

تعیین سهم تولید رسوب زیرحوضه‌ها با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئید در حوضه آبخیز آشان، استان آذربایجان شرقی

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

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

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. استادیار، گروه فیزیک کاربردی، دانشکده علوم کاربردی، دانشگاه مالک اشتر، اصفهان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۶/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۰/۱۴)

چکیده

فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز آشان سبب ایجاد تأثیرات محلی و برون‌محلی شده است. تعیین سهم نسبی رسوب زیرحوضه‌ها با استفاده از تکنیک منشأیابی به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت آب و خاک ضروری است. هدف از مطالعه حاضر، تعیین سهم تولید رسوب زیرحوضه‌ها با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئید در حوضه آبخیز آشان است. به این منظور، ۳۰ نمونه رسوب از کف کانال پنج زیرحوضه برداشت و ردیاب‌های رادیونوکلوئید (سرب ^{210}Pb)، اکتینیوم ^{228}Ac ، رادیوم ^{226}Ra ، سزیم ^{137}Cs ، پتاسیم ^{40}K ، ژئوشیمیایی (کلسیم Ca)، آهن Fe)، پتاسیم K ، منیزیم Mg ، منگنز Mn ، سدیم Na) و مواد آلی OC اندازه‌گیری شدند. ترکیب بهینه ردیاب‌ها با استفاده از تحلیل آماری کروسکال والیس و تابع تحلیل تشخیص مشخص شد. در نهایت، سهم هریک از زیرحوضه‌ها در تولید رسوب با استفاده از مدل غیرترکیبی عدم قطعیت بیسین^۱ و بر پایه ترکیب بهینه ردیاب‌ها تعیین شد. ردیاب‌های رادیوم ^{226}Ra ، سزیم ^{137}Cs ، پتاسیم ^{40}K و منگنز و کلسیم با قدرت تفکیک‌کنندگی ۸۰ درصد به عنوان ترکیب بهینه شناسایی شدند. نتایج نشان داد زیرحوضه هریس با ۷۰/۱ درصد تولید رسوب نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها بیشترین سهم تولید رسوب را دارد. سازندی که این زیرحوضه در آن واقع شده، سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی است. بنا بر نتایج پژوهش حاضر و مشاهدات میدانی، زیرحوضه‌هایی که روی سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی واقع شده‌اند، بیشترین مقدار تولید رسوب را دارند. این سازند به دلیل قرارگیری در نزدیکی خروجی حوضه آبخیز آشان از یک سو و به دلیل اثری که در پرکردن سد علویان از رسوب از سوی دیگر دارد، برنامه‌های حفاظت خاک برای کاهش فرسایش خاک و انتقال رسوب باید در آن متمرکز شوند.

کلیدواژگان: حوضه آبخیز آشان، ردیاب‌های رادیونوکلوئید، منشأیابی.

مقدمه

امروزه، بشر برای ادامه زیست روی کره زمین با تنگناهایی روبه‌روست که یکی از آنها، تخریب منابع طبیعی و مسائل فرسایش خاک و تولید رسوب است. فرسایش خاک آثار محلی^۱ مانند از بین بردن مواد آلی خاک، کاهش تولیدات کشاورزی و تهدید امنیت غذایی بشر و تأثیرات برون‌محلی^۲ مثل پرشدن سدها، تخریب جاده و مناطق مسکونی و دفن خاک‌های مناسب دارد. طبق اظهارات فائو حدود ۱/۶ میلیارد هکتار از زمین‌های شخم‌زده شده (۱۳ درصد از مساحت قاره‌ها) در حال فرسایش اند؛ که براساس این آمار، حدود یک میلیارد هکتار به وسیله فرسایش آبی و ۵۵۰ میلیون هکتار به وسیله فرسایش بادی در معرض فرسایش هستند، اما این مسئله در کشورهای در حال توسعه به علت میزان زیاد رشد جمعیت و فشار بر زمین‌های حساس به فرسایش، تهدیدی جدی برای پایداری مدیریت ارضی و بهره‌برداری از منابع آب به شمار می‌آید [۱]. میزان فرسایش آبی در کشور ایران نیز به‌عنوان یک کشور در حال توسعه در سال‌های ۱۳۳۰، ۱۳۴۰، ۱۳۵۰، ۱۳۶۰، ۱۳۷۲ و ۱۳۷۸ با در نظر گرفتن ۱۲۰ میلیون هکتار از اراضی تحت فرسایش به ترتیب برابر با ۴/۲، ۶/۳، ۸/۳، ۱۲/۵، ۲۰/۸، ۲۲/۵ تن بر هکتار بر سال برآورد شده است [۲]. با توجه به میزان فزاینده تولید رسوب در ایران، اجرای سیاست‌های مدیریت و کنترل رسوب یک نیاز فوری به شمار 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 [۳]. ردیابی منبع رسوبات یک تکنیک ژئومورفولوژیکی برای تعیین منشأ رسوبات در داخل یک حوضه است. روش منشأیابی در یک سری از مقیاس‌ها از حوضه‌های کوچک‌تر از ۱۵ کیلومتر مربع [۴] تا حوضه‌هایی که بزرگ‌تر از ۱۰۰ هزار کیلومتر مربع هستند [۵] به کار رفته است. در این روش منابع رسوبات براساس ویژگی‌های مخصوصشان تعیین می‌شوند، بنابراین، طیفی از ردیاب‌ها در روش منشأیابی برای تعیین منبع رسوبات استفاده می‌شوند [۶]. روش‌های سنتی یا غیرمستقیم به خلاف روش‌های مستقیم قابلیت حل مسئله مقیاس زمانی- مکانی فرسایش و رسوب را نداشتند، به همین دلیل روش منشأیابی مطرح شد

[۷]. در روش‌های غیرمستقیم که شامل نقشه‌برداری، مساحی، اندازه‌گیری پروفیل، پین فرسایشی، نیم‌رخ متقاطع، فتوگرامتری و ... است، برآورد دقیق فرسایش و رسوب در مقیاس حوضه‌ای و بزرگ غیرممکن است و به دلیل تغییرپذیری فرسایش در مقیاس زمانی و مکانی، از آن برای منشأیابی استفاده نمی‌شود [۸]. در چند دهه اخیر، استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات معلق به عنوان منشأیاب به جای روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر سنتی برای ردیابی ارتباط بین فرسایش خاک و رسوبات وارد شده به خروجی حوضه تأیید شده است [۹]. این تکنیک بر پایه ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات و ذرات خاک منابع رسوب است [۱۰]. روش منشأیابی با وجود دقت، عدم قطعیت‌هایی دارد که مدل‌هایی مثل بیسین، که در این پژوهش استفاده می‌شود، سعی دارد این عدم قطعیت‌ها را برآورد کند و نمایش دهد. حوضه آبخیز آشان با مساحت ۲۷۲ کیلومتر مربع، شش سازند زمین‌شناسی (جریانات خاکسترهای آتشفشانی، سنگ‌های آتشفشانی دیاستکی و آندزیت، سنگ‌های رسی و پیروکلاستیک)، دو کاربری غالب (کشاورزی و مرتع) و چهار نوع فرسایش (پای دامی، شیاری، آبراه‌های و انسانی) به عنوان یک حوضه با تولید رسوب زیاد شناخته شده است. این حوضه به دلیل قرار گرفتن سد علویان (به عنوان تأمین‌کننده آب شرب و کشاورزی شهرستان مراغه و زمین‌های پایین‌دست) در خروجی آن، پرشدن سد از رسوب و کم‌شدن عمر مفید آن و نیز رخداد سیل‌هایی مانند ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ که سبب انباشته شدن سد از رسوب شد به مطالعات منشأیابی رسوب به منظور انجام اقدامات حفاظت خاک به وسیله شناخت منابع عمده تولید رسوب را دارد. هدف از انجام این پژوهش، تعیین سهم نسبی منابع رسوب از زیرحوضه‌های مختلف با استفاده از ردیاب‌های رادیونوکلوئید و ژئوشیمیایی و با رویکرد منشأیابی است.

پیشینه پژوهش

نخستین پژوهشگرانی که به صورت علمی منشأیابی رسوبات را بررسی کرده‌اند، کلاگس و همکارانش با موضوعی با عنوان «مواد جامد حمل‌شده به وسیله رودخانه گالتین در جنوب غرب مونتانا با استفاده از کانی‌شناسی» هستند. در این پژوهش رسوبات معلق از رودخانه‌ها جمع‌آوری شده و کانی‌شناسی رسوبات رس و سیلت با استفاده از اشعه ایکس از

1. On-site
2. Off-site

کانال زیرحوضه‌ها به عنوان منابع رسوب در نظر گرفته شدند و با استفاده از مدل ترکیبی بیسین سهم نسبی منابع رسوب تعیین شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد ردیاب‌های با حساسیت زیاد و کم به ترتیب با درصد طبقه‌بندی صحیح ۶۸/۴ و ۷۳/۷ درصد به عنوان ردیاب‌های بهینه شناخته شدند. براساس نتایج پژوهش یادشده زیرحوضه اسپاران چای بیشترین میزان تولید رسوب را داشت [۱۵]. نصرتی در جدیدترین پژوهش خود درباره منشأیابی، بخش‌های دامنه‌ای و سهم آنها در تولید رسوب رودخانه‌ای را بررسی کرد. در این پژوهش، ردیاب‌های سزیم ۱۳۷، پتاسیم ۴۰، اورانیوم ۲۳۸، رادیوم ۲۲۶ و توریوم ۲۳۲ و مواد آلی ۳۲ نمونه از کوهستان‌های غرب ایران (از دو کاربری جنگل و کشاورزی و چهار بخش دامنه‌ای) اندازه‌گیری و به‌وسیله مدل ترکیبی بیسین تحلیل شده‌اند. در این پژوهش منابع اولیه و ثانویه تولید رسوب از هم تفکیک و سهم بخش‌های مختلف دامنه در کاربری‌های مختلف تعیین شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داده است که بخش دامنه‌ای shoulder در کاربری کشاورزی و در رویکرد اولیه و ثانویه (به صورت ترکیبی) سهم تولید رسوب ۶۷ درصد دارد [۱۶].

موقعیت منطقه مطالعه شده

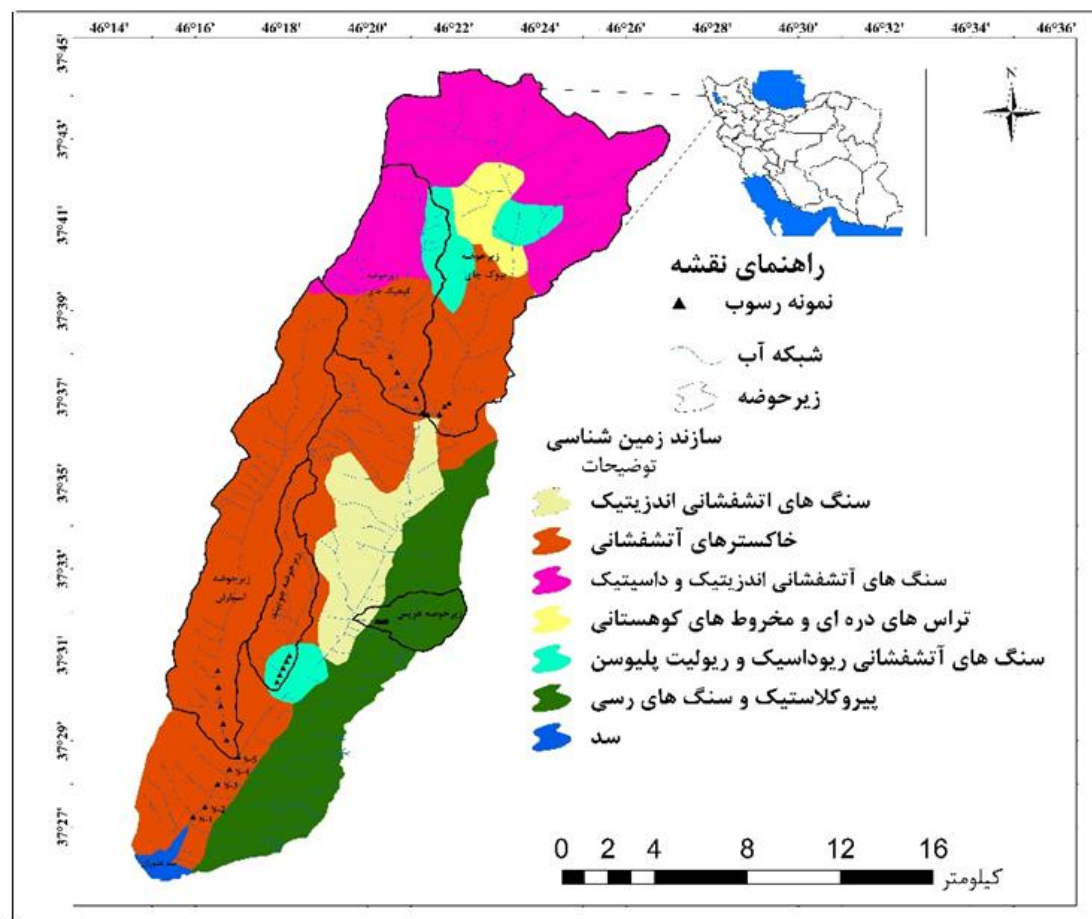
حوضه آبخیز آشان با مختصات جغرافیایی ۳۷°، ۴۵ تا ۳۷°، ۲۵ شمالی و ۴۶°، ۱۴ تا ۴۶°، ۲۸ شرقی و مساحت ۲۷۰ کیلومترمربع در دورترین نقطه شمال شهرستان مراغه و جنوب شهر تبریز واقع شده است (شکل ۱). این حوضه پنج زیرحوضه اصلی به نام‌های بیوک‌چای، کیچیک‌چای، اسپاران‌چای، جوی‌بندچای و هریس‌چای به ترتیب با مساحت ۷۳/۳۲، ۴۳/۲۹، ۲۷/۷۷، ۱۱/۲۹ و ۶/۲۲ کیلومترمربع دارد. رتبه آبراهه‌ها در این حوضه تا پنج رده می‌رسد. طول رودخانه صوفی‌چای از سد علویان تا رأس حوضه بیوک‌چای به ۳۷/۵۱ کیلومتر است. تراکم آبراهه‌ها در این حوضه برابر با ۱/۱۷ کیلومتر بر کیلومترمربع بوده و نسبت دایره‌ای در این حوضه برابر با ۰/۱۲ است، به این معنا که شکل حوضه دایره‌ای نیست. کمترین و بیشترین شیب در این حوضه به ترتیب ۰ و ۲۰ درصد است. سازندهایی که بیشترین مساحت را در حوضه آبخیز آشان به خود اختصاص داده‌اند، عبارت‌اند از: جریان‌های آتشفشانی، سنگ‌های آتشفشانی، کربنات‌های آتشفشانی، دیاستکی و آندزیت، سنگ‌های رسی و پیروکلاستیک. کاربری

هم تفکیک شدند. نتایج پژوهش آنها نشان داد سهم هر یک از سرشاخه‌ها در تولید رسوب با استفاده از کانی‌شناسی می‌تواند شناخته شوند [۱۰]. والبرینک و همکارانش تکنیک منشأیابی رسوب را با استفاده از ردیاب‌های رادیواکتیو و ژئوشیمیایی در حوضه بوندلکلک^۱ در استرالیا به کار گرفتند تا سهم رسوب فسفر را در کاربری اراضی متفاوت تعیین کنند [۱۱]. پورتو و همکارانش از مقدار واپاشی رادیونوکلئید برای محاسبه بیلان رسوب در حوضه کوچک استفاده کردند. این مطالعه در یک حوضه جنگلی کوچک در جنوب ایتالیا با استفاده از دو ردیاب سزیم ۱۳۷ و سرب ۲۱۰ انجام شد. نکته کلیدی درخور توجه در این مطالعه، استفاده از تعدادی موقعیت نمونه‌برداری به صورت تصادفی در حوضه مطالعه شده بود که اطلاعات موجود در آن نماینده‌ای از میزان فرسایش و رسوب در کل حوضه بود [۱۲]. ثورینگ و همکارانش مطالعه‌ای در حوضه خارا در شمال مغولستان انجام دادند که مثال خوبی از تکنیک‌های منشأیابی منابع رسوب است که در آن از ذرات ریزی که وارد اکوسیستم آبی استفاده می‌شوند، استفاده شده است. در این مطالعه از عنصرهای سزیم ۱۳۷، برلیوم ۷ و سرب ۲۱۰ به عنوان ردیاب برای به‌دست‌آوردن سهم نسبی فرسایش‌های کانالی و گالی به عنوان منشأهای رسوب طی رخداد ذوب برف بهاره و بارش تابستانه و از نتایج ناشی از منابع رسوب با اندازه‌گیری بار رسوبی رودخانه و مدل سدنت^۲ برای محاسبه بیلان رسوب در حوضه استفاده شد [۱۳]. فانچین و همکارانش در حوضه آبخیز هوجیوان^۳ در استان شانکسی با وسعت ۲۷ کیلومترمربع، با استفاده از ۴۵ ردیاب رسوب و رویکرد منشأیابی و نیز الگوریتم ژنتیک، منابع تولید رسوب را تعیین کردند. در این پژوهش از ۷۷ نمونه خاک استفاده شد تا با استفاده از رویکرد منشأیابی سهم منابع گالی، مراتع، جنگل و زمین‌های کشاورزی تعیین شوند. نتایج این پژوهش نشان داد زمین‌های کشاورزی، جنگل، مرتع و بقیه کاربری‌ها به ترتیب سهم نسبی ۲۸/۲، ۲۱/۵، ۱۲/۷ و ۲/۹ درصد داشتند [۱۴]. نصرتی و همکارانش با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی با ۲۰ نمونه در سه زیرحوضه از حوضه آبخیز آشان توانستند سهم نسبی رسوبات در زیرحوضه‌ها را تعیین کنند. در این پژوهش رسوبات کف

1. Bundellellacleek
2. SedNet
3. Hujiawan

مراعات غنی است. میانگین بارندگی سالانه این منطقه، ۳۶۰ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالانه آن از ۸/۷ تا ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد در نوسان است.

اراضی در این حوضه تنوع کمتری دارد و شامل مرتع (غنی)، متوسط و فقیر، زمین‌های کشاورزی (دیم و آبی) و مراکز انسانی می‌شود و بیشترین مساحت کاربری مربوط به کاربری



شکل ۱. زیرحوضه‌ها و سازندهای زمین‌شناسی در حوضه آبخیز آشان

نمونه‌برداری، ۳۰ نمونه رسوب تازه از کف کانال زیرحوضه‌ها و حوضه اصلی برداشت شد (۲۵ نمونه از زیرحوضه‌ها و ۵ نمونه از خروجی حوضه اصلی). نمونه‌ها به صورت ترکیبی بودند، یعنی هر نمونه ترکیبی از ۱۰ زیرنمونه بود. شیوه برداشت نمونه رسوبات نیز به این شکل بود که هر زیرنمونه با فاصله ۴۰ متر از دیگری در یک بازه ۴۰۰ متری برداشت شد و فاصله هر نمونه، که ترکیبی از ۱۰ زیرنمونه بود، با نمونه دیگر ۲۰۰ متر بود. در مجموع، پنج نمونه از هر زیرحوضه و خروجی حوضه اصلی در یک بازه سه کیلومتری برداشت شدند. نمونه‌ها بعد از برداشت از کف زیرحوضه‌ها در محیط آزمایشگاه با شماره الک ۲۳۰ (۶۳ میکرون) الک شدند. ذرات رسوب در ظروف

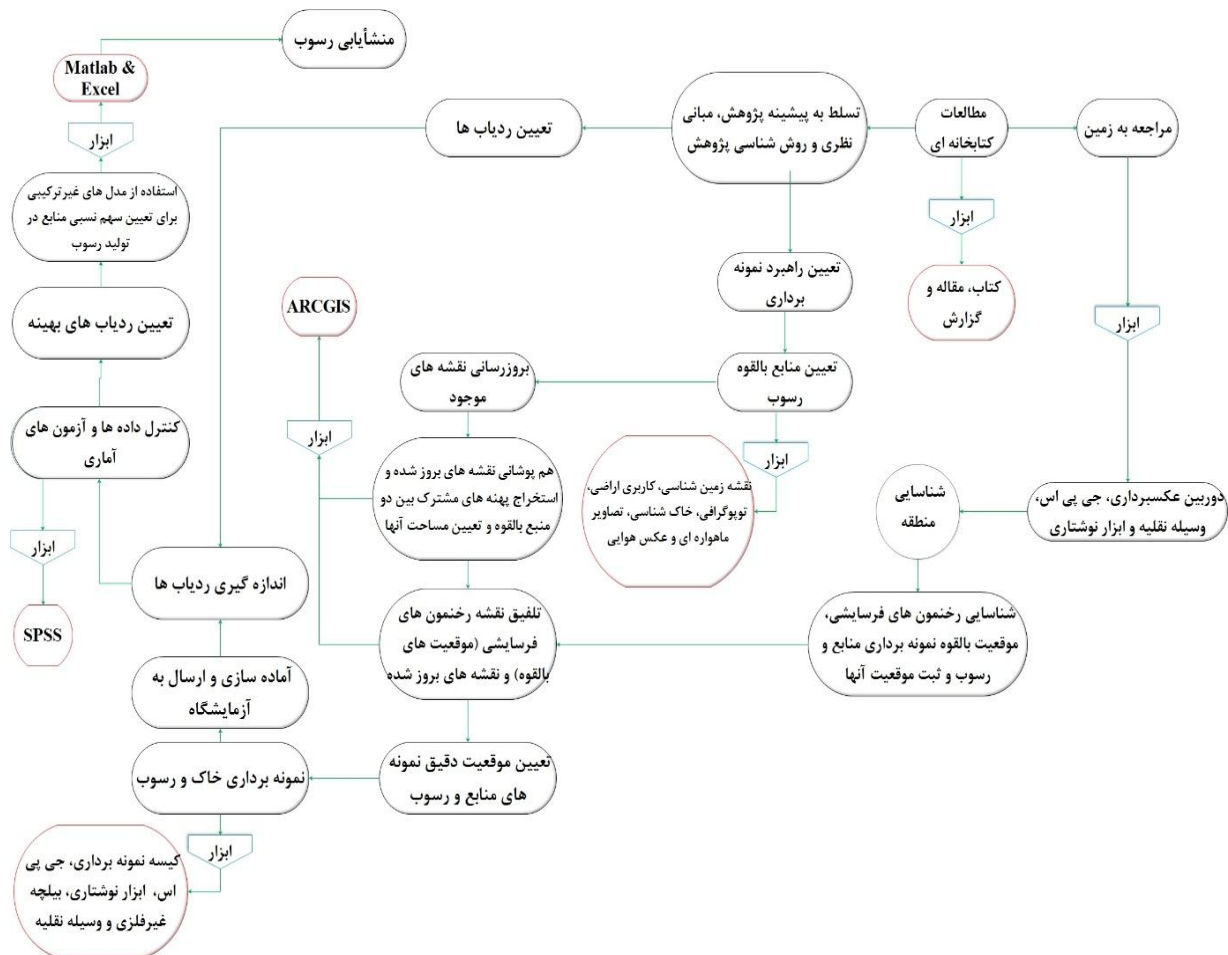
مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئید

قبل از نمونه‌برداری، به وسیله مشاهدات زمینی منطقه به طور کامل شناسایی و سپس نقشه موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی آن با خرید نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰)، کاربری اراضی (۱:۵۰۰۰۰) و زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) از سازمان‌های نقشه‌برداری و زمین‌شناسی کشور و تحلیل آن به وسیله نرم‌افزار ArcGIS ترسیم و موقعیت نمونه‌های رسوب روی نقشه مشخص و در نهایت اقدام به نمونه‌برداری شد. شکل ۲ مراحل انجام این پژوهش را به منظور ارائه جزئیات بیشتر نمایش می‌دهد. برای انجام

اسید نیتریک به اسید هیدروکلریدریک) با استفاده از دستگاه جذب اتمی، ردیاب‌های ژئوشیمیایی در دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی اندازه‌گیری شدند. مواد ارگانیکی رسوبات نیز با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند.

پلاستیکی ۳۰ سانتی‌مترمکعب با مقدار ۳۹۲ گرم قرار داده شده و پس از آب‌بندی به‌وسیله چسب حرارتی به آزمایشگاه اسپکرومتری دانشگاه مالک اشتر برای اندازه‌گیری ردیاب‌های رادیونوکلوئید منتقل شدند. پس از الک ذرات رسوب با شماره الک ۲۳۰، مقدار یک گرم از آن توزین و پس از هضم اسیدی با روش اکوریجیا (نسبت ۱:۳



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش به‌منظور منشأیابی رسوب

[۱۷]. میزان شمارش زمینه این سیستم‌ها با توجه به حفاظ‌های سربی آنها به ترتیب ۲/۹ و ۲/۵ شمارش در ثانیه است. حفاظ استفاده شده در این آشکارسازها یک حفاظ سربی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر است که دو لایه نازک کادمیوم و مس روی سطح داخلی حفاظ قرار گرفته‌اند؛ و درب متحرک دارند که پس از قرارگیری نمونه‌ها در درون آشکارساز می‌توان درب آن را محکم بست. در سیستم طیف‌نگاری ۳۸/۵ درصد، با توجه به کارت MCA موجود، طیف‌نگاری با استفاده از نرم‌افزار تحت ویندوز AKWIN انجام

برای اندازه‌گیری رادیوایزوتوپ‌ها نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه گاما اسپکترومتر اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری نمونه‌ها با دو رویکرد مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شوند. این دستگاه به طور مستقیم به یک کامپیوتر متصل است که کار شمارش را انجام می‌دهد. بعد از گذشت حدود ۲۵ تا ۸۰ هزار ثانیه (که به نوع نمونه و میزان فعالیت ردیاب بستگی دارد) نقطه اوج منحنی شمارش تشکیل می‌شود. برای مثال، روی گراف در کانال ۶۶۱/۶۶ کیلوالکترون ولت (طیف مربوط به سزیم) میزان اکتیویته سزیم ۱۳۷ اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود

تفکیک منابع رسوب

گام نخست بعد از اندازه‌گیری ردیاب‌ها، به دست آوردن ترکیب بهینه‌ای از ردیاب‌هاست. این ردیاب‌ها باید قادر باشند منابع رسوب را به خوبی از هم تفکیک کنند. در این پژوهش، برای تفکیک منابع رسوب و انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها از روش آماری دومرحله‌ای استفاده شد و برای انجام آنالیزهای آماری مربوط به این دو مرحله از نرم‌افزار SPSS 19 استفاده شد [۲۰]. به منظور انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌هایی که بتوانند منابع را از هم جدا کنند، در گام نخست از آزمون کروسکال والیس و سپس به منظور انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها که در آزمون کروسکال والیس پذیرفته 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 گام‌به‌گام - Forward استفاده شد [۲۱].

تعیین سهم نسبی منابع رسوب

در این پژوهش برای تعیین سهم نسبی منابع رسوب از مدل ترکیبی بیسین^۲ استفاده شده است. استفاده و توسعه این مدل در منابع رسوب توسط نصرتی برای تعیین سهم نسبی رسوبات و تخمین عدم قطعیت آنها در ایران استفاده شده است [۲۱]. مدل بیس (Bayes) به شرح زیر است (رابطه ۱):

$$P(f_q | \text{data}) = \frac{L(\text{data} | f_q) \times P(f_q)}{\sum L(\text{data} | f_q) \times P(f_q)} \quad (1)$$

در این مدل، توابع احتمال سهم نسبی برای هر منبع رسوب f_i در منابع رسوب i در همه نمونه‌های رسوب برداشت‌شده 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 گفته 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

می‌شود. این نرم‌افزار امکانات کافی برای آنالیز طیف‌ها را ندارد. بنابراین، پس از طیف‌گیری، اطلاعات فایل‌های طیف‌گیری به صورت فایل‌هایی با قالب خواندن توسط نرم‌افزار OMN/GAM تبدیل می‌شود. در سیستم طیف‌نگاری ۵۵ درصد طیف‌نگاری و آنالیز با استفاده از نرم‌افزار تحت ویندوز SmbSI انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری عناصر ژئوشیمیایی، نمونه‌های رسوب با استفاده از روش اکوریجیا ابتدا هضم اسیدی شدند. در روش اکوریجیا، ابتدا نمونه رسوب را از الک مد نظر گذرانده و در داخل بالن ژوژه ۱۰۰ سی‌سی ریخته می‌شود. بعد از قراردادن بالن ژوژه داخل هود، مقادیر یک سهم از اسید نیتریک (سه میلی‌لیتر) و سه سهم از اسید هیدروکلریک (نه میلی‌لیتر) به داخل آن ریخته می‌شود. به مدت دو ساعت، نمونه روی هات پلیت با دمای ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شده و پس از زمان سپری‌شده، نمونه‌ها از داخل هود خارج و از صافی ۱۴ گذرانده و با آب دوبار تقطیر، به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده می‌شود. نمونه‌ها بعد از هضم اسیدی توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شدند. ردیاب‌های استفاده‌شده در این پژوهش در حالت کلی به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه نخست ژئوشیمیایی هستند که عبارت‌اند از کلسیم (Ca)، منگنز (Mn)، منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، پتاسیم (K)، سدیم (Na) و کربن آلی (OC) و گروه دوم شامل ردیاب‌های رادیونوکلوئید می‌شود که عبارت‌اند از سزیم ۱۳۷ (^{137}Cs)، سرب ۲۱۰ (^{210}Pb)، پتاسیم ۴۰ (^{40}K)، رادیوم ۲۲۶ (^{226}Ra) و اکتینیوم ۲۲۸ (^{228}Ac). یکی از پیش‌فرض‌های اولیه درباره استفاده از ردیاب‌ها تغییرناپذیربودن^۱ آنها طی انتقال مسیر رودخانه از منبع تا خروجی حوضه است. به استثنای سزیم ۱۳۷ که نتیجه فعالیت‌های هسته‌ای انسان است، بقیه ردیاب‌ها به صورت طبیعی اتفاق می‌افتند و در رسوبات زمین انباشته می‌شوند. مطابق گزارش سایت دانشگاه استنفورد [۱۸]، سزیم و پتاسیم جزء ردیاب‌های تغییرناپذیر هستند در حالی که رادیوم ۲۲۶ جزء این ردیاب‌ها به حساب نمی‌آید. از جمله افرادی که از رادیوم ۲۲۶، پتاسیم ۴۰، سرب ۲۱۰ و سزیم ۱۳۷ در مطالعات منشأیابی خود استفاده کرده‌اند می‌توان به حدادچی و همکارانش اشاره کرد [۱۹].

رسوب و صدک ۵ و ۹۵ بیان‌کننده عدم قطعیت موجود در منابع تولید رسوب هستند [۱۱].

نتایج

در جدول ۱ مقادیر ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلئید آورده شده است. براساس این جدول، چهار شاخص آماری میانگین، انحراف از معیار، بیشینه و کمینه دو مجموعه ردیاب (ژئوشیمیایی و رادیونوکلئید) رسوب و منابع رسوب آورده شده است.

جدول ۲ نتایج کروسکال والیس نمونه‌های رسوب را نشان می‌دهد. براساس نتایج کروسکال والیس، از ۱۲ ردیاب آزمایش‌شده، هفت ردیاب در پنج زیرحوضه مختلف دارای تفاوت معنادارند. مطابق جدول ۲، سرب ۲۱۰، رادیوم ۲۲۶، اکتینیوم ۲۲۸، پتاسیم ۴۰، سزیم ۱۳۷، منگنز و کلسیم از جمله ردیاب‌هایی هستند که دارای تفاوت معنادارند. این هفت ردیاب در مرحله بعد به وسیله آزمون آماری تحلیل تشخیص آزمایش شدند تا ردیاب‌های بهینه و قدرت تفکیک‌کنندگی ردیاب‌ها بررسی شوند.

مطابق نتایج جدول‌های ۳-۵ ردیاب رادیوم ۲۲۶، سزیم ۱۳۷، پتاسیم ۴۰، منگنز و کلسیم با قدرت تفکیک‌کنندگی ۸۰ درصد توانستند پنج زیرحوضه در حوضه آبخیز آشان را از هم تفکیک کنند.

مطابق جدول ۴، آزمون p با دو درجه آزادی مختلف ۲۰ و ۱۲ آزمایش شده است. مطابق نتایج جدول ۴، بار عملی با درجه آزادی ۲۰ مساوی ۱۴/۸۵ یعنی بیشتر از درجه آزادی ۱۲ با مقدار ۲/۷۷ است؛ بنابراین نتایج مربوط به درجه آزادی ۲۰ در تفکیک منابع رسوب استفاده شده است. شکل ۳ نیز میزان تفکیک‌شدگی منابع براساس ردیاب‌های بهینه ژئوشیمیایی و رادیونوکلئید را نشان می‌دهد. براساس شکل ۳، زیرحوضه‌های بیوک و کیچیک‌چای در رأس حوضه آبخیز به خوبی از هم تفکیک شده‌اند در حالی که سه زیرحوضه پایینی (اسپاران‌چای، جوی‌بندچای و هریس‌چای) مانند زیرحوضه‌های بالایی از هم تفکیک نشده‌اند، با وجود این تفکیک سه زیرحوضه پایینی قابل تشخیص است.

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 بیان 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 ۲-۴):

$$\mu = \sum_{i=1}^n (f_i \times m_{\text{source } i}) \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i^2 \times s_{\text{source } i}^2)} \quad (3)$$

$$L(x | \mu, \sigma) = \prod_{k=1}^n \prod_{j=1}^n \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \right] \quad (4)$$

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 یک از منابع رسوب براساس تابع توزیع بتا به صورت زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۵):

$$L(f_q | \alpha_i, \beta_i) = \prod_{k=1}^n \frac{f_i^{\alpha_i-1} * (1-f_i)^{\beta_i-1}}{B(\alpha_i, \beta_i)} \quad (5)$$

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 است [۱۴]. با توجه به اینکه از خروجی حوضه پنج نمونه رسوب برداشت شده بود، مدل عدم قطعیت بیسین پنج بار برای تک‌تک نمونه رسوب‌ها به وسیله برنامه Matlab اجرا شد و بار دیگر مجموع آنها یکجا استفاده شدند و سهم نسبی رسوب‌ها در هر سه زیرحوضه در صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ به دست آمدند که صدک پنجاه بیان‌کننده میانه سهم نسبی هر منبع در تولید

جدول ۱. مقادیر ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئید رسوب حوضه آبخیز آشان

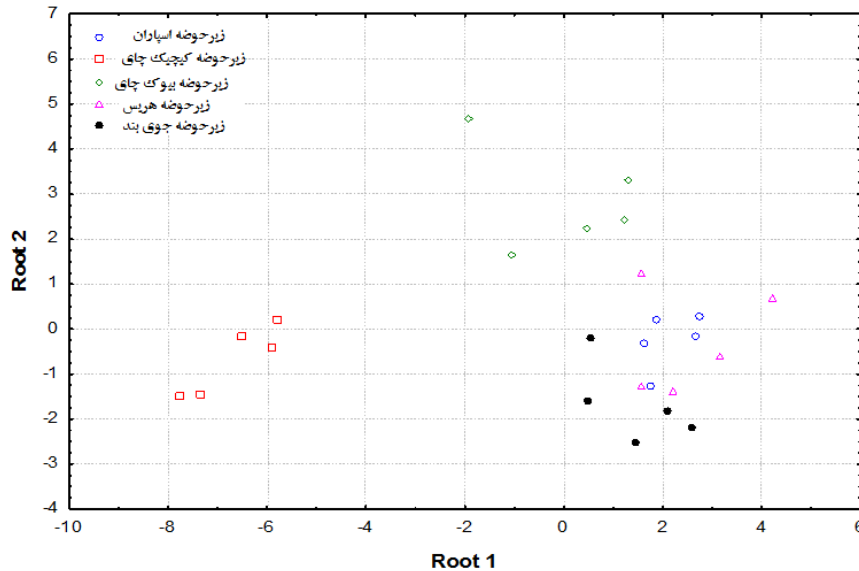
منابع رسوب	Pb-210 (Bq/Kg-1)	Ra-226 (Bq/Kg-1)	Ac-228 (Bq/Kg-1)	K-40 (Bq/Kg-1)	Cs-137 (Bq/Kg-1)	OC (g/kg-1)	Na (ppm)	Mn (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)
زیرحوضه اسپاران	میانگین	۴۹/۲	۲۸	۳۲/۸	۳۰۷/۶	۲۳	۳/۱	۲۰/۳	۱۱۲/۵۹	۲۲/۳۳	۶۰۵/۹۹	۱۱۱/۱
	انحراف از معیار	۱۲/۳	۳	۸/۵	۲۱/۷	۰/۵	۲/۴	۲۴/۶	۴۱/۳۹	۸/۳۱	۱۹۲/۱۱	۲۲/۴
	بیشینه	۶۷/۲	۳۰/۶	۴۲/۶	۳۹۵/۹	۴/۱	۱/۸	۷/۲	۱۷۷/۹۹	۴۷/۷۶	۱۹۱۷/۴۰	۱۵۰/۹
	کمینه	۲۸/۱	۲۳/۹	۲۱/۸	۳۳۵/۳	۲/۹	۰/۲	۱/۵	۱۶۳/۹	۷۲/۹۲	۴۲۳/۲۵	۹۹/۱
	میانگین	۷۹/۴	۵۷	۶۲/۳	۵۳	۶/۲	۱/۵	۴/۲	۱۵۰/۴	۱۱۰/۰۵	۴۸۹/۳۳	۲۰۰/۲
زیرحوضه کیچیک چای	انحراف از معیار	۱۴/۳	۴/۸	۱۱/۲	۸۶/۹	۲	۰/۵	۱۰/۳	۳۱/۰۶	۹/۸۰	۳۶۴/۱۹	۲۹/۲
	بیشینه	۱۰۲/۴	۶۲/۷	۷۹/۲	۵۹۲/۱	۸/۲	۲	۴/۹	۱۴۶/۲۹	۴۹/۰۳	۸۴۷/۲۲	۲۳۴/۵
	کمینه	۶۶	۵۲/۶	۴۲/۶	۳۷۹/۸	۲/۹	۱	۳/۵	۶۹/۲۹	۶۶/۹۹	۵۴/۸۲	۱۲۸/۹
	میانگین	۱۰۵/۱	۳۸	۴۷/۳	۴۵۱/۳	۸/۷	۳/۶	۳/۷	۱۳۸/۴۱	۸۹/۶۴	۴۸۹/۰۴	۱۱۲/۷
	انحراف از معیار	۱۹/۱	۷/۷	۹/۳	۳۴/۸	۱/۴	۱/۸	۱/۳	۶۶	۷۹/۸۵	۲۴۸/۹۴	۴۰/۸
زیرحوضه بیوک چای	بیشینه	۱۲۷/۳	۴۳/۷	۶۰/۳	۵۱۱/۲	۶/۱	۵/۱	۵/۱	۲۷۲/۶۴	۲۵۱/۴۵	۸۴۸/۶۸	۱۴۷/۸
	کمینه	۷۵/۷	۲۴/۴	۳۴/۶	۴۲۶/۸	۶/۴	۱/۳	۱/۸	۳۱۶/۵	۶۰/۶۹	۲۵۲/۱۹	۷۱/۳
	میانگین	۷۹/۶	۲۹/۹	۳۲/۹	۳۹۹/۸	۵/۱	۲/۵	۴/۲	۲۰۵/۶	۵۳/۵۸	۵۸۹/۹۱	۱۴۱/۶
	انحراف از معیار	۴۱/۷۴	۷/۸۵	۱۱/۵۲	۲۶/۵۶	۳/۶۱	۲/۱۴	۲	۳۶/۸۳	۲۱/۴۳	۱۱۴/۵۰	۸۶/۲
	بیشینه	۱۳۸/۱	۴۳/۶	۴۷	۴۳۰/۲	۱۰/۱	۴/۸	۶/۶	۲۸۷/۷	۱۹۶/۱	۶۶۰/۱	۲۴۹/۲
زیرحوضه جوی بند چای	کمینه	۳۳/۸	۲۵/۲	۲۲/۸	۳۷۶/۸	۲/۰۲	۰/۴۴	۱/۵	۱۰۰/۵	۳۳/۸	۳۸۸/۳	۸۷/۸
	میانگین	۶۷/۳	۳۲/۷	۴۱/۵	۴۰۷/۱	۳/۸۳	۱/۳۰	۴	۱۸۲/۸	۱۰۹/۱	۴۷۷/۹	۱۰۰/۷
	انحراف از معیار	۳۵	۳/۹	۸/۸	۵۳/۷	۲/۲۱	۰/۴۲	۲	۳۷/۹	۴۳/۸	۷۲/۳	۳۰/۱
	بیشینه	۹۷/۲	۳۷/۱	۵۴/۷	۵۰۰/۵	۷/۰۷	۱/۷۰	۵/۷	۲۴۳/۶	۱۶۴/۴	۵۶۹/۴	۱۳۸/۹
	کمینه	۲۲/۲	۲۷/۵	۳۳/۳	۳۶۵/۸	۱/۱۰	۰/۶۶	۱/۵	۱۵۲/۳	۷۲/۵	۳۸۰/۸	۵۹/۳
رسوب												
خروجی حوضه آشان	S-1	۲۵/۹	۷۴/۹	۴۹/۹	۴۶۹/۲	۴/۶	۱/۳	۶	۲۵۸/۹	۶۱/۱	۶۲۷/۹	۱۲۶/۱
	S-2	۴۳/۳	۲۶/۸	۳۶/۲	۳۵۳/۷	۳/۳	۰/۲	۱/۵	۹۶/۵	۵۷/۹	۷۵۳/۶	۹۹/۱
	S-3	۷۷/۹	۴۰/۲	۴۶/۸	۴۷۷/۳	۴/۶	۱/۸	۵/۵	۲۴۴/۸	۵۶/۶	۳۶۷/۷	۱۹۰/۷
	S-4	۳۱/۸	۷۸	۴۸/۸	۵۵۷/۳	۴	۰/۸	۵/۱	۲۲۹/۵	۲۵	۶۶۱/۵	۲۰۲/۶
	S-5	۶۲	۴۷	۶۲/۶	۴۷۷/۸	۵/۹	۱/۳	۴	۲۵۷/۷	۹۵/۶	۶۴۶/۹	۱۹۰/۷

جدول ۲. نتایج کروسکال والیس نمونه‌های رسوب زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز آشان

آماره H	Pb-210 (Bq/Kg-1)	Ra-226 (Bq/Kg-1)	Ac-228 (Bq/Kg-1)	K-40 (Bq/Kg-1)	Cs-137 (Bq/Kg-1)	OC (g/kg-1)	Na (ppm)	Mn (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)
۹/۰۱	۹/۰۱	۱۴/۴۹	۱۲/۶۱	۱۲/۵۳	۹/۶۸	۰/۴۵	۲/۱۳	۱۸/۲۷	۱/۷۱	۷/۰۱	۲/۵۲	۹/۵۳
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۷۱	۰/۰۰۰	۰/۷۸	۰/۱۳	۰/۶۴	۰/۰۴

جدول ۳. نتایج تحلیل تشخیص نمونه‌های رسوب زیرحوضه در حوضه آبخیز آشان

ردیاب	Wilks'	Partial	Toler.	1-Toler.	قدرت تفکیک کنندگی %
Ra-226	۰/۰۳	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۳	
Cs-137	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۶۹	
K-40	۰/۰۲	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۴۸	۸۰
Mn	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۳۵	
Ca	۰/۰۲	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۲۶	



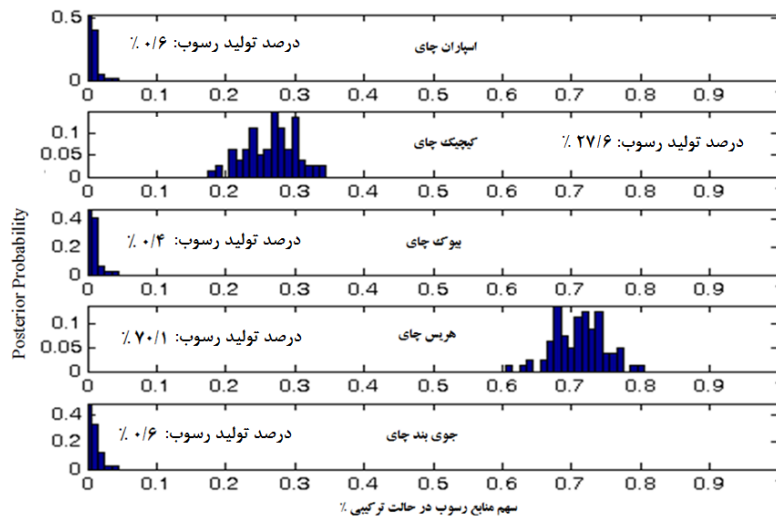
شکل ۳. نمودار پراکنش تابع تحلیل تشخیص براساس ترکیب بهینه ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلوئید

جدول ۴. نتایج آزمون p نمونه‌های رسوب با بارهای عاملی متفاوت در حوضه آبخیز آشان

مرحله	درجه آزادی	کای اسکوئر	ویلکس لامبدا	کانونیکال	بار عاملی	سطح معناداری P
۰	۲۰	۸۳/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۷	۱۴/۸۵	۰/۰۰
۱	۱۲	۳۰/۹۰	۰/۲۰	۰/۸۶	۲/۷۷	۰/۰۰

آشان قرار گرفته است، در سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی واقع شده است. شکل ۵ سهم تولید رسوب براساس سازند را نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده، زیرحوضه هریس چای در داخل سازند پیروکلاستیک و سنگ رسی قرار گرفته است. زیرحوضه‌های موجود در این سازند طبق مشاهدات میدانی بیشترین میزان تولید رسوب را دارند.

شکل ۴ سهم تولید رسوب در زیرحوضه‌های مختلف را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۵، هریس چای با ۷۰/۱ درصد بیشترین سهم تولید رسوب را در حوضه دارد. زیرحوضه کیچیک چای با ۲۷/۶ درصد رتبه دوم در تولید رسوب را دارد. بقیه زیرحوضه‌ها سهم بسیار کمی در تولید رسوب دارند. هریس چای به عنوان زیرحوضه‌ای که در وسط حوضه آبخیز



شکل ۴. تولید رسوب در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز آشان

بحث و نتیجه‌گیری

مطابق اطلاعات به دست آمده، زیرحوضه هریس بیشترین تولید رسوب را دارد. این زیرحوضه در سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی واقع شده است. از سوی دیگر، زیرحوضه هریس‌چای مطابق مشاهدات میدانی رخنمون‌های فرسایشی زیادی دارد و شاید به دلیل فرسایش زیاد بوده است که حوضه زوجی در این زیرحوضه ایجاد و سدهای بتونی درون دره‌ها احداث شده‌اند.

این زیرحوضه با وجود کوچک بودن، تولید رسوب زیادی دارد. این زیرحوضه به اضافه زیرحوضه‌های دیگری مانند ارینکش، تیچان‌دره، اشه‌دره و در نهایت اوزبه‌دره که بررسی مجزای هر یک بحث جداگانه‌ای را می‌طلبد، تأثیر زیادی در تولید رسوب این منطقه دارند. طبق مشاهدات میدانی، این سازند و زیرحوضه‌های موجود در آن بیشترین تولید رسوب را دارد.



شکل ۵. عکس برگرفته از زیرحوضه‌های با تولید رسوب زیاد در حوضه آبخیز آشان (مناطق که منطبق با سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی هستند)

است. رخداد لحظه‌ای بارش سبب ایجاد سیل در زیرحوضه کوچکی به نام اشه شد. مطابق شکل ۵-۳ جریان سیل از زیرحوضه اشه وارد رودخانه صوفی‌چای شده است، در حالی که در رودخانه صوفی‌چای اثری از طغیان دیده نمی‌شود. این امر خود دلیلی بر تولید زیاد رسوب در این

عکس‌های یادشده نشان‌دهنده تولید رسوب در دو زیرحوضه منطبق با سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی هستند. شکل ۵-۱، ۵-۲ و ۵-۳ نشان‌دهنده تولید رسوب از زیرحوضه اشه و ورود این رسوبات به رودخانه اصلی است. این اتفاق در تاریخ ۱۰ مهر ۱۳۹۴ رخ داده

- [6]. Foster I.D.L., Lees J.A. Tracers in geomorphology: theory and applications in tracing fine particulate sediments. In: Foster, I.D.L. (Ed.), Tracers in Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd; 2000.
- [7]. Walling D.E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment*. 2005; 344: 159-184.
- [8]. Oldfield F, Maher B.A., Donaghue J, Pierce J. Particle-size related magnetic source sediment linkages in the Rhode River catchment, Maryland, USA. *J. Geol. Soc.* 1985; 142: 1035-1046.
- [9]. Krein A, Petticrew E, Udelhoven T. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. *Catena*. 2003; 53: 165-179.
- [10]. Klages M.G, Hsieh Y.P. Suspended solids carried by the Gallatin River of Southwestern Montana II: using mineralogy for inferring sources. *J. Environ. Qual.* 1975; 4: 68-73.
- [11]. Wallbrink PJ, Martin CE, Wilson CJ. Quantifying the contributions of sediment, sediment-P and fertiliser-P from forested, cultivated and pasture areas at the land use and catchment scale using fallout radionuclides and geochemistry. *Soil Tillage Res.* 2003; 69: 53-68.
- [12]. Porto P, Walling DE, Callegari G. Using ¹³⁷Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects. *Hydrological Processes*. 2011; 25: 886-900.
- [13]. Theuring P, Rode M, Behrens S, Kirchner G, Jha A. Identification of fluvial sediment sources in the Kharaa River catchment, Northern Mongolia. *Hydrological Processes*. 2013; 27: 845-856.
- [14]. Fangxin C, Fengbao Z, Nufang F, Zhihua S. Sediment source analysis using the fingerprinting method in a small catchment of the Loess Plateau, China. *J. of Soils, Sediments*. 2016; 16: 1655-1669.
- [15]. Nosrati K, Amini M, Haddadchi A, Zare M.R. Determination of contribution in sediment generation using magnetization properties and uncertainty mixing model (case study: Ashan drainage basin, Maragheh county). *J. of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 2017; 78: 141-155. (In Persian)
- [16]. Nosrati K. Ascribing soil erosion of hillslope components to river sediment yield. *J. of environmental management*. 2017; 1(194): 63-72.

زیرحوضه است. شکل‌های ۵-۴ و ۵-۵ نشان‌دهنده تولید زیاد رسوب در این سازند است. مطابق شکل‌های نمایش داده‌شده، سازه‌های آبی سد بتونی و رسوب‌گیر در داخل حوضه هریس نصب شده‌اند تا از انتقال زیاد رسوب به سد علویان جلوگیری شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد زیرحوضه هریس چای با ۷۰ درصد تولید رسوب، بیشترین سهم را در این حوضه دارد. این حوضه روی سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی واقع شده است. همه زیرحوضه‌های موجود در این سازند تولید رسوب زیادی دارند و مشاهدات میدانی صحت نتایج پژوهش را تأیید می‌کنند. ردیاب‌های ژئوشیمیایی و رادیونوکلئید با قدرت تفکیک ۸۰ درصد توانستند زیرحوضه‌ها را از هم تفکیک کنند و این امر بیان‌کننده قدرت این ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب است و پیشنهاد می‌شود از این ردیاب‌ها به عنوان ردیاب‌های بهینه بیشتر استفاده شود. با توجه به حجم زیاد تولید رسوب بر اثر رخداد بارش‌های ناگهانی نظیر بارش ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ و پرشدن سد علویان (در خروجی حوضه آبخیز آشان) از آن، به مسئولان پیشنهاد می‌شود برنامه‌های حفاظت خاک را روی سازند پیروکلاستیک و سنگ‌های رسی متمرکز کنند.

منابع

- [1]. Morgan R.P.C. Soil and Water Conservation. Blackwell, 3rd edition. 2005.
- [2]. Nosrati K, Feiznia S, Van Den Eeckhaut M, Duiker S.W. Assessment of soil erodibility in Taleghan Drainage Basin Iran, using multivariate statistics. *Physical Geography*. 2011; 32: 78-96.
- [3]. Hakimkhani Sh. An investigation on using tracers in fluvial fine sediment sources fingerprinting (case study: the basin of Pouldasht flood spreading system, Makoo township). PhD thesis. University of Tehran. 2006.
- [4]. Gruszowski K.E. Foster I.D.L. Lees J.A. Charlesworth S.M. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes*. 2003; 17(13): 2665-2681.
- [5]. Maher BA, Watkins SJ, Brunskill G, Alexander J, Fielding CR. Sediment provenance in a tropical fluvial and marine context by magnetic 'fingerprinting' of transportable sand fractions. *Sedimentology*. 2009; 56: 841-861.

- [17]. Kachanoski R.G, Dejong E. Predicting the temporal relationship between soil Cs-137 and erosion rate. J. Environ. Qual. 1984; 13(2): 301-304.
- [18]. www.Ocean.Stanford.edu.ir.
- [19]. Haddadchi A, Ryder D.S, Evrard O, Olley J. Sediment fingerprinting in fluvial systems: review of tracers, sediment sources and mixing models. International Journal of Sediment Research. 2013; 28(4): 560-578.
- [20]. SPSS, IBM. SPSS Base 14.0 user's guide. Prentice Hall. 2005.
- [21]. Nosrati K. Sediment fingerprinting based on uncertainty estimation. Water research of Iran. 2011; 9: 51-60. (In Persian)