediment production (case study: ghare aghaj basin, maku). *Natural Resources Journal*. 63: 13-27. (In Farsi).
- Ingrid, F. S., S. R. John and W. F. Stewart. 2002. Quantitative sediment fingerprinting using a Bayesian uncertainty estimation framework, *IAHS* 276: 443-450.
- Jalalian, A. 2011. Land degradation and its consequences in Iran. *In: Proceeding of the 12th Soil Congress, Tabriz University, Iran.* (In Farsi).
- Jalalian, A. 2011. Soil degradation and its effect in Iran. *In: Proceeding of the Twelve Iran Soil Congress. Tabriz University, Iran.* (In Farsi).

18. Kouhpeyma, A., S. Feiznia, H. Ahmadi and M. Moazzami. 2011. Investigation of the effect of soil magnetic properties on separation of sediment sources. *Physics and Spaces Journal* 1: 11-19. (In Farsi).
19. Minella, J. P. G., D. E. Walling and G. H. Merten. 2008. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. *Journal of Hydrology* 348: 546-563.
20. Nosrati, K. 2011. Sediment source based on uncertainty estimation. *Iranian Water Research Journal* 9: 51-60. (In Farsi).
21. Nosrati, K., G. Govers, H. Ahmadi, F. Sharifi, M. A. Amoozegar, R. Merckx and M. Vanmaercke. 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment traces: biochemical fingerprints? *International Journal Sediment Research* 26(2): 136-151.
22. Nosrati, K., G. Govers, X. Semmens and J. Ward. 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma* 218: 173-180.
23. Nouria, A., E. H. Sayouty and M. Benmansour. 2003. Use of Cs-137 technique for soil erosion study in the agricultural region of Casablanca in Morocco. *Jouranl of Environmnetal Radioactivity* 68: 11-26.
24. Owens, P. N., W. H. Blake and E. L. Petticrew. 2006. Changes in sediment sources following wildfire in mountainous terrain: a paired-catchment approach, British Columbia, Canada. *Water Air Soil Pollution: Focus* 6: 637-645.
25. Poulencard, J., Y. Perrette, B. Fanget, P. Quetin, D. Trevisan and J. M. Dorioz. 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in small rural watershed (French Alps). *Science Total Environment* 407: 2808-2819.
26. Singh, M. J. and K. L. Khera. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. *Arid Land Resarch Management* 23: 152-167.
27. Smith, J. 1999. An introduction to the magnetic properties of natural materials. In: Walden, J., F. Oldfield, J. P. Smith (Eds). *Environmental Magnetism: A Practical Guide*. Technical Guide, No 6. Quaternary Research Association, London.
28. SPSS, IBM. 2005. *SPSS Base 14 user's guide*, Prentice Hall.
29. Stutter, M. L., S. J. Langan, D. G. Lumsdon and L. M. Clark. 2009. Multi-Element signatures of stream sediments and sources under moderate to low flow conditions. *Applied Geochemistry* 24: 800-809.
30. Zokaei, M. 2005. *Climate Environmental Plan: The Second Iranian State Environmental Report*. First Edition. Iranian Environmental Protection Agency. (In Farsi).

Determining the Relative Contribution of Sub-basins to Sediment Production by Magnetic Susceptibility Data

K. SeydiNaureh¹, S. Ayoubi^{1*} and K. Nosrati²

(Received: August 6-2017; Accepted: January 15-2019)

Abstract

The purpose of this study was to determine the relative contribution of sub-basin resources to sediment production by using magnetic susceptibility data as the tracer in Chehelgazi catchment, Sanandaj. For this purpose, 20 samples of the output 5 sub-basins were measured by harvesting and magnetic susceptibility. Kruskal-Wallis test results showed that in all three trackings, frequency high, low and dependent, at least two sources had the ability to differentiate. In the second step, the three tracers were tested on the discriminant analysis by the sub-basin source and two tracers with different power splitters showed the high frequency of 88% and the frequency dependence of 12%; power splitters both tracers together in the sub-basin splitters was 90%, so they were selected as the optimal combination; therefore, they have the capability to determine the relative contribution model of sediment. The results of Bayesian uncertainty model also indicated Todarsamadi sub-basin with 44.4% of the largest contribution and Doveyseh, Chatan and Cherendo sub-basins with 35.5, 7.9 and 4.5, respectively, and Madian Dol sub-basin with 4/4 percent had the lowest contribution to sediment production. Based on the available results, Todarsamadi and Doveyseh sub-basins had the highest amount of sediment production; so these results could be used in soil conservation and management planning.

Keywords: Sediment fingerprinting, Magnetic susceptibility, Chehelgazi catchment, Bayesian uncertainty model

1. Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. Department of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir