

تعیین سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب با استفاده از ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات و مدل ترکیبی عدم قطعیت (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آشان، شهرستان مراغه)

کاظم نصرتی^{۱*}، مصطفی امینی^۱، آرمان حدادچی^۲ و محمدرضا زارع^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۹)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.141

چکیده

فرسایش تشدید شونده خاک در سطح کشور موجب اثرات محلی و برون محلی می‌گردد و شناسایی منابع تولید رسوب و تعیین سهم هر کدام در تولید رسوب برای انتخاب راهبردهای مدیریتی در سطح حوضه آبخیز ضروری است. با وجود افزایش مطالعات منشایابی، تعیین مقادیر عدم قطعیت مرتبط با مدل‌های ترکیبی به‌ویژه براساس ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه، تعیین سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب با استفاده از ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی (فرکانس بالا، فرکانس پایین و فرکانس وابسته) و مدل ترکیبی عدم قطعیت است. به این منظور، تعداد ۲۵ نمونه از خروجی زیرحوضه‌ها و حوضه اصلی جمع‌آوری و ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی آنها اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج تحلیل آزمون کروسکال والیس و توابع تحلیل تشخیص نشان داد که می‌توان ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی را به عنوان ترکیب بهینه ردیاب‌ها در مدل ترکیبی عدم قطعیت استفاده نمود. نتایج مدل منشایابی رسوب براساس عدم قطعیت Bayesian نشان داد که میانگین (حدود عدم قطعیت) سهم نسبی زیرحوضه‌های اسپاران، جوینند و بویوک چای به ترتیب ۹۲ (۸۳/۹-۹۴/۸)، ۲/۸ (۰/۲-۱۰/۷) و ۵/۷ (۰/۲-۱۰/۵) درصد بود. براساس نتایج موجود، بیشترین میزان تولید رسوب مربوط به زیرحوضه اسپاران چای بوده و در اجرای برنامه‌های مدیریتی برای حفاظت خاک باید مدنظر قرار گیرد.

کلمات کلیدی: منشایابی رسوب، حوضه آبخیز آشان، فرسایش، مدل ترکیبی بیسین، ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی

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

۲. موسسه ملی آب و تحقیقات جو، ریکارتون، کریست چرچ، نیوزیلند

۳. گروه فیزیک دانشگاه مالک اشتر شاهین شهر اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: k_nosrati@sbu.ac.ir

مقدمه

بشر امروز برای ادامه زیست خویش بر روی کره زمین با تنگناهایی روبرو است که یکی از آنها، تخریب منابع طبیعی و مسائل فرسایش خاک و تولید رسوب می‌باشد (۲۷). فرسایش خاک دارای اثرات محلی مثل از بین بردن مواد آلی خاک، کاهش تولیدات کشاورزی و تهدید امنیت غذایی بشر و اثرات برون محلی مثل پر شدن سدها، تخریب جاده و مناطق مسکونی و دفن خاک‌های مناسب می‌باشد. برطبق اظهارات فائو در حدود ۱/۶ میلیارد هکتار از زمین‌های شخم زده شده (۱۳) درصد از مساحت قاره‌ها) در حال فرسایش هستند؛ که برطبق این آمار، بالغ بر ۱ میلیارد هکتار به وسیله فرسایش آبی و ۵۵۰ میلیون هکتار به وسیله فرسایش بادی در معرض فرسایش هستند (۱۴)، اما این مساله در کشورهای در حال توسعه به علت نرخ بالای رشد جمعیت و فشار بر زمین‌های حساس به فرسایش، تهدیدی جدی برای پایداری مدیریت ارضی و بهره‌برداری از منابع آب به‌شمار می‌آید (۲۷). به دلیل نرخ بالای فرسایش در ایران، 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 حوضه آبخیز است (۱). به‌دست آوردن چنین اطلاعاتی با روش‌های سنتی بسیار پرهزینه و طولانی است (۴). روش‌های برآورد فرسایش و رسوب به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند و روش‌های غیرمستقیم (اندازه‌گیری‌های سنتی اندازه‌گیری فرسایش و رسوب) که شامل نقشه‌برداری، مساحی، اندازه‌گیری پروفیل، پین فرسایشی، نیم‌رخ متقاطع، فتوگرامتری، پلات‌های فرسایشی، پایش جریان رسوبات معلق، سنجش از دور و غیره است سخت بوده و برآورد دقیق فرسایش و رسوب در مقیاس حوضه‌ای و بزرگ غیرممکن می‌باشد (۳۳) و از سوی دیگر روش‌های غیرمستقیم به دلیل تغییرپذیری فرسایش در مقیاس زمانی و مکانی در آن برای منشاء یابی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (۴۲) و در چند

دهه اخیر، استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات معلق به‌عنوان منشایاب به‌جای روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر سنتی برای ردیابی ارتباط بین فرسایش خاک و رسوبات خروجی حوضه مورد تأیید قرار گرفته است (۳۱، ۲۰). تکنیک منشایابی بر پایه ارتباط مابین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات و ذرات خاک منابع رسوب است (۲۰)؛ در این تکنیک، خاک فرسایش یافته از منابع براساس ردیاب‌های اندازه‌گیری شده و مدل‌های ترکیبی موجود سهم‌بندی و از هم تفکیک می‌شوند (۷). این تکنیک در دهه اخیر توسط طیف وسیعی از پژوهشگران ایرانی مورد استفاده قرار گرفته که می‌توان به عطارپورفرد و همکاران (۱۳۸۴)، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۸)، حکیم‌خانی و همکاران (۱۳۸۸، ۱۳۸۵)، نصرتی (۱۳۹۰)، نصرتی و همکاران (۲۰۱۱a، ۲۰۱۱b، ۲۰۱۴) و حدادچی و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد (۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۵، ۱۵). از جمله منشایاب‌هایی که در سطح جهان استفاده می‌شوند می‌توان به مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و ژئوشیمیایی (۲۹)، طیف‌سنجی مادون قرمز (۳۲) رادیونوکلئیدها (۲۸)، شکل و رنگ ذرات (۱۸)، توزیع کلی دانه‌بندی رسوبات (۲۱)، بیوشیمیایی (۲۹) و پذیرفتاری مغناطیسی (۳۵) اشاره کرد. مطابق مرور پیشینه پژوهش، در مطالعات منشایابی رسوب، ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی به‌عنوان ردیاب، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

ایده مغناطیسی شدن محیطی از رفتار مغناطیسی کانی‌های مواد موجود در روی زمین برای تفسیر فرآیندهای محیطی که روی آن عمل می‌کنند، استفاده می‌کند و پذیرفتاری مغناطیسی از نسبت مغناطیسی شدن بر میدان مغناطیسی به‌دست می‌آید. رخداد جهانی اکسیدهای آهن در محیط‌های رسوبی مثل هماتیت، مگنتیت گوتیت، در بسیاری از زمینه‌ها کاربرد دارد و مواد معدنی در مرحله اولیه وابسته به مواد مادری و تغییرات بعدی ناشی از فرآیندهای ژئومورفیک مثل انتقال و ته‌نشینی و فرآیندهای فرارسویی هستند (۲۲) و به دلیل ساختارهای مختلف الکترونی، واکنش مواد در برابر میدان‌های مغناطیسی متفاوت

مغناطیسی وابسته به بسامد اقدام به منشایابی رسوبات در حوضه‌های آبخیز مختلف استان سمنان کرده‌اند از کروسیکال والیس و تحلیل تشخیص برای وجود تفاوت معنی‌دار و انتخاب ترکیب بهینه استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که فرکانس وابسته قابلیت خوبی در تفکیک منابع رسوب دارد (۸). مطالعات اندکی وجود دارد که برآورد سطح عدم قطعیت را در رویکرد منشایابی رسوب در تعیین سهم نسبی هر یک از منابع رسوب لحاظ نموده باشند. در این مطالعات تنها آنالیز عدم قطعیت را با استفاده از مدل‌های ترکیبی و با منظور نمودن تغییرات مکانی ویژگی‌های ردیاب برای تعیین حدود اطمینان تخمین‌های مدل براساس رویکرد شبیه‌سازی مونت کارلو (کولینز و والینگ، ۲۰۰۷؛ مارتینز - کاریراس و همکاران، ۲۰۰۸؛ اسمیت و دراگوویچ، ۲۰۰۸) و مطالعات اندکی (اسمال و همکاران، ۲۰۰۲؛ نصرتی، ۱۳۹۰؛ نصرتی و همکاران، ۲۰۱۴) روش بیسین را به کار گرفته‌اند (۷، ۱۱، ۲۶، ۲۷، ۳۱، ۳۶، ۳۷). بدین ترتیب با توجه به کمبود مطالعات منشایابی رسوب با ردیاب‌های مغناطیسی و مدل برآورد عدم قطعیت بیسین، هدف از این مطالعه، منشایابی رسوب با استفاده از ویژگی‌های پذیرفتاری مغناطیسی به‌عنوان ردیاب براساس مدل عدم قطعیت بیسین (۷، ۳۰) در حوضه آبخیز آشان، شهرستان مراغه می‌باشد.

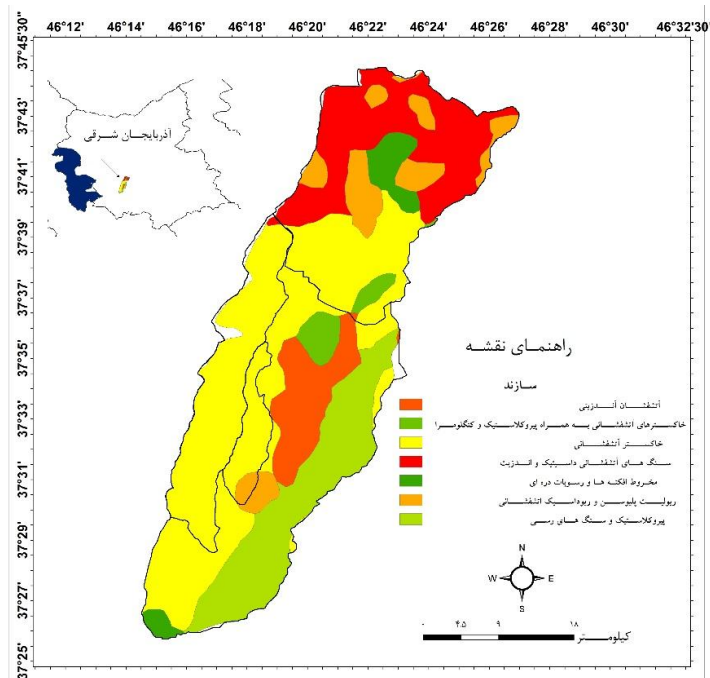
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز آشان با مختصات جغرافیایی $37^{\circ}25'$ تا $37^{\circ}45'$ شمالی و $46^{\circ}14'$ تا $46^{\circ}28'$ شرقی و مساحت 270 کیلومتر مربع در جهت جغرافیایی شمال شهرستان مراغه و جنوب غربی استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه دارای سه زیرحوضه اصلی به نام‌های اسپاران چای، جوی بند چای و بویوک چای به ترتیب با مساحت $43/29$ ، $27/77$ و 106 کیلومتر مربع می‌باشد. رتبه آبراهه‌ها در این حوضه تا پنج رده می‌رسد. طول رودخانه صوفی چای از سد

بوده و این تشخیص مابین منابع و فرآیندهای مختلف را فراهم می‌کند. به‌طور کلی کانی‌ها سه نوع رفتار مغناطیسی دارند که عبارتند از کانی‌های دیامغناطیس که کانی‌های فاقد آهن هستند: شامل کلسیت، کوارتز و هالیت (۹)، مواد ارگانیکی و آب (۲۳). کانی‌های پارامغناطیس شامل آن دسته از کانی‌ها هستند که ممکن است در ساختار خود آهن داشته باشند مثل اولیوین، بیوتیت و پیریت (۱۳). رفتارهای فرومغناطیس کانی‌های با ساختار کاملاً آهنی هستند؛ مثل اکسیدهای آهن و سولفیدهای آهن. میزان پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های ترکیبی مثل خاک‌ها و رسوبات برطبق کانی‌های تشکیل دهنده آنها متفاوت خواهند بود (۱۶). اصول مغناطیسی شدن محیط رسوبی در مرحله اولیه به‌عنوان یک زمینه تحقیقاتی به وسیله تامپسون و الفیلد (۱۹۷۹)، که براساس تکنیک‌های مغناطیس سنگ پایه‌گذاری شده بود معرفی شد (۳۱، ۴۱). از آن پس، این نگرش در طیف وسیعی از زمینه‌ها به کار رفته که شامل منشایابی رسوبات بستر خور (۱۹)؛ بازسازی پهنه‌های یخی در محیط‌های یخچالی (۴۲)؛ بازسازی آب و هوایی سکانس‌های لسی (۱۷)؛ بازسازی ژئومورفولوژی دیرینه محیطی (۳۴ و ۳۹) طبقه‌بندی خاک‌ها (۹) و مطالعات آلودگی برای شناسایی الگوهای فضایی آلودگی و وسایل نقلیه (۲۴) است.

تکنیک منشایابی با استفاده از ردیاب‌های مغناطیسی رسوب توسط جنکینز و همکاران (۲۰۰۲) برای منشایابی رسوبات بستر در خور تی در اسکاتلند مورد استفاده قرار گرفت. این پژوهش با استفاده از ۴ منبع رسوبی با چند حالت مغناطیسی و با نمونه‌برداری از رسوبات تقاطع زیرحوضه‌ها و حوضه اصلی و سواحل برای منشایابی رسوب انجام شد. در این پژوهش از تحلیل عاملی و تحلیل تشخیص برای مشخص ساختن ترکیب بهینه ردیاب‌ها استفاده و در نهایت با استفاده از مدل‌های غیرترکیبی اقدام به شناسایی سهم نسبی رسوبات در منابع مختلف شد (۱۹). کوهپیما و همکاران (۱۳۹۰) به منشایابی منابع رسوب منحصراً با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی پرداخته‌اند. در این مقاله که با استفاده از فرکانس پایین و قابلیت



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و سازندهای زمین شناسی موجود در حوضه آبخیز آشان

۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی که به ترتیب از سازمان نقشه برداری و زمین شناسی کشور تهیه شده بودند در محیط GIS پردازش و مکان های مناسب برای نمونه برداری مشخص گردیدند. رسوبات تازه ته نشین شده در خروجی کف آبراهه های هر کدام از زیرحوضه ها به طول سه کیلومتر از خروجی حوضه برداشت شدند. هر نمونه در یک بازه ۴۰۰ متری برداشت شد و فاصله هر نمونه با نمونه بعدی ۲۰۰ متر بود. پنج نمونه از خروجی حوضه اصلی و ۲۰ نمونه از محل خروجی ۳ زیرحوضه برداشت شدند و در مجموع ۲۵ نمونه از کل حوضه برداشت گردید (شکل ۲). هر نمونه ترکیبی از ۱۰ زیرنمونه بوده و با فاصله ۴۰ متر از هم برداشت شدند.

اندازه گیری ویژگی های پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات

بعد از جمع آوری، نمونه های رسوب در هوای آزاد خشک و بعد از کوبیده شدن از الک های استاندارد با قطر ۶۳ میکرون رد شدند. بعد از آماده سازی، نمونه های رسوب در پذیرفتاری مغناطیسی بالا و پایین در دستگاه اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی در واحد CGS (گرم بر سانتی متر مکعب) در موسسه

علویان تا رأس حوضه بویوک چای به ۳۷/۵۱ کیلومتر می رسد. تراکم آبراهه ها در این حوضه برابر با ۱/۱۷ کیلومتر بر کیلومتر مربع بوده و نسبت دایره ای در این حوضه برابر با ۰/۱۲ می باشد و مفهوم آن این است که شکل حوضه دایره ای نیست. حداقل و حداکثر شیب در این حوضه به ترتیب صفر و ۲۰ درصد است. سازندهایی که بیشترین مساحت در حوضه آبخیز آشان را به خود اختصاص داده اند عبارتند از: جریانات خاکسترهای آتشفشانی، سنگ های آتشفشانی دیاستکی و آندزیت، سنگ های رسی و پیروکلاستیک. کاربری اراضی در این حوضه از تنوع کمتری برخوردار بوده و شامل مرتع (غنی، متوسط و فقیر)، زمین های کشاورزی (دیم و آبی) و مراکز انسانی می باشد و بیشترین مساحت کاربری مربوط به کاربری مراتع غنی است. میانگین بارندگی سالانه این منطقه، ۳۶۰ میلی متر در سال و متوسط دمای سالانه آن از ۸/۷ تا ۱۲/۵ درجه سانتی گراد در نوسان می باشد.

نمونه برداری

برای انجام نمونه برداری، نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی و



شکل ۲ موقعیت نمونه‌های رسوب حوضه آبخیز آشان

در صورتی که مواد موجود در رسوبات در برابر میدان مغناطیسی قرار گیرند مطابق رفتار این رسوبات در برابر میدان مغناطیسی، اطلاعات غلظت، کانی‌شناسی و اندازه ذرات مغناطیسی قابل استخراج شدن است (۳۴) نمونه‌های با پذیرفتاری مغناطیسی بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در طیف کانی‌های فرومغناطیس قرار دارند که سرشار از اکسید آهن هستند و اعداد ۵۰ تا ۱۰۰۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در طیف کانی‌های پارامغناطیس قرار دارند که حد متوسطی از اکسید آهن را دارا می‌باشند و پایین‌تر از عدد ۵۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب، کانی‌های دیامغناطیس می‌باشند که تهی از اکسید آهن هستند (۴۳). طبق اظهارات درینگ (۱۹۹۴) از طریق بسامد وابسته، امکان استخراج اندازه ذرات وجود دارد؛ به این ترتیب که اگر بسامد وابسته بین ۱۰-۲ درصد باشد اندازه ذرات در حد میانگین (ذرات درشت به همراه ذرات کوچک‌تر از ۵/۰ میکرومتر) در نظر گرفته می‌شوند که ممکن اکسید آهن در آنها وجود داشته باشد و یا وجود نداشته باشد و اگر مقادیر عددی فرکانس وابسته بین ۱۴-۱۰ درصد باشند، ذرات

ژئوفیزیک دانشگاه تهران اندازه‌گیری شدند. با توجه به ضرورت کالیبراسیون دستگاه قبل از استفاده، به ترتیب فضای خالی، کربنات منگنز یا آب و فضای خالی توسط سنسور دستگاه قرائت گردید. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی کربنات منگنز یا آب برابر صفر بوده و این مواد دیامغناطیس می‌باشند. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی فضای خارج از دستگاه (فضای خالی) با توجه به اثرات خارجی باید مشخص گردیده تا در نتایج نهایی دخالت داده شوند؛ به همین دلیل کالیبراسیون دستگاه گام مهم اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشد. بعد از کالیبراسیون، میزان پذیرفتاری مغناطیسی (۱ یا ۰/۱) و نوع پذیرفتاری مغناطیسی (بالا یا پایین) تنظیم گردیده و عملیات اندازه‌گیری شروع شد. در فرآیند اندازه‌گیری، فرکانس بالا ۴/۶ KHz و فرکانس پایین ۰/۴۶ KHz اندازه‌گیری شده و فرکانس وابسته به فرکانس با توجه به اینکه به عنوان یک ردیاب در نظر گرفته شد از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$[1] \quad 100 \times (\text{فرکانس پایین} / \text{فرکانس بالا} - \text{فرکانس پایین}) = \text{فرکانس وابسته} \%$$

f_q در منابع رسوب i در تمام نمونه‌های رسوب برداشت شده از خروجی زیرحوضه‌ها محاسبه شد. همچنین تابع احتمال سهم نسبی منابع رسوب (f_q) با تولید داده‌های تصادفی از روی داده‌های اولیه محاسبه شد. مطابق آنچه که ذکر شد احتمال پسین با ضرب احتمال اولیه در درست‌نمایی آن و تقسیم آن بر مجموع کل به دست آمد. به این ترتیب $L(\text{data} | f_q)$ درست‌نمایی داده‌ها، و f_q توزیع سهم منابع رسوب، $p(f_q)$ احتمال اولیه براساس اطلاعات اولیه و $L(\text{data} | f_q) \times p(f_q)$ احتمال پسین غیرنرمال است. در این مدل، ردیاب‌های پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات در دو فرکانس بالا و پایین در منبع زیرحوضه‌ها با تعداد ۲۵ نمونه رسوب قرار داده شده است. از فرض‌های اولیه این مدل توزیع نرمال آن است؛ به عبارت دیگر فرض می‌شود توزیع داده‌ها نرمال است. برای به دست آوردن عدم قطعیت در منابع رسوب، میانگین و واریانس ردیاب‌ها در منابع تعریف می‌شوند و توزیع پیشنهادی برای محاسبه احتمال اولیه و پسین براساس میانگین و انحراف معیار نمونه‌های تصادفی رسوبات صورت می‌گیرد. میانگین و انحراف معیار برای محاسبه احتمال و درست‌نمایی داده‌ها به شکل زیر محاسبه می‌شود (روابط ۳، ۴ و ۵):

$$\mu = \sum_{i=1}^n (f_i \times m_{j_{\text{source}i}}) \quad [3]$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i^2 \times s_{j_{\text{source}i}}^2)} \quad [4]$$

$$L(x | \mu, \sigma) = \prod_{k=1}^n \prod_{j=1}^n \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \times e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \right] \quad [5]$$

که در آن x_{kj} مشخصات k ام نمونه رسوب است. درست‌نمایی سهم نسبی منابع رسوب f_q براساس اطلاعات اولیه نمونه‌های رسوب با استفاده از ضرایب آلفا و بتا برای هر کدام از منابع رسوب براساس تابع توزیع بتا به صورت زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۶):

$$p(f_q | \alpha_i, \beta_i) = \prod_{k=1}^n \frac{f_i^{\alpha_i - 1} (1-f_i)^{\beta_i - 1}}{B(\alpha_i, \beta_i)} \quad [6]$$

سوپرپارامغناطیس که اندازه آنها کوچک‌تر از $0.3 \mu\text{m}$ میکرومتر است در این طیف بیش از ۷۵ درصد است؛ این ذرات سرشار از آهن هستند (۱۳).

تفکیک منابع رسوب

برای انجام منشایایی، در گام اول به دست آوردن ترکیب بهینه‌ای از ردیاب‌ها که قابلیت تشخیص و تفکیک منابع را داشته باشند ضروری است. در این پژوهش، برای تفکیک منابع رسوب و انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها و تعیین سهم نسبی تولید رسوب در هر کدام از منابع از روش آماری دو مرحله‌ای (۷) استفاده گردید و برای انجام آنالیزهای آماری مربوط به این دو مرحله (کروسکال والیس و تحلیل تشخیص) از نرم‌افزار SPSS ۱۹ استفاده شد (۳۸) در گام اول از آزمون کروسکال والیس و سپس به منظور انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها که در آزمون کروسکال والیس مورد پذیرش واقع شده بودند از تابع تحلیل تشخیص استفاده شد. تابع تحلیل تشخیص، ضریب تفکیک‌پذیری ردیاب‌ها را برآورد می‌کند. در این روش برای رسیدن به ترکیب بهینه، از الگوریتم انتخاب گام به گام و از عملیات حداقل کردن آماره ویلک لامبدأ و بعد از اثبات تفکیک‌پذیری منابع به وسیله ردیاب‌ها، از مقادیر عددی آنها برای تعیین سهم نسبی رسوبات منابع مختلف از مدل ترکیبی عدم قطعیت بیسین استفاده شد.

تعیین سهم نسبی منابع رسوب

در این پژوهش برای تعیین سهم نسبی رسوب از مدل ترکیبی بیسین که توسط نصرتی (۱۳۹۰) برای تعیین سهم نسبی رسوبات و تخمین عدم قطعیت آنها در ایران مورد استفاده قرار گرفته است، استفاده شد (۷). مدل بیس به شرح زیر می‌باشد (رابطه ۲):

$$p(f_q | \text{data}) = \frac{L(\text{data} | f_q) \times p(f_q)}{\sum L(\text{data} | f_q) \times p(f_q)} \quad [2]$$

در این مدل، توابع احتمال سهم نسبی برای هر منبع رسوب

منبع زیرحوضه دارای تفاوت معنی‌دار هستند. به این ترتیب، ردیاب‌های فوق‌الذکر در منبع زیرحوضه با کروسکال والیس (آماره H) بالاتر (۱۴/۱۸ و ۱۳/۸۱) و نیز سطح معنی‌داری بالاتر (۰/۰۰۰۸ و ۰/۰۰۱) قابلیت تفکیک کنندگی منابع را دارند و ردیاب سوم براساس نتایج کروسکال والیس این قابلیت را ندارد.

بعد از آزمون H نیاز هست تا ترکیب بهینه ردیاب‌ها مشخص شود. بر این اساس، دو ردیاب فرکانس بالا و پایین در منبع زیرحوضه به وسیله تحلیل تشخیص مورد آزمون قرار گرفتند و هر دو ردیاب با قدرت جدا کنندگی متفاوت (فرکانس بالا برابر ۶۸/۴ درصد و فرکانس پایین برابر با ۷۳/۷ درصد) و سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ به عنوان ترکیب بهینه تشخیص داده شدند (جدول ۳) و قدرت جدا کنندگی هر دو ریاب باهم در جدا کنندگی زیرحوضه‌ها برابر با ۷۸/۹ 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.

به منظور نمایش الگوی تغییرات مکانی دو ردیاب در منابع (زیرحوضه‌ها)، نمودار پراکنش توابع اول و دوم محاسبه شده توسط تحلیل تشخیص براساس ترکیب بهینه دو ردیاب ترسیم گردید. براساس نتایج حاصل از تابع تحلیل تشخیص، نمونه‌های دو ردیاب توانسته‌اند با قدرت جدا کنندگی ۷۸/۹٪ سه منبع رسوب را از هم تفکیک کنند و این تفکیک شدگی منابع رسوب به وسیله ردیاب‌های مغناطیسی در شکل (۳) قابل مشاهده است (شکل ۳).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات در تفکیک‌پذیری منابع تولید رسوب است. با توجه به نتایج به دست آمده، خواص مغناطیسی رسوبات به خوبی توانستند منابع رسوب را از هم جدا کنند. این جداسازی حاکی از مغناطیسی شدن رسوبات در حوضه است. جدول (۴) بیانگر سهم نسبی رسوبات در سه زیرحوضه مختلف (زیرحوضه ۱: اسپاران چای، زیرحوضه ۲: جوی‌بند چای، و زیرحوضه ۳: بویوک چای) است. سهم نسبی رسوب

در نهایت درست‌نمایی اطلاعات اولیه در درست‌نمایی نمونه‌های رسوب به منظور محاسبه احتمال پسین غیرنرمال ضرب شد. مدل بیسین برای تعیین سهم نسبی منابع دارای دو شرط تغییرپذیری درصد سهم منابع رسوب بین صفر تا یک و مجموع سهم نسبی منابع رسوب برابر یک می‌باشد (۶). با توجه به اینکه از خروجی حوضه پنج نمونه رسوب برداشت شده بود مدل عدم قطعیت بیسین پنج بار برای تک تک نمونه رسوبات به وسیله برنامه Simulink در نرم‌افزار Matlab اجرا شد و بار دیگر مجموع آنها یکجا مورد استفاده قرار گرفتند و سهم نسبی رسوبات در هر سه زیرحوضه در صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ به دست آمدند که 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.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی در جدول (۱) آمده است. پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات در دو فرکانس بالا و پایین و فرکانس وابسته به بسامد (٪) به عنوان ردیاب سوم آورده شده است (جدول ۱).

با توجه به جدول ۱ به جز موارد اندک که اعداد نمونه‌های رسوب، زیر ۱۰۰۰ هستند بقیه اعداد، بالای ۱۰۰۰ بوده و جزو کانی‌های فرومغناطیس به شمار می‌روند و احتمالاً سرشار بودن نمونه‌های رسوب از اکسید آهن در منطقه می‌تواند ناشی از آتشفشانی بودن حوضه آبخیز آشان باشد (شکل ۱). براساس جدول ۱ فرکانس وابسته بین ۰/۱۷ تا ۴/۳۶ قرار دارد و می‌توان نتیجه گرفت که اکثر ذرات اندازه‌گیری شده در طیف متوسط قرار دارند و این در صورتی است که ذرات اندازه‌گیری شده از الک ۶۳ میکرون عبور داده شده‌اند.

براساس جدول (۲) ردیاب‌های فرکانس بالا و پایین در اندازه ذرات پایین‌تر از ۰/۰۳۶ میلی‌متر در منبع زیرحوضه دارای قابلیت جدا کنندگی خوبی نسبت به دیگر منابع هستند. در این جدول، دو ردیاب فرکانس بالا و پایین با اطمینان ۹۵ درصد در

جدول ۱ میانگین پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات کوچکتر از ۶۳ میکرون در حوضه آبخیز آشان
 کد ۱: زیرحوضه اسپاران، کد ۲: زیرحوضه جوی بند، کد ۳: زیرحوضه بویوک جای

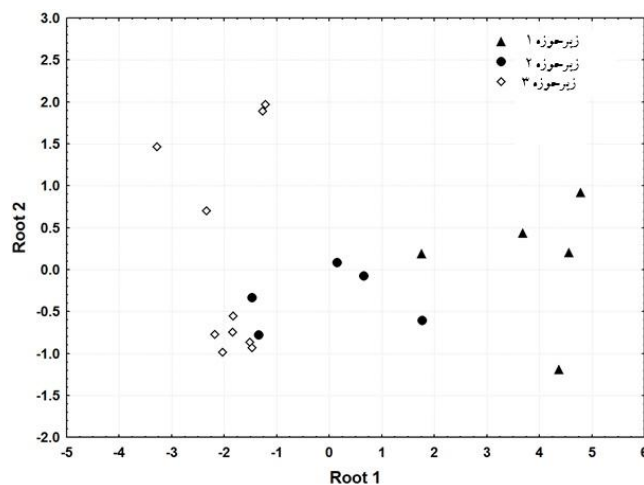
پذیرفتاری مغناطیسی منابع رسوب							
شماره نمونه	فرکانس وابسته %	فرکانس پایین ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)	فرکانس بالا ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)	$\frac{C_{\text{high}}}{C_{\text{low}}}$	فرکانس وابسته %	فرکانس پایین ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)	فرکانس بالا ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)
میانگین انحراف معیار	۰/۵۱	۱۱۷۳/۸۹	۱۱۶۷/۹۲	۱	۱/۷۹	۱۸۵۱/۸	۱۸۱۸/۶۳
	۱/۰۶	۱۱۸۰/۴۷	۱۱۶۷/۹۲	۱	۰/۲۵	۳۴۴۹/۰۴	۳۱۴۱/۲۵
	۲/۸۱	۱۲۶۵/۴۹	۱۲۲۹/۹	۱	۱/۶۲	۲۳۶۰/۴	۲۳۲۲/۱۳
	۴/۳۶	۱۴۳۲/۱۴	۱۳۶۹/۶۷	۱	۱/۹۵	۲۱۳۴/۳۷	۲۰۲۹/۸۲
	۰/۴۳	۹۸۸/۳۸	۹۸۴/۰۹	۱	۲/۴۳	۲۱۹۷/۷۸	۲۱۴۴/۴۴
	۰/۷۹	۱۱۳۰/۰۷	۱۱۲۱/۱۶	میانگین انحراف معیار	۱/۶۱	۲۳۳۸/۶۷	۲۳۰۳/۸۵
	۰/۷۵	۱۰۳۸/۶۴	۱۰۳۰/۸	۲	۰/۸۲	۴۸۸/۸۳	۵۰۱/۷۴
	۳/۹۳	۱۲۲۹/۹۱	۱۱۸۱/۵۲	۲	۱/۵۴	۱۶۸۶/۸۵	۱۶۶۰/۹۳
	۰/۶۱	۱۱۸۳/۳۳	۱۱۷۶/۱۴	۲	۷۸۱	۱۵۸۷/۳۱	۱۵۵۹/۰۹
	۴/۲۶	۱۴۲۵/۷۱	۱۳۶۵	۲	۰/۷۲	۱۲۴۷/۴۴	۱۲۳۸/۴
میانگین انحراف معیار	۱/۹۵	۱۲۰۴/۸۰	۱۱۷۹/۴۱	۲	۱/۳۴	۱۲۸۸/۴۲	۱۲۷۱/۱۶
	۱/۶۹	۱۴۴/۰۸	۱۲۳/۴۲	۲	۰/۸۴	۲۰۲۰/۲۳	۲۰۰۳/۲
				میانگین انحراف معیار	۱/۲۴	۱۵۶۶/۰۵	۴۶۱۵/۵۶
					۰/۴۵	۳۱۶/۱۹	۳۱۳/۲۸
پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های رسوب در خروجی حوضه آشان							
شماره نمونه	فرکانس وابسته %	فرکانس پایین ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)	فرکانس بالا ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)	$\frac{C_{\text{high}}}{C_{\text{low}}}$	فرکانس وابسته %	فرکانس پایین ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)	فرکانس بالا ($\times 10^{-6}$ g/cm ³)
۴	۳/۴۸	۱۵۴۹/۷۲	۱۷۰۷/۲۲	۱	۱/۶۶	۲۱۸۹/۵۸	۱۷۰۹
۵	۰/۱۶	۱۱۱۵/۴	۲۱۹۶/۴۲	۲	۰/۸۰	۳۱۹۸/۲۵	۳۹۹۵/۳۶
				۳	۱/۸۳	۲۴۶۴	۱۳۴۹/۴۸

جدول ۲ نتایج کروسکال والیس در بررسی توان ردیاب‌های مغناطیسی در جداسازی منابع رسوب

نوع منبع	پذیرفتاری مغناطیسی	آماره H	سطح معنی داری
زیرحوضه	فرکانس بالا	۱۴/۱۸۴	۰/۰۰۰۸
	فرکانس پایین	۱۳/۸۱	۰/۰۰۱
	فرکانس وابسته	۰/۳۴	۰/۸۴

جدول ۳ نتایج تحلیل تشخیص در حوضه آبخیز آشان

روش تحلیل تشخیص	منبع	پذیرفتاری مغناطیسی	ویلکس لامبدا	F	سطح معنی داری	طبقه‌بندی صحیح منابع %
گام به گام	زیرحوضه	بالا	۰/۲۱۳	۲۹/۴۹	<۰/۰۰۱	۶۸/۴
	پایین	پایین	۰/۲۲۳	۲۷/۸۳	<۰/۰۰۱	۷۳/۷



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

قطعیت موجود در تمام نمونه‌ها قابل قبول است و نتایج، اختلاف زیادی با میانه ندارند (جدول ۴) و از سوی دیگر تمام زیرحوضه‌ها با وجود اینکه در تعیین جداگانه سهم نسبی رسوبات دارای نتایج متفاوتی هستند ولی نتایج آنها نزدیک به نتایج محاسبات ترکیبی است و همه موارد فوق‌الذکر گواه بر اعتبار مدل و نتایج است. زیرحوضه بویوک چای (به زبان ترکی: رودخانه بزرگ) با توجه به بزرگی و مساحت زیاد آن باید دارای تولید رسوب بیشتری باشد ولی نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که مشارکت این زیرحوضه در تولید رسوب کم است و این نتایج با یافته‌های کولینز و والینگ (۲۰۰۴،

در سه زیرحوضه در صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ درصد محاسبه شده است که صدک پنجاه بیانگر میانه و میانگین سهم هر منبع بوده و صدک‌های ۵ و ۹۵ بیانگر عدم قطعیت موجود در سهم رسوب هر منبع هستند.

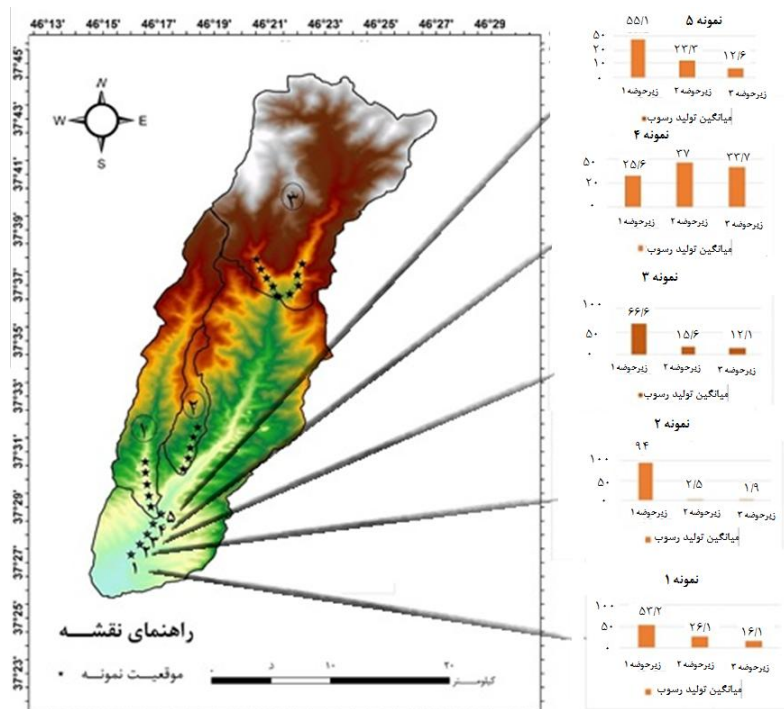
عدم قطعیت بیسین در پنج نمونه خروجی حوضه به‌صورت جداگانه محاسبه و در جدول (۴) آورده شده است و در هر پنج بار محاسبه، زیرحوضه اسپاران چای با اختلاف زیاد از بقیه حوضه‌ها به‌عنوان رسوبی‌ترین زیرحوضه در این منطقه شناخته شده است. این حوضه با سهم مشارکت بیشتر در تولید رسوب در سازند خاکستر آتشفشانی قرار گرفته است (شکل ۱) و عدم

جدول ۴. نتایج سهم نسبی رسوبات (%) در حوضه آبخیز آشان با استفاده مدل بیسین در پنج نمونه خروجی حوضه (صدک پنجاه بیانگر میانه سهم نسبی و صدک‌های با سطوح اطمینان ۵ و ۹۵ درصد بیانگر عدم قطعیت موجود در مدل هستند)

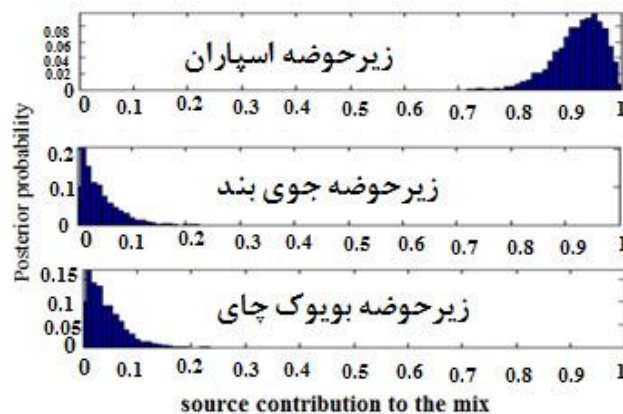
سهم نسبی منابع رسوب در حالت جداگانه %							
نمونه ۱				نمونه ۴			
۵٪	۵۰٪	۹۵٪		۵٪	۵۰٪	۹۵٪	
۲۱	۵۲	۸۰	زیرحوضه ۱	۴/۹	۲۶	۵۵	زیرحوضه ۱
۲/۴	۲۶	۷۰	زیرحوضه ۲	۳/۸	۳۷	۷۹	زیرحوضه ۲
۱/۵	۱۶	۴۲	زیرحوضه ۳	۴/۶	۳۳	۶۳	زیرحوضه ۳
نمونه ۲				نمونه ۵			
۵٪	۵۰٪	۹۵٪		۵٪	۵۰٪	۹۵٪	
۸۵	۹۴	۹۹	زیرحوضه ۱	۳	۵۵	۸۶	زیرحوضه ۱
۰/۳	۲/۵	۹/۹	زیرحوضه ۲	۱/۷	۲۳	۸۹	زیرحوضه ۲
۰	۱/۹	۸/۷	زیرحوضه ۳	۱	۱۲	۴۰	زیرحوضه ۳
سهم نسبی منابع رسوب در حالت ترکیبی							
نمونه ۳							
۵٪	۵۰٪	۹۵٪		۵٪	۵۰٪	۹۵٪	
۳۲	۶۶	۸۹	زیرحوضه ۱	۸۳/۹	۹۲/۹	۹۸/۴	زیرحوضه ۱
۱/۴	۱۵	۶۰	زیرحوضه ۲	۰/۲	۲/۸	۱۰/۷	زیرحوضه ۲
۰	۱۲	۳۵	زیرحوضه ۳	۰/۲	۵/۷	۱۰/۵	زیرحوضه ۳

نتایج محاسبه سهم نسبی رسوبات در منابع مختلف با استفاده از مدل عدم قطعیت بیسین در شکل (۵) قابل مشاهده است. در شکل (۵)، پنج نمونه رسوب وجود دارند که شماره‌گذاری شده‌اند و گراف‌های با عناوین نمونه یک تا پنج، میانگین سهم نسبی رسوب در هر کدام از آنهاست. براساس نتایج به دست آمده از اجرای ترکیبی مدل بیسین میانگین و همچنین عدم قطعیت زیرحوضه‌های اسپاران، جوی بند و بویوک چای در تولید رسوب به ترتیب عبارتند از ۹۲/۹ (۸۳/۹-۹۸/۴)، ۲/۸ (۰/۲-۱۰/۷) و ۷۵ (۰/۲-۱۰/۵). براساس این نتایج، سهم تولید رسوب در زیرحوضه‌های مختلف متفاوت بود و با نتایج حاصل از اجرای مدل به صورت مجزا انطباق داشت. براساس نتایج جدول (۴) و شکل (۵) سهم زیرحوضه اسپاران بیشتر از

۲۰۱۰، والینگ (۲۰۰۵)، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۹) و قدیمی و همکاران (۱۳۹۴) انطباق دارد (۴، ۵، ۱۰، ۱۲، ۴۲) و این احتمال در رابطه با زیرحوضه بویوک چای وجود دارد که به دلیل بزرگ بودن زیرحوضه، امکان به تله افتادن رسوبات در هنگام انتقال وجود دارد که این خود، باعث کاهش رسوبات خروجی از حوضه و ته‌نشینی بیشتر رسوبات فرسایش یافته در داخل زیرحوضه می‌شود. زیرحوضه اسپاران (شماره ۲) که بیشترین تولید رسوب را در بین زیرحوضه‌های دیگر دارد از خاکسترهای آتشفشانی تشکیل شده است در حالی که زیرحوضه‌های دیگر ترکیبی از دو یا سه سازند هستند و شاید بتوان گفت سازند غالب اگر فرسایش‌پذیر باشد امکان تولید رسوب بیشتر می‌شود و زیرحوضه ۳ دارای یک سازند است.



شکل ۴. سهم نسبی تولید رسوب از زیرحوضه‌های مختلف در حوضه آبخیز آشان (مدل بیسین در پنج نمونه خروجی حوضه محاسبه و نتایج هر پنج بار با شماره گذاری در این شکل آورده شده است)؛ میله‌ها نمایانگر میانگین سهم نسبی منابع رسوب (۱۰۰-۰٪) در زیرحوضه‌ها هستند



شکل ۵. سهم نسبی تولید رسوب به صورت ترکیبی با استفاده از مدل عدم قطعیت بیسین در حوضه آبخیز آشان

سهم آنها در تولید رسوب کم شده است و با کاهش آن سهم آنها افزایش پیدا کرده است. همچنین سهم زیرحوضه‌ای که فاصله نزدیکی با نمونه‌های خروجی حوضه اصلی داشته است (زیرحوضه ۱) در همه نمودارها بیشتر است (شکل ۴) و این نشان دهنده نقش و اثر فاصله در نتایج تعیین سهم نسبی رسوب

زیرحوضه‌های دیگر است. از سوی دیگر با نزدیک شدن نمونه‌های خروجی حوضه اصلی به سمت زیرحوضه‌های بالا، سهم زیرحوضه‌های ۲ و ۳ افزایش پیدا می‌کند و این می‌تواند اثر ناشی از موقعیت نمونه‌ها و فاصله بر روی سهم نسبی رسوب باشد؛ به عبارت دیگر با افزایش فاصله نمونه‌ها از منابع رسوب،

است و شاید بتوان گفت اعتبار مدل ترکیبی با نتایج به دست آمده بیشتر شده و اعتماد به مدل‌های ترکیبی تقویت می‌شود. مدل بیسین در پنج نمونه خروجی حوضه اصلی به همراه نمونه‌های منابع رسوب (زیرحوضه‌ها و حوضه اصلی) محاسبه شده و نتایج آن به صورت سهم نسبی رسوب در سه زیرحوضه گزارش شده است. مقدار سهم نسبی رسوب در هر سه زیرحوضه بین صفر تا یک متغیر است (شکل ۵).

نتیجه گیری

نتایج پژوهش نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی، به عنوان یک ردیاب، قابلیت تفکیک و جداسازی منابع رسوب را داشته و به عنوان یک ردیاب بهینه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، سه ردیاب فرکانس بالا، فرکانس پایین و فرکانس وابسته به بسامد در منبع زیرحوضه‌ها مورد آزمون قرار گرفتند و تنها ردیاب‌های فرکانس بالا و پایین قابلیت جداسازی منبع زیرحوضه را داشتند. براساس نتایج به دست آمده از مدل ترکیبی بیسین، زیرحوضه اسپاران، دارای بیشترین

تولید رسوب در حوضه آشان بود؛ این زیرحوضه با دارا بودن تولید رسوب بیشتر دارای سازند خاکسترهای آتشفشانی بود. نتایج حاصل از این پژوهش نمایانگر اثر فاصله در تعیین سهم نسبی رسوبات از زیرحوضه‌های مختلف بود به طوری که با افزایش فاصله منابع از خروجی حوضه اصلی، این سهم کم می‌شود. با توجه به وسعت بالای منطقه و وجود سازندهای با پتانسیل فرسایشی مختلف و نیز منابع فرسایشی مختلف مثل فرسایش سطحی و زیرسطحی در داخل آن، نیاز به مطالعات با جزئیات بیشتر و آزمون ردیاب‌های مختلف برای انجام اقدامات مدیریتی در هر کدام از زیرحوضه‌هاست و لذا انجام پیشنهاد فوق می‌تواند گام‌های بعدی این پژوهش باشد.

سپاسگزاری

هزینه مالی این پژوهش با پشتیبانی مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است. بدین وسیله از این معاونت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

۱. حکیم‌خانی، ش. ۱۳۸۵. بررسی استفاده از ردیاب‌ها در رسوبات ریز رودخانه‌ای با استفاده از تکنیک منشایابی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز پلدشت، شهرستان ماکو). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۲. حکیم‌خانی، ش.، ح. احمدی و ج. غیومیان. ۱۳۸۸. تعیین سهم فرسایش سطحی و زیرسطح در تولید رسوب با استفاده از روش منشایابی در حوضه آبخیز مرگن - ماکو. مجله دانش آب و خاک ۱(۱۹): ۸۳-۹۶.
۳. عطارپورفرد، ع.، م. خدای، م. حسینی و ح. گلبابایی. ۱۳۸۴. بررسی امکان بکارگیری کانی‌های رسی به عنوان منشایاب در محاسبه رسوب‌دهی حوضه آبخیز لات شور. دومین کنفرانس ملی آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. ۳ تا ۴ اسفند ۱۳۸۴.
۴. فیض‌نیا، س.، ح. احمدی، م. معظمی و ه. فهمی. ۱۳۸۸. بررسی و تعیین سهم منابع رسوب با بهره‌گیری از ردیاب‌های طبیعی خاک (بررسی مورد حوضه آبخیز ابوالفارس خوزستان). نشریه مرتع و آبخیزداری - مجله منابع طبیعی ایران ۴: ۵۱۴-۵۰۳.
۵. قدیمی، ع. ا.، س. ر. خدانشناس، م. ر. اکبرزاده و ب. قهرمان. ۱۳۹۴. منشایابی رسوبات ورودی به دریاچه سدها با استفاده از عناصر شیمیایی (مطالعه موردی: رودخانه قلحق در استان خراسان شمالی)، نشریه علمی و پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی ۲(۶): ۲۰-۳۱.
۶. نصرتی، ک.، ح. احمدی و ف. شریفی. ۱۳۹۰. منشایابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب. مجله علوم

- و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۶۰(۱۶): ۲۳۷-۲۲۷.
۷. نصرتی، ک. ۱۳۹۰. منشایابی رسوب براساس برآورد عدم قطعیت. مجله پژوهش آب ایران ۹(۵): ۵۱-۶۰.
۸. کوهپیما، ا.، س. فیض‌نیا، ح. احمدی و م. معظمی. ۱۳۹۰. بررسی کارایی خصوصیات مغناطیسی خاک در تفکیک منابع رسوب. مجله فیزیک زمین و فضا ۱(۳۷): ۱۱-۱۹.
9. Booth, C. A., M. A. Fullen, J. Walden, J. P. Smith, M. D. Hallett, J. Harris and K. Holland. 2005. Magnetic properties of agricultural top soils of the isle of man: their characterization and classification by factor analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 1241-1262.
10. Collins, A. L. and D. E. Walling. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography* 28: 159-196.
11. Collins, A. and D. Walling. 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. *Geomorphology* 88(1): 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. Dearing, J. A. 1994. Environmental magnetic susceptibility-using the bartington MS2 system. PP: 1-54, Kenilworth, Chi publication.
14. FAO. 1997. Protect and Produce: Putting the Pieces Together. Rome: FAO.
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. Hatfield, R. G and B. A. Maher. 2008. Suspended sediment characterization and tracing using a magnetic fingerprinting technique: Bassenthwaite Lake, Cumbria, UK. *The Holocene* 18: 105-115.
17. Heller, F. and M. E. Evans. 1995. Loess magnetism. *Reviews of Geophysics* 33: 211-240.
18. Ingrid, F. S., S. R. John and W. F. Stewart. 2002. Quantitative sediment fingerprinting using a Bayesian uncertainty estimation framework. *IAHS* 276: 443-450.
19. Jenkins, PA., R. W. Duck, J. S. Rowan and J. Walden. 2002. Fingerprinting of bed sediment in the Tay Estuary, Scotland: an environmental magnetism approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 6: 1007-1016.
20. Kouhpeima, A., S. Feiznia, H. Ahmadi, A. Shamsi and H. Ghadimi. 2013. Determining suitable fingerprinting properties for discrimination of sediment sources (Case study: Amrovan and Atary Catchments). *Desert* 17(3): 255-264.
21. Krein, A., E. Peticrew and T. Udelhoven. 2003. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. *Catena* 53: 165-179.
22. Liu, Q., A. P. Robert, J. C. Larrasoana, S. K. Banerjee, Y. Guyodo, L. Tauxe and F. Oldfield. 2012. Environmental magnetism: Principles and applications. *Reviews of Geophysics* 50: 1-50.
23. Maher, B. A and R. M. Taylor. 1988. Formation of ultrafine-grained magnetite in soils. *Nature* 336: 368-370.
24. Maher, B. A., C. Moore and J. Matzka. 2008. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment* 42: 364-373.
25. Maher, B. A. and R. Thompson. 2009. Quaternary climates, environments and magnetism. PP: 1-398, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
26. Martinez-Carreras, N., F. Gallart, J. F. Iffly, L. Pfister, D. E. Walling, A. Krein. 2008. Uncertainty assessment in suspended sediment fingerprinting based on tracer mixing models: a case study from Luxembourg. *Sediment Dynamics in changing Environments*. *IAHS* 325: 94-105.
27. Morgan, R. P. C. 2009. Soil and Water Conservation, 3th edition. PP: 1-303, John Wiley and Sons.
28. Murray, A. S., R. Stanton, J. M. Olley and R. Morton. 1993. Determining the origins and history of sedimentation in an underground river system using natural and fallout radionuclides. *J. Hydrology* 146: 341-359.
29. 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 tracers: biochemical fingerprints. *Int. J. of Sediment Res.* 26(2): 136-151.
30. Nosrati, K., G. Govers, B. X. Semmens and E. J. Ward. 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma* 217: 173-180.
31. Olfield, F., T. A. Rumner, R. Thompson and D. E. Walling. 1979. Identification of suspended sediment sources by means of magnetic measurements: some preliminary results. *Water Resour.* 15: 211-218.
32. Poulencard, J., Y. Perrette, B. Fanget, P. Quetin, D. Trevisan and J. M. Dorioz. 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in a small rural watershed (French Alps). *Sci. Total Environ.* 407: 2808 - 2819.
33. Regan, J. T., O. Fenton and M. G. Healy. 2012. A review of phosphorus and sediment release from Irish tillage

- soils, the methods used to quantify losses and the current state of mitigation practice. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 112B: 157-183.
34. Sandgren, P and I. Snowball. 2002. Application of mineral magnetic techniques to paleolimnology, Tracking environmental change using lake sediments. *Physical and Chemical Techniques* 2: 217-237.
 35. Sherriff, S. 2014. Environmental Magnetism: Sediment Source Tracing. PP: 371-2047. *Geomorphological techniques. Part 1. British Society for Geomorphology.*
 36. Small, I. F., J. S. Rowan and S. W. Franks. 2002. Quantitative sediment fingerprinting using Bayesian uncertainty estimation framework. *Int. Association of Hydrological Sci.* 276: 443-450.
 37. Smith, H and D. Dragovich. 2008. Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. *Catena* 72(1): 191-203.
 38. SPSS, IBM. 2005. SPSS Base 14 user's guide, Prentice Hall.
 39. Sun, D., J. Bloemendal, Z. Yi., Y. Zhu, X. Wang, Y. Zhang, Z. Li, F. Wang, F. Han. and Y. Zhang. 2011. Palaeomagnetic and palaeoenvironmental study of two parallel sections of late Cenozoic strata in the central Taklimakan Desert: Implications for the desertification of the Tarim Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 300: 1-10.
 40. Thompson, R. and F. Oldfield. 1986. Environmental magnetism. PP: 1-256. Allen and Unwin press. London.
 41. Walden, J and C. K. Ballantyne. 2002. Use of environmental magnetic measurements to validate the vertical extent of ice masses at the Last Glacial Maximum. *J. Quaternary Sci.* 17: 193-200.
 42. Walling, D. E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. of the Total Environ.* 344: 159-184.
 43. www.irm.umn.edu. Magnetic susceptibility.

Determination of Sub-Basin Contribution in Sediment Yield using Magnetic Susceptibility Properties and Uncertainty Mixing Model (Case Study: Ashan Drainage Basin, Maragheh County)

K. Nosrati^{*1}, M. Amini¹, A. Haddadchi² and M. R. Zare³

(Received: April 14-2016; Accepted: June 20-2016)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.141

Abstract

Accelerated soil erosion in Iran causes on-site and off-site effects and identifying of sediment sources and determination of their contribution in sediment yield is necessary for effective sediment control strategies in river basin. In spite of increasing sediment fingerprinting studies uncertainty associated with magnetic susceptibility properties has not been fully incorporated in models yet. The objective of this study is determination of the relative contribution of sediment sources using magnetic susceptibility properties (High frequency, Low frequency and Frequency dependence) incorporated in uncertainty mixing model. For this purpose, 25 bed sediment samples were collected from the outlet of drainage basin and outlet of sub-basins and their magnetic susceptibility was measured and calculated. The results of Kruskal–Wallis test and discriminant function analysis showed that magnetic susceptibility properties can be used as optimum set of tracers in the uncertainty mixing model. The results of Bayesian mixing model indicated that mean (uncertainty range) relative contribution of Sparan, Joyband and Boyoukchay are 92 (83.9-94.8), 2.8 (0.2-10.7), 5.7 (0.2- 10.5) percent, respectively. According to these results, the highest amount of sediment yield is related to Sparan sub-basin and these results could be used in soil conservation and management planning.

Keywords: Sediment fingerprinting, Ashan drainage basin, Erosion, Bayesian mixing model, Magnetic susceptibility properties.

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

2. National Institute of Water and Atmospheric Research, PO Box 8602, Riccarton, Christchurch, New Zealand.

3. Dept. of Physics, Malekashtar Univ., Shahinshahr, Iran.

*: Corresponding Author, Email: K_nosrati@sbu.ac.ir