

تعیین سهم واحدهای سنگ شناسی و محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در تولید رسوب با استفاده از روش منشایی رسوب (حوضه آبخیز تالار استان مازندران)

نقیسه اشتری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
کاظم نصرتی* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
سلما امی - استادیار گروه برنامه ریزی و طراحی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲

چکیده

یکی از مشکلات اساسی حوضه‌های آبخیز مسئله فرسایش و تولید رسوب است. عدم مدیریت صحیح در این زمینه می‌تواند خطرات زیست محیطی و حتی تهدیدی برای حیات انسانی باشد. هدف از این مطالعه منشایی منابع تولید رسوب در زیر حوضه‌های ۱ و ۲ حوضه آبخیز تالار در استان مازندران است. بدین منظور ۱۴۰ نمونه خاک در دو رویکرد، ۷۷ نمونه در زیر حوضه ۱ و ۶۳ نمونه در زیر حوضه ۲ از واحدهای سنگ‌شناسی و ۲۰ نمونه رسوبات تازه ته‌نشین شده در خروجی زیر حوضه‌ها برداشت و ۲۸ عنصر ژئوشیمیایی به عنوان ردیاب در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از آزمون کرومکال والیس و تحلیل تشخیصی تر کیب بهینه ردیاب‌ها مشخص گردید. بیشترین سهم نسبی تولید رسوب بر اساس مدل غیر ترکیبی بیسین در رویکرد اول (زیر حوضه ۱ واحد ماسه سنگ و کنگلومرا با ۵۹/۱٪، زیر حوضه ۲ واحد مارن و شیل با ۴۷/۲٪)، در رویکرد دوم (زیر حوضه ۱ محدوده بیشینه شتاب زمین در سطح $g(0/6 - 0/51)$ با ۵۰/۳٪ و زیر حوضه ۲ واحد کانال رودخانه با ۶۴/۶٪) است. نتایج این مطالعه نشان داد که محدوده‌های بیشینه شتاب زمین تاثیر مستقیمی بر کنترل سایر فرایندهای تولید رسوب همچون هوازدگی و تضعیف سنگ‌ها دارد. همچنین تقسیم‌بندی گروه‌های سنگ‌شناسی به عنوان منابع تولید رسوب بر اساس محدوده‌های بیشینه شتاب زمین که تاثیر زیادی بر تولید رسوب دارند به عنوان یک رویکرد جدید می‌تواند کمک شایانی به درک فرایندهای تولید رسوب داشته باشد.

واژگان کلیدی: منشایی رسوب، بیشینه شتاب زمین، حوضه تالار، مدل غیر ترکیبی بیسین.

مقدمه

فرسایش خاک یک موضوع جهانی است که سبب تخریب محیط زیست می شود (آلیو و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۷۴). رسوبدهی حوضه‌ها ناشی از فرسایش خاک اثرات منفی بسیاری را به دنبال دارد که به شدت حیات انسانی و جانوری را تحت تأثیر خود قرار می دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸، ۲۰۲۴). عرضه بیش از حد رسوبات ریزدانه حاصل از فرسایش خاک باعث، شستشوی مواد رویی خاک، تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری خاک کاهش کیفیت آب و خاک حمل و نقل رسوب و مواد شیمیایی مرتبط با آن، افزایش مواد زائد در آب، تهدید اکوسیستم و رسوب گذاری در کانال ها و مخازن می گردند (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۷، ۱ اونز^۱ و همکاران، ۲۰۰۵، ۷۰۴ زالو^۲ و همکاران ۲۰۱۹، ۳۹) و در اغلب موارد سبب تخریب محیط زیست رودخانه و حوضه آبخیز می شوند (والینگ^۳ و کالینز، ۲۰۰۸)

یکی از عواملی که باعث افزایش رسوب می شود فعالیت های لرزه خیزی و شاخص بیشینه شتاب زمین است (ونمارک^۴ و همکاران، ۲۰۱۴، ۱). شاخص بیشینه شتاب زمین به شدت به فراوانی زمین لرزه های بزرگ و کوچک بستگی دارد و اندازه گیری درستی از وضعیت لرزه خیزی یک منطقه را ارائه می دهد (ونمارک و همکاران، ۲۰۱۴، ۴). از جمله نتایج فعالیت های لرزه خیزی در سنگ ها افزایش میزان هوازدهی و حساسیت به فرسایش است (کنز^۵ و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۶۸ پرتنگا و بیرمان^۶، ۲۰۱۱، ۵) شناسایی مناطق بحرانی حوضه آبخیز در شاخص بیشینه شتاب زمین و نقش این مناطق در تولید رسوب و فرسایش خاک یکی از مباحثی است که کمتر مورد توجه محققان بوده است. با توجه به افزایش فرسایش خاک و تولید رسوب، آگاهی از سهم نسبی منابع فرسایش خاک و تولید رسوب یکی از نیازهای ضروری در مدیریت حوضه های آبخیز ایران برای انتخاب روش حفاظت خاک و کنترل رسوب به شمار می رود (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۸، ۳۸۰). روش های متعددی در تعیین و شناسایی منابع رسوب و سهم آن ها وجود دارد. روش منشأیابی یا ردیابی رسوب به عنوان روشی با دقت مناسب و کارایی بالا مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است (کالینز و والینگ، ۲۰۰۴، ۱۵۹ و کالینز و همکاران، ۱۹۹۷، ۵۰۹). در این روش، از ویژگی های مختلف فیزیکی، شیمیایی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع آن و همچنین تکنیک های آماری چند متغیره و مدل های ترکیبی و غیر ترکیبی در تعیین سهم نسبی هر منبع استفاده می شود (نصرتی، ۱۳۹۰، ۵۲). ردیاب ها عموماً ویژگی های آلی و یا معدنی خاک هستند که تفاوت های منابع رسوب را مشخص می نمایند (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۱، ۲۲۸). به طور کلی براساس نوع و تعداد منابع رسوب و ویژگی های حوضه آبخیز، ردیاب باید توانایی تفکیک منابع رسوب را داشته باشد (فوستر و لیز^۷، ۲۰۰۰، ۳). در استفاده از تکنیک منشأیابی رسوب انتخاب منابع رسوب و طبقه بندی، بر اساس کاربری اراضی (فوکس و پاپانیکلاو^۸، ۲۰۰۸)، زمین شناسی (بالانتین^۹ و همکاران، ۲۰۰۹)، زیر حوضه ها (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۸)، رسوبدهی سطحی و زیرسطحی (کالینز و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۰۰۹) و همکاران^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۳)، کاربری و فرسایشی (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۱) و یا ترکیبی از این موارد است.

مطالعات متعددی در سراسر دنیا طیف وسیعی از خصوصیات ردیاب ها مانند ژئوشیمیایی (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۴ پولی و همکاران، ۲۰۱۵)، آنزیم خاک (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۱)، ایزوتوپ پایدار (فوکس و پاپانیکلاو، ۲۰۰۸)، اندازه ذرات (بالانتین و همکاران، ۲۰۰۹) والینگ و همکاران، ۲۰۰۰) را مورد بررسی قرار داده اند. پژوهش های بسیاری در مورد استفاده

1. Owens

2. Zhou

3. Walling and Collins

4. Vanmaercke

5. Koons

6. Portenga and Bierman

7. Foster and Lees

8. Fox and Papanicolaou

9. Ballantine

10. Gruszowski

از تکنیک منشایابی رسوب برای تعیین سهم نسبی منابع رسوب در دنیا انجام شده است از جمله، کالینز و همکاران ۱۹۹۷ تکنیک منشایابی رسوب را بر اساس مدل‌های ترکیبی چند متغیره در دو حوضه دارت^۱ و پلینلیمون^۲ انگلستان به کار بردند. نتایج نشان داد به طور کلی فرسایش سطحی از زمین‌های مرتع در هر دو حوضه اهمیت داشت، اما اثرات کشاورزی بهار و پاییز در حوضه دارت و فعالیت جنگلی پاییز و زمستان حوضه پلینلیمون بسیار مشهود بوده است. حدادچی و همکاران ۲۰۱۴ تکنیک منشایابی رسوب را به منظور برآورد سهم نسبی منابع رسوب در تولید رسوب در حوضه آبخیز طالقانی خرم‌آباد به کار گرفتند. در این مطالعه نمونه‌های رسوب شامل رسوبات کف بستر و رسوبات معلق بود که در پایان نتایج نشان داد کنار رودخانه بیشترین سهم را در تولید رسوب حوضه دارد و نمونه‌های معلق نشان داد زمین‌های کشاورزی بیشترین سهم را در تولید رسوب حوضه دارد. تیچر^۳ و همکاران ۲۰۱۷ مدل منشایابی رسوب را با استفاده از عناصر ژئوشیمیایی به منظور تعیین سهم منابع رسوب مرتع، جاده و کنار آبراهه در حوضه‌ای در جنوب برزیل مورد استفاده قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، کناره آبراهه با ۴۹ درصد بیشترین سهم را در تولید رسوب منطقه دارد. نصرتی و کالینز ۲۰۱۹ به منظور تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب در حوضه کوهسار واقع در شمال تهران منشایابی رسوب را با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره به کار گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد جاده‌های تفریحی سهم قابل توجهی در تولید رسوب منطقه دارد. صمدی ارقینی و همکاران، ۱۳۹۳ سهم واحدهای زمین‌شناسی را در تولید رسوب حوضه آبخیز حسن ابدال زنجان بررسی و به این نتیجه رسیدند سازند زاگون شیل میکایی صورتی تا قرمز با ۴۴/۶۲ درصد بیشترین سهم را در فرسایش و تولید رسوب بر عهده داشته‌اند. فتحی‌زاد و همکاران ۱۳۹۵ به بررسی نقش حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی در فرسایش و تولید رسوب زیرحوضه‌های رودخانه دویرج استان ایلام پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که حساسیت واحدهای زمین‌شناسی به فرسایش نقش به‌سزایی در تولید رسوب دارد. محمدی و همکاران ۱۳۹۹ به کمی‌سازی سهم منابع رسوب در طول رخداد سیلاب با استفاده از تکنیک منشایابی پرداختند. نتایج نشان داد منابع رسوب کاربری سطحی و زیرسطحی سهم یکسانی در تأمین رسوبات معلق در طول رخداد سیلاب حوضه کمیش دارند. آنچه مسلم است بیشتر مطالعات منشایابی در سطح ایران و جهان نمونه‌برداری از منابع رسوب بر اساس مناطق فرسایش‌پذیر و واحدهای کاربری و زمین‌شناسی انجام گرفته است و مطالعه‌ای که مبتنی بر نمونه‌برداری از واحدهای بیشینه شتاب زمین که نقش اساسی در تولید رسوب دارد، انجام نشده است. بر این اساس در این پژوهش سعی شده است تا با رویکرد نمونه‌برداری از مناطق بیشینه شتاب زمین و واحدهای سنگ‌شناسی به منظور بررسی تاثیر فعالیت‌های لرزه‌خیزی در تولید رسوب هر یک از منابع رسوب، این مهم تحقق یابد. بنابراین هدف از این پژوهش منشایابی رسوبی با استفاده از مدل عدم قطعیت بیسین و تعیین سهم واحدهای فرسایش سطحی و زیرسطحی و واحدهای بیشینه شتاب زمین در تولید رسوب در حوضه آبخیز تالار استان مازندران می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز تالار در واحد البرز مرکزی و در دو طرف محور قائمشهر-تهران واقع گردیده است؛ و وسعت آن ۲۱۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد. از نظر مختصات حوضه آبخیز تالار بین طول شرقی $۲۲^{\circ} ۳۵' ۵۲''$ الی $۳۴^{\circ} ۲۳' ۵۳''$ و عرض شمالی $۳۳^{\circ} ۴۴' ۳۵''$ الی $۳۶^{\circ} ۱۹' ۱''$ واقع شده است و توسط یک رودخانه اصلی به نام تالار که امتداد جنوب به شمال دارد، زهکشی می‌گردد (شکل ۱). آبراهه اصلی ۱۰۰ کیلومتر طول دارد و حداقل شیب خالص آبراهه‌ای حوضه $۱/۷\%$ و حداکثر آن $۱۸/۳\%$ است. زهکشی محلی، غالباً دارای الگوی آبراهه‌ای شاخه درختی، موازی و ندرتا انشعابی است و آخرین رده آبراهه آن به

¹. Dart

². Plynlimon

³. Tiecher

رتبه ۷ ختم می‌شود. از دیگر سرشاخه‌های مهم آن می‌توان به رودخانه‌های سرخ‌آباد در زیر حوضه ۱، شش‌رودبار در زیر حوضه ۲ و کسلیان در زیر حوضه ۳ مطابق (شکل ۱) اشاره کرد. کمینه و بیشینه ارتفاع به ترتیب ۲۱۵ متر و ۳۹۱۰ متر و شیب متوسط حوضه ۲۰ درجه است.

از شهرها و روستاهای مهم درون حوضه می‌توان به پل سفید، آلاشت، دوآب و زیرآب، اشاره نمود. مساحت کاربری‌های اصلی در حوضه تالار شامل زمین‌های کشاورزی و باغات (۸/۸ کیلومتر مربع، % ۳/۹)، مراتع (۹/۷۳۰ کیلومتر مربع، % ۳۴/۷)، جنگل‌ها (۵/۱۲۸۰ کیلومتر مربع، % ۶۰/۸) و مناطق مسکونی (۸/۱۲ کیلومتر مربع، % ۰/۶) است.

از جمله سازندهای زمین‌شناسی غالب در منطقه سازند شمشک، الیکا، کرج، تیزکوه، باروت، قرمز بالایی و لار است جدول ۱. منطقه مورد مطالعه عموماً در جهت تاثیر گسل‌های بزرگ البرز و فیروزکوه، IRQ¹ 112، IRQ357 قرار گرفته‌است که در حقیقت کنترل‌کننده اصلی فعالیت‌های زمین‌ساختی در این ناحیه هستند. خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی به روش تاکسونومی عمدتاً مالی سل - انتی سل - آلفی سل و اینسپتی سل است. (مطالعات تخصصی حوضه آبخیز تالار، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور).

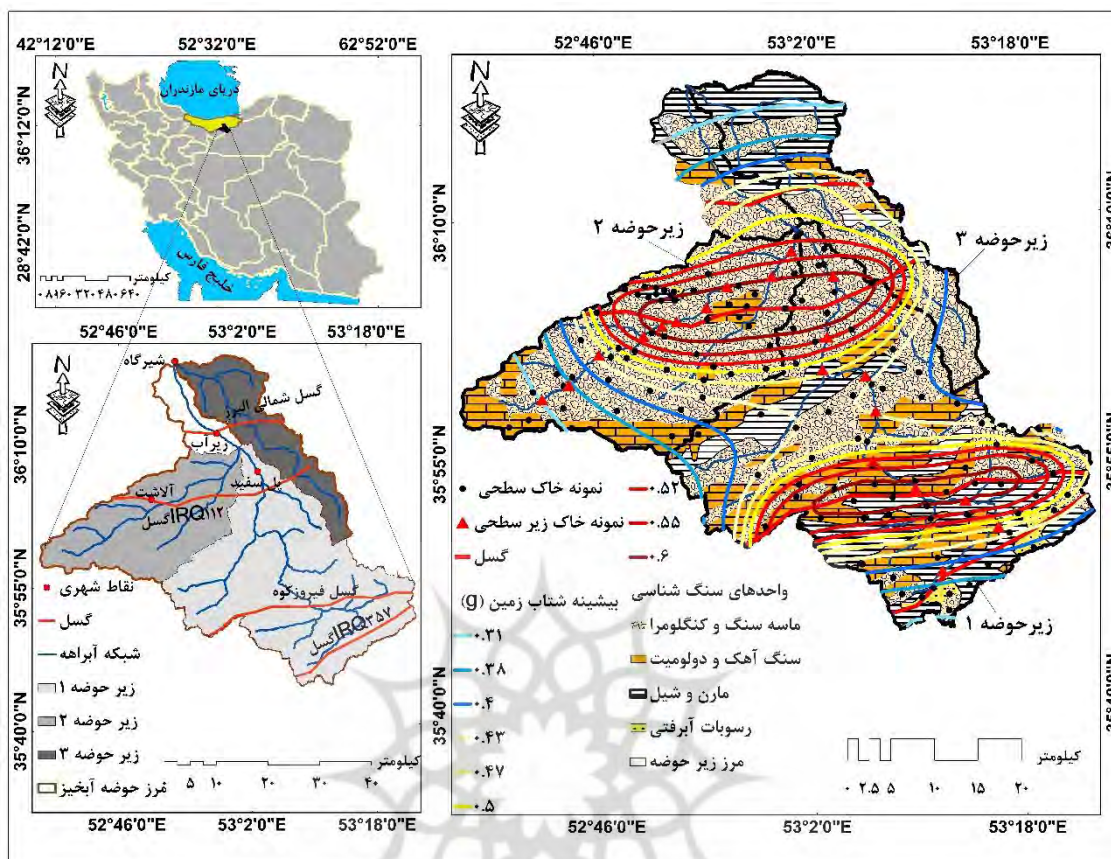
میانگین بارندگی سالانه در بلندمدت بر اساس گزارش ۵۰ ساله (۲۰۲۰ - ۱۹۷۰) ۱۰۵۶ میلی‌متر و بیشترین میزان بارش در مهر ماه که مرطوب‌ترین ماه سال است، رخ می‌دهد. رژیم بارش منطقه مورد مطالعه مدیترانه‌ای است. متوسط دبی سالانه بر اساس گزارش ۵۰ ساله (۲۰۲۰ - ۱۹۷۰) از ایستگاه هیدرومتری شیرگاه در خروجی حوضه آبریز، ۹/۳ متر مکعب بر ثانیه است. میانگین دمای سالانه بر اساس گزارش ۵۰ ساله ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد است. میانگین خروجی رسوب معلق سالانه بر اساس گزارش ۵۰ ساله، ۱۵۵۴۷ تن در سال برآورد شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران).

جدول ۱: مشخصات سازندها و واحدهای سنگی در حوضه آبخیز تالار

نام سازند	علامت اختصاری	جنس سازند
شمشک	J _s	ماسه سنگ، شیل، مارن، لایه‌های زغال
الیکا	TR _e ³	سنگ آهک دولومیتی
کرج	E _K	مواد آذرآواری زیر دریایی، مواد رسوبی مانند شیل و آهک
لار	J _l	سنگ آهک به رنگ خاکستری روشن با لایه بندی خوب تا توده‌ای در بعضی بخش‌ها چرت و دولومیت
تیزکوه	K _t	سنگ آهک اوربیتولین دار خاکستری لایه بندی نامنظم
قرمز بالایی	M _u ^c	کنگلومر، ماسه سنگ
رسوبات آبرفتی	Q ^t	نهمشته و پادگانه‌های آبرفتی
باروت	C _{bt}	تناوبی از شیل قرمز و دولومیت
واحد مارن	K ^{ml}	مارن، مارن سیلتی، سنگ آهک مارنی
واحد کنگلومرا	PL ^c	کنگلومر با افق‌های ماسه‌ای به ندرت مارن سیلتی

(مطالعات تخصصی حوضه آبخیز تالار، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور)

۱. مخفف کلمه IRAN Quaternary است گسل‌های ذکر شده در گروه گسل‌های فعال هستند اما به دلیل بی‌نام بودن با عنوان ذکر شده در اطلاعات گسل‌های فعال ایران شماره گذاری شده اند.



شکل ۱: موقعیت حوضه تالار و نقاط نمونه‌برداری در واحدهای سنگ‌شناسی و محدوده‌های بیشینه شتاب زمین

روش پژوهش

نمونه‌برداری از رسوب هدف، منابع رسوب و آنالیزهای آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از رسوب هدف بدین شکل انجام شد که در هریک از خروجی زیرحوضه‌ها ۱۰ نمونه اصلی از رسوبات تازه ته‌نشین شده در فواصل ۱۰۰ متر از خروجی زیر حوضه به سمت بالادست رودخانه برداشت شد. هر نمونه ترکیبی از ۱۰ زیر نمونه است که در فواصل ۱۰ متر از یکدیگر برداشت شده است. نمونه‌برداری از منابع رسوب (خاک سطحی) از عمق ۰-۵ سانتی‌متری براساس ۴ واحد زمین‌شناسی غالب در حوضه تالار بر اساس جنس سنگ و بیشترین مساحت انجام شد. به منظور اینکه نمونه‌ها معرف کاملی از نقطه نمونه‌برداری شده باشد، در هر نقطه ۱۰ نمونه در شعاع ۱۰۰ متری نیز برداشت شد و پس از ترکیب ۱ کیلوگرم از آن نمونه، جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری از کانال رودخانه (خاک زیر سطحی) در قسمت‌هایی که کانال رودخانه دچار فرسایش شده است انجام شد هر نمونه ترکیبی از ۵ زیر نمونه است و به جهت اینکه نماینده کاملی از فرسایش زیر سطحی باشد از دیواره‌های کانال در عمق ۰-۳ سانتی‌متری برداشت گردید (شکل ۱). لازم به ذکر است که در نتایج مطالعه اشتری و همکاران، ۲۰۲۳، مشخص شد که زیر حوضه ۳ حوضه تالار، به دلیل نقش بسیار کمی که در تولید رسوب حوضه تالار داشته است، بنابراین در نمونه‌برداری از منابع رسوب در خاک سطحی و زیر سطحی این زیر حوضه لحاظ نگردیده است؛ در مطالعه حاضر همچنین، محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در سطوح g (۰/۳-۰/۴)، g (۰/۴۱-۰/۵) و g (۰/۵۱-۰/۶) که در مطالعه اشتری و همکاران ۲۰۲۳، برای حوضه تالار طبق روش تحلیل خطر احتمالی

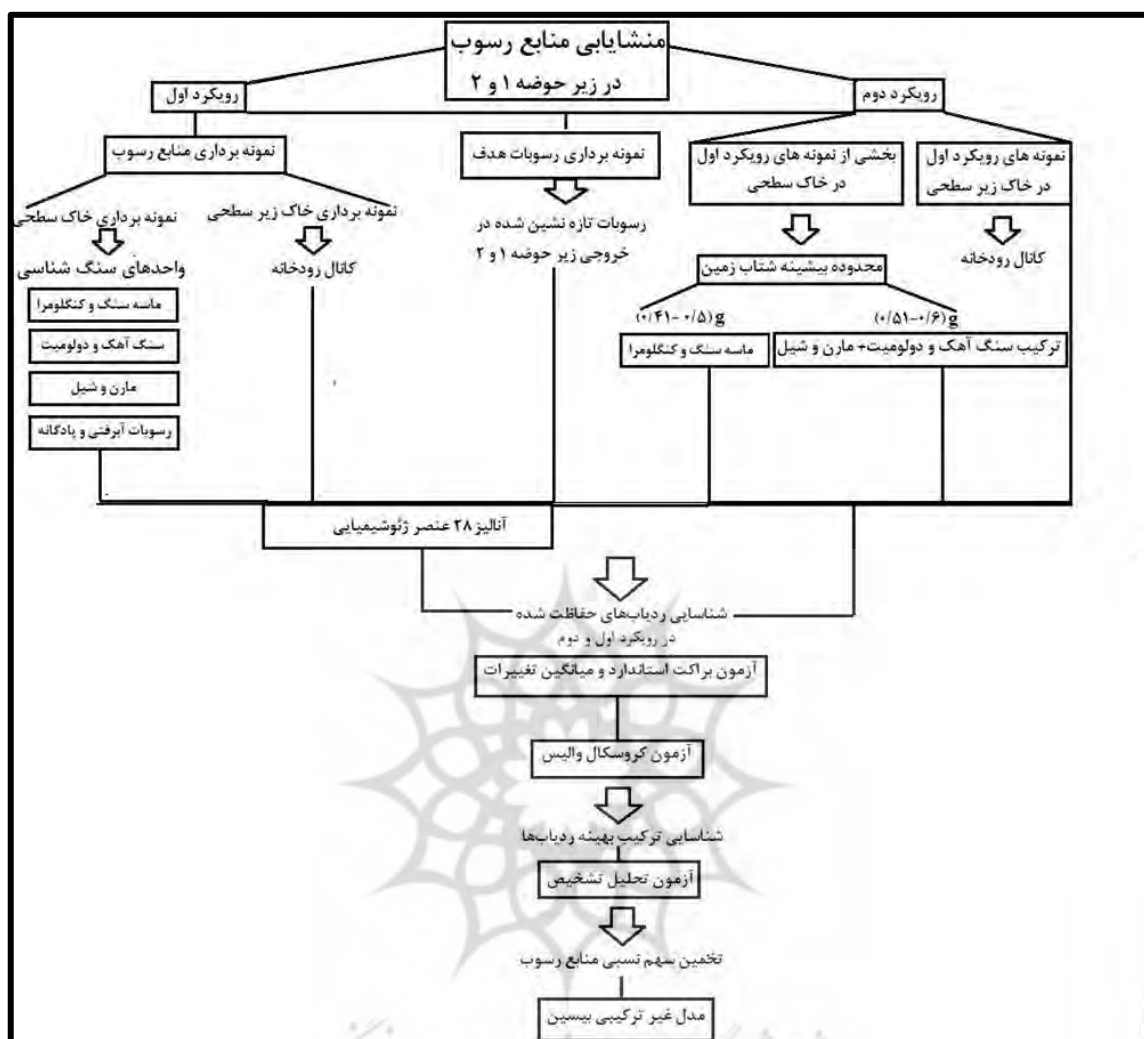
لرزه‌ای^۱ تخمین زده شد، مورد استفاده قرار گرفت و سعی شد در نمونه‌برداری از خاک سطحی و زیر سطحی در هر دو رویکرد، مناطق بالای بیشینه شتاب زمین نیز مورد توجه قرار گیرد. بدین ترتیب بر اساس مساحت وزنی هر واحد، واحدهای با مساحت بیشتر تعداد نمونه بیشتر و بالعکس (حدوداً در هر کیلومتر مربع یک نمونه و در هر منبع رسوب حداقل ده نمونه با پراکندگی مناسب باشد) و سطوح بالای بیشینه شتاب زمین g (۰/۴۱-۰/۵) و g (۰/۵۱-۰/۶) و امکان پیاده سازی فرض‌های آماری تعداد نمونه‌ها در زیر حوضه‌های ۱ و ۲ در دو رویکرد آماده‌سازی شد. (شکل ۲) حاوی فرآیند روش پژوهش است.

بیشینه شتاب زمین برابر با حداکثر شتاب زمینی است که در هنگام لرزش زمین لرزه در یک مکان رخ داده است و برابر است با دامنه بزرگترین شتاب مطلق ثبت شده در یک شتابنگار در یک مکان در طول یک زلزله خاص. (داگلاس^۲، ۲۰۰۳ : ۵) با توجه به مقادیر بیشینه شتاب در منطقه مورد مطالعه سطح بیشینه شتاب زمین g (۰/۴۱-۰/۵) در شدت متوسط و g (۰/۵۱-۰/۶) در شدت زیاد قرار دارد (اشتری و همکاران، ۲۰۲۳ : ۷). شایان ذکر است، به دلایلی چون میزان شتاب کم در سطح g (۰/۳-۰/۴)، نمونه‌های خاک سطحی برداشت شده‌ای که در این محدوده قرار دارند و همچنین تعداد کم این نمونه‌ها که کمتر از ۱۰ نمونه است، در هر دو زیر حوضه سطح g (۰/۳-۰/۴) در رویکرد دوم حذف گردید. در رویکرد اول در هر دو زیر حوضه شامل نمونه‌های خاک سطحی در ۴ سطح به ترتیب ماسه سنگ و کنگلومرا، سنگ آهک و دولومیت، مارن و شیل و رسوبات آبرفتی و پادگانه‌های کواترنری و نمونه‌های خاک زیرسطحی کانال رودخانه است. رویکرد دوم نیز شامل نمونه‌های خاک سطحی (اهمیت زمین‌شناسی غالب از نظر مساحت و فرسایش‌پذیری جدول ۲) در دو سطح بالای بیشینه شتاب زمین به ترتیب g (۰/۴۱-۰/۵) و g (۰/۵۱-۰/۶) و نمونه‌های خاک زیر سطحی کانال رودخانه است. در جدول ۱ وزن‌ها از کم به زیاد نشان‌دهنده حساسیت بیشتر واحدها به فرسایش است که گروه سنگ آهک و دولومیت کمترین و گروه مارن و شیل بیشترین میزان حساسیت به فرسایش را طبق نمرات ارائه شده به خود اختصاص دادند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

^۱ . Probabilistic seismic hazard assessment

^۲ . Douglas



شکل ۲: فرایند روش پژوهش

جدول ۲: وزن های حساسیت به فرسایش در هر یک از واحدهای زمین شناسی حوضه آبخیز تالار

وزن	نام واحد سنگ شناسی
۷/۵	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱/۵	سنگ آهک و دولومیت
۹	مارن و شیل
۱۲/۵	رسوبات آبرفتی

(مطالعات تخصصی حوضه آبخیز تالار، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور)

به منظور برقراری پیش فرض‌های هر یک از آزمون‌هایی که در مراحل بعد بر روی نمونه‌ها صورت گرفته است، در تقسیم‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی در محدوده‌های بالای پیشینه شتاب زمین ۳ عامل در نظر گرفته شد. عامل اول: واحدهای غیر مشترک سنگ‌شناسی در تقسیم‌بندی در نظر گرفته شده است زیرا وجود واحدهای مشترک سطح معنی‌داری

۱. به دلیل بازدیدهای میدانی که از واحدهای رسوبات آبرفتی انجام پذیرفت و همچنین شیب کم در این واحدها وزن رسوبات آبرفتی کمتر از سایر واحدها در نظر گرفته شده است.

را در آزمون‌ها بیشتر از ۰/۰۵ می‌کند. عامل دوم: واحدهایی در نظر گرفته شد که امکان مقایسه را در هر دو زیرحوضه در رویکرد دوم را فراهم کند و عامل سوم: مساحت هر یک از واحدهای انتخاب شده با برقراری ۲ عامل قبلی برای تعیین نمونه‌ها در هر یک از محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در نظر گرفته شد. بدین منظور از آنجایی که واحد ماسه سنگ و کنگلومرا در هر دو زیرحوضه و در محدوده بیشینه شتاب زمین g (۰/۴۱-۰/۵) بیشترین مساحت را دارد در گروه اول از رویکرد دوم انتخاب گردید. در محدوده بیشینه شتاب زمین g (۰/۵۱-۰/۶) در زیرحوضه ۱ سطوح گسترده واحدهای سنگ آهک و دولومیت، مارن و شیل واقع هستند که در جهت برقراری مقایسه، واحدهای ذکر شده نیز در زیرحوضه ۲ در گروه دوم از رویکرد دوم انتخاب گردیدند.

تعداد نمونه‌های رویکرد اول در خاک سطحی به ترتیب واحدهای سنگ‌شناسی ذکر شده در زیرحوضه ۱ (۲۶)، (۱۷)، (۱۴) و (۱۰) و در خاک زیرسطحی (۱۰) و در زیر حوضه ۲ نیز به ترتیب (۲۰)، (۱۳)، (۱۰) و (۱۰) و در خاک زیرسطحی (۱۰) است. تعداد نمونه‌ها در رویکرد دوم در خاک سطحی از میان نمونه‌های برداشت شده در واحدهای سنگ‌شناسی به ترتیب سطوح بیشینه شتاب زمین ذکر شده در زیرحوضه ۱ (۱۴) و (۲۳) و در خاک زیرسطحی (۱۰) و در زیرحوضه ۲ (۱۰) و (۱۳) و در خاک زیرسطحی (۱۰) انتخاب گردید.

قبل از اندازه‌گیری عناصر ژئوشیمیایی تمامی نمونه‌ها، ابتدا در هوای آزاد خشک شده و سپس به منظور مقایسه بهتر و حذف تاثیر سایر اندازه ذرات، اندازه مش الک شده بر اساس اندازه ذرات غالب در نمونه‌های رسوب انتخاب شد تا اطمینان حاصل شود که نمونه‌های منبع و رسوب با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی به طور مستقیم قابل مقایسه هستند. (پولی و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۰۶) الک خشک نشان داد که اندازه ذرات، در بخش کمتر از ۶۳ میکرون (۵۱/۷ درصد از جرم کل نمونه)، ۱۲۵-۶۳ میکرون (۳۱/۹۶ درصد)، ۲۵۰-۱۲۵ میکرون (۱۵/۶۲ درصد)، ۵۰۰-۲۵۰ میکرون (۰/۳۰ درصد) و ۱۰۰۰-۵۰۰ میکرون (۰/۴۲ درصد) است بر این اساس، اندازه ذرات غالب در بخش زیر ۶۳ میکرون انتخاب شد و سپس همه نمونه‌ها در الک زیر ۶۳ میکرون آماده شدند.

به منظور تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی ۰/۲۵ گرم از هر نمونه خاک سطحی و زیر سطحی و رسوبات تازه ته نشین شده در خروجی هر زیرحوضه به روش اکورجیا^۱ (نسبت ۱:۳ اسید نیتریک به اسید هیدروکلریک) هضم شد و سپس خوانش با به کارگیری دستگاه (طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی^۲) در (آزمایشگاه زر آزما) انجام شد. در نهایت ۲۸ عنصر ژئوشیمیایی (Pb- P- Ni- Na- Mn- Mg- Li- La- K- Fe - Cu - Cr - Co- Ce- Ca- Be- Ba- As-Al) در تمامی نمونه‌ها در اندازه زیر ۶۳ میکرون اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که خطا برای هر عنصر کمتر از ۵ درصد است؛ و غلظت‌های گزارش شده به میلیگرم در هر کیلوگرم است. پس از آماده‌سازی نتایج آزمایشگاهی انواع آزمون‌های تایید ردیاب‌های حفاظت شده بر روی ردیاب‌های اندازه‌گیری شده در گروه‌های منبع و رسوب هدف (خروجی زیر حوضه ۱ و ۲) انجام شد.

آزمون‌های آماری و شناسایی ترکیب بهینه ردیاب

ردیاب‌های رسوبی در طول مسیر انتقال رسوب در حوضه باید رفتار محافظه‌کارانه‌ای^۳ داشته باشند (لامبا^۴ و همکاران، ۲۰۱۵، ۲۷). به منظور شناسایی ردیاب‌های غیرمحافظه‌کارانه^۵ غلظت ردیاب‌ها در نمونه‌های رسوب هدف از خروجی اصلی

1. Aqua regia

2. Inductively Coupled Plasma mass (ICP-MS)

3. Conservative

4. Lamba

5. Non-Conservative

با دامنه آن در نمونه‌های زیرحوضه‌ها توسط آزمون براکت استاندارد^۱ مقایسه شد (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۹، ۴). ردیاب‌های نمونه‌های رسوب هدفی که در دامنه نمونه‌های رسوب زیرحوضه‌ها قرار نگرفتند از آزمون براکت استاندارد حذف شدند (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۸، ۳۵). بعد از تعیین ردیاب‌های محافظه‌کارانه و حذف ردیاب‌های غیر محافظه‌کارانه از ۲ روش آماری برای شناسایی ترکیب بهینه ردیاب برای تمایز منابع رسوبی ۲ زیر حوضه استفاده شد. (۱) آزمون کروسکال والیس^۲ (۲) آزمون تحلیل تشخیص^۳. آزمون کروسکال والیس بیش از دو گروه را با هم مقایسه می‌کند و این فرضیه صفر را آزمایش می‌کند که گروه‌های مختلف در مقایسه از یک توزیع با میانگین برابر تشکیل شده‌اند (کالینز و والینگ، ۲۰۰۲، ۲۲۴). بنابراین، آزمون کروسکال والیس هر ردیابی را که اختلاف معنی‌داری در غلظت حداقل دو منبع رسوب را نشان ندهد، حذف می‌کند (پولی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵، ۳۰۷). ردیاب‌های تایید شده در آزمون کروسکال والیس برای مشخص کردن بیشترین تبعیض بین منابع رسوب و در نهایت تعیین ترکیب بهینه ردیاب وارد آزمون تحلیل تشخیص می‌شوند (اورارد^۵ و همکاران، ۲۰۱۱، ۱۰۷۷). توان تفکیک ضعیف مقادیر نزدیک به ۱ و توان تفکیک بالا مقادیر نزدیک به صفر هستند که در ارزش ویلکس لامبدا مشخص شده است (هوقس^۶ و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۶۶). تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از STATISTICA V.8.0 (StatSoft 2008) انجام شد.

روش تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب

در این مطالعه برای تعیین سهم نسبی رسوب از مدل غیر ترکیبی بیسین (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۴، ۱۷۵) برای تعیین سهم نسبی رسوبات و تخمین عدم قطعیت آن‌ها، استفاده شد. مدل بیسین به شرح زیر می‌باشد:

در این مدل، توابع احتمال سهم نسبی برای هر منبع رسوب f_i در منابع رسوب i در تمام نمونه‌های رسوب برداشت شده در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ 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 بدست آمد.

$$P(f_q | \text{data}) = \frac{L(\text{data} | f_q) \times p(f_q)}{\sum L(\text{data} | f_q) \times p(f_q)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

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 ژئوشیمیایی منابع رسوب در زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه به عنوان رسوب هدف با تعداد ۷۷ نمونه رسوب در زیر حوضه ۱، ۶۳ نمونه در زیر حوضه ۲ در رویکرد اول و ۴۷ نمونه در زیر حوضه ۱ و ۳۳ نمونه در زیر حوضه ۲ در رویکرد دوم قرار داده شده است. از فرض‌های اولیه این مدل توزیع نرمال آن است؛ به عبارت دیگر فرض می‌شود توزیع داده‌ها نرمال است. برای بدست آوردن عدم قطعیت در منابع رسوب، میانگین و واریانس ردیاب‌ها در منابع تعریف می‌شوند و توزیع پیشنهادی برای محاسبه احتمال اولیه و پسین بر اساس 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، ۳، ۴)

6. Standard bracket

1. Kruskal-Wallis H-test

2. Discriminant function analysis (DFA)

3. Pulley

4. Evrard

5. Hughes

$$\hat{\mu}_j = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i \times m_{j_{Source_i}})}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\hat{\sigma}_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i^2 \times S_{j_{Source_i}}^2)}{\sum_{i=1}^n f_i}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$L(x | \hat{\mu}_j, \hat{\sigma}_j) = \prod_{k=1}^n \prod_{j=1}^n \left[\frac{1}{\hat{\sigma}_j \times \sqrt{2} \times \pi} \times \exp\left(\frac{-(x_{kj} - \hat{\mu}_j)^2}{2 \times \hat{\sigma}_j^2}\right) \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن X_{kj} مشخصات k ام نمونه رسوب است. درست‌نمایی سهم نسبی منابع رسوب f_j براساس اطلاعات اولیه نمونه‌های رسوب با استفاده از ضرایب آلفا و بتا برای هر کدام از منابع رسوب براساس تابع توزیع بتا محاسبه می‌شود. 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. با توجه به اینکه از خروجی زیر حوضه ۱ و ۲ هر یک ۱۰ نمونه رسوب تازه ته نشین شده برداشت شده بود مدل عدم قطعیت بیسین بوسیله برنامه Simulink در برنامه Matlab اجرا شد و سهم نسبی رسوبات در هر زیرحوضه درصدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ بدست 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 (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۴).

بحث و یافته‌ها

انتخاب و ترکیب بهینه ردیاب‌ها

به منظور غربالگری اولیه هر یک از ردیاب‌ها در حفظ خصوصیات رسوب در طی حرکت از منابع رسوبی، آزمون‌های براکت استاندارد و دامنه تغییرات در محدوده میانگین و انحراف معیار هر یک از منابع رسوب در زیر حوضه ۱ با رسوب هدف برای ۲۸ ردیاب انجام شد. بر اساس نتایج حاصل شده در جدول ۳ الف در رویکرد اول ۱۰ ردیاب Mn, Mg, Li, Co, Be, Ba ، Zn, V, Sc, Ni و در جدول ۳ ب در رویکرد دوم ۸ ردیاب $Zn, Ni, Mn, Li, Co, Ce, Be, Ba$ حفاظت شده بودند. ردیاب‌های حفاظت شده در هر دو رویکرد پس از عبور از مرحله اول وارد آزمون کروسکال والیس شدند. در رویکرد اول تمامی ۱۰ ردیاب در سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ هستند و در رویکرد دوم از میان ۸ ردیاب تنها ردیاب Be به دلیل سطح معنی داری ۰/۱ حذف شد.

جدول ۳ الف و ب: نتایج آزمون کروسکال والیس در توانایی ردیاب‌ها برای تفکیک منابع رسوبی زیر حوضه ۱ در رویکرد اول و دوم (واحد غلظت‌های گزارش شده $mg\ kg^{-1}$ ، ردیاب‌های غیر حفاظت شده n.c.، *ارزش بحرانی $p = 0.05$).

رسوب هدف خروجی زیر حوضه ۱		آزمون کروسکال والیس		رویکرد اول (الف)										ردیاب	
				زیر سطحی		سطحی واحدهای سنگ شناسی									
						کانال رودخانه		رسوبات آبرفتی و پادگانه		مارن و شیل		سنگ آهک و دولومیت			ماسه سنگ و کنگلومرا
انحراف معیار	میانگین	سطح معنی p	داری	کای اسکوئر	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
۴۷۲۴/ ۰	۳۷۲۵۴/ ۰	n.c.	n.c.	n.c.	۷۲۶۶/ ۹	۴۲۱۶۶/ ۴	۲۰۸۹/ ۳	۴۴۷۵۰/ ۴	۳۲۱۷/ ۴	۴۵۶۴۹/ ۲	۱۸۶۲/ ۰	۴۲۰۸۵/ ۴	۶۳۵۷/ ۷	۴۰۱۸۱/ ۱۰	Al
۱/۷	۵/۴	n.c.	n.c.	n.c.	۰.۵	۲/۹	۰/۲	۳/۷	۰/۳	۳/۹	۰/۲	۵/۶	۰/۴	۲/۹	As
۳۱/۱	۳۱۴/۴	<۰/۰۱*	n.c.	۶۳/۵	۵۷/۳	۳۳۹/۹	۲۵/۴	۲۸۹/۷	۲۸/۴	۳۰۶/۱	۶۸/۷	۹۱۳/۶	۳۴/۸	۲۲۲/۵	Ba

-/۱	-/۸	-/۰.۱*	۱۳/۳	-/۳	-/۹	-/۰	-/۸	-/۱	۱/۰	-/۱	۱/۱	-/۴	-/۸	Be
۱۲۱۲۲	۱۳۹۵.۳	n.c.	n.c.	۸۵۲۹/۸	۹۵.۶۵	۴۲۵۴/۳	۸۰.۵۴۴	۵۶۱۸/۲	۷۸۲۵۲/۵	۴۳۶۳/۸	۴۶۹۴۶/۲	۱۲۳۸۷/۰	۸۹۱۹۶/۳	Ca
۴/۱	۴۵/۲	n.c.	n.c.	۱۰/۲	۴۵/۳	۲/۴	۴۶/۱	۳/۴	۳۷/۵	۱/۹	۳۴/۸	۶/۳	۳۷/۱	Ce
۱/۲	۱۱/۵	< -/۰.۰۱*	۶۴/۸	-/۸	۹/۰	۱/۰	۱۰/۶	۱/۱	۱۴/۰	-/۶	۱۱/۱	۱/۴	۷/۵	Co
۴/۲	۸۰/۰	n.c.	n.c.	۱۰/۴	۵۳/۲	۳/۲	۶۱/۷	۵/۰	۷۳/۲	۳/۲	۴۳/۸	۸/۶	۵۱/۳	Cr
۱/۷	۲۱/۸	n.c.	n.c.	۳/۹	۳۷/۴	۲/۴	۳۶/۸	۳/۳	۴۰/۹	۳/۰	۴۰/۶	۴/۵	۲۸/۳	Cu
۲۴۷۵/۶	۲۶۳۷۱/۰	n.c.	n.c.	۳۰۹۸/۴	۱۹۱۷۳/۹	۱۳۳۸/۹	۲۲۷۴۳/۱	۱۹۷۴/۷	۲۵۵۳۳/۹	۱۱۰۶/۳	۱۹۷۷۵/۱	۲۷۸۱/۳	۱۸۲۷۹/۲	Fe
۷۸۵.۹	۸۹۰.۸۲	n.c.	n.c.	۳۰۷۷/۳	۱۸۰۱۰/۳	۷۵۵.۱	۱۷۰۹۴/۲	۱۵۴۷/۳	۱۹۳۴۸/۸	۱۹۹۳۹/۸	۳۳۶۶/۹	۱۷۰۳۱/۵	K	
۲/۲	۲۴/۵	n.c.	n.c.	۳/۱	۲۱.۴	۱.۴	۲۵.۰	۱.۴	۲۱.۹	-/۸	۱۸.۵	۳.۴	۲۱.۲	La
۲/۸	۲۶/۰	< -/۰.۰۱*	۳۸/۸	۴/۵	۲۵/۸	۱/۳	۲۹/۸	۲/۰	۳۵/۰	۱/۴	۳۲/۴	۴/۵	۲۸/۰	Li
۳۳/۴	۲۵۸/۶	< -/۰.۰۱*	۲۴/۳	۲۴۰/۱	۱۳۷۹۷/۳	۱۴۷۸/۷	۱۳۲۵۱/۷	۱۱۷۵/۶	۱۳۷۰۴/۸	۸۲۲/۱	۱۰۹۰۷/۳	۱۹۶۹/۹	۱۲۶۷۶/۱	Mg
۶۶/۱	۵۲۶/۷	< -/۰.۰۱*	۵۰/۹	۸۱/۲	۴۲۵۰/۹	۲۴/۰	۵۷۶/۸	۲۸/۷	۶۷۵/۲	۴۵/۳	۴۴۳/۴	۷۵/۸	۴۱۹/۹	Mn
۵۳۴/۳	۵۹۶۰/۷	n.c.	n.c.	۱۴۱۲/۱	۸۳۲۲/۵	۱۴۴۰/۰	۹۴۹۲/۳	۳۳۴/۲	۵۷۰/۱	۳۵۹/۶	۵۸۴۲/۳	۱۰۳۲/۰	۸۳۴۹/۴	Na
۲/۰	۲۳/۹	< -/۰.۰۱*	۶۰/۷	۵/۳	۲۸/۳	۲/۰	۲۳/۷	۳/۹	۴۹/۶	۱/۴	۴۰/۵	۴/۵	۳۰/۰	Ni
۲۲/۰	۶۶۴/۱	n.c.	n.c.	۹۸/۵	۷۰۳/۳	۸۴/۹	۷۵۷/۹	۶۱/۸	۷۳۸/۲	۶۱/۲	۶۷۲/۴	۹۲/۱	۶۹۰/۴	P
۳۰/۳	۵۷/۹	n.c.	n.c.	۱/۱	۷/۰	۰/۷	۱۰/۸	۱/۰	۱۰/۲	۵/۷	۶۵/۱	۱/۴	۶/۶	Pb
۷۷/۹	۶۸۵/۱	n.c.	n.c.	۱۳۰/۸	۱۰۷۰/۵	۴۸/۵	۱۰۲۹/۰	۸۹/۰	۱۲۸۸/۱	۵۷/۲	۸۵۳/۴	۱۲۵/۶	۱۰۵۰/۵	S
-/۸	۸/۲	< -/۰.۰۱*	۳۸	۱/۱	۶/۷	۰/۵	۷/۱	-/۸	۹/۰	-/۴	۷/۸	۱/۳	۶/۳	Sc
۲۶/۳	۲۸۵/۸	n.c.	n.c.	۵۹/۴	۳۲۵/۹	۱۶/۶	۲۹۲/۲	۲۸/۷	۳۶۲/۴	۱۸/۵	۴۶۸/۲	۴۰/۶	۳۰۳/۱	Sr
۱۸۸/۷	۳۷۲۶/۷	n.c.	n.c.	۵۰۹/۷	۲۶۲۱/۲	۱۳۴/۵	۳۴۱۳/۸	۲۸۸/۷	۳۳۳۷/۷	۲۱۱/۰	۲۴۱۵/۰	۳۹۴/۷	۲۵۷۹/۲	Ti
۴/۹	۷۴/۷	< -/۰.۰۱*	۳۴/۶	۱۰/۸	۵۸/۰	۳/۵	۶۷/۴	۶/۷	۸۰/۶	۳/۱	۶۷/۷	۱۱/۰	۶۰/۶	V
۱/۳	۱۹/۹	n.c.	n.c.	۲/۵	۱۳/۶	۰/۷	۱۴/۳	۱/۲	۱۴/۵	-/۵	۱۳/۰	۲/۵	۱۳/۱	Y
-/۱	۲/۳	n.c.	n.c.	-/۳	-/۹	-/۰	۱/۸	-/۱	۱/۱	-/۰	۱/۲	-/۳	۱/۰	Yb
۱۱/۵	۷۹/۹	n.c.	n.c.	۱۶/۱	۹۰/۰	۵/۲	۱۰۲/۴	۴/۷	۹۶/۳	۶/۹	۹۴/۳	۱۶/۰	۹۴/۳	Zr
۶/۲	۱۴۲/۳	< -/۰.۰۱*	۶۱/۸	۸/۶	۴۸/۴	۵/۴	۶۰/۰	۶/۷	۷۸/۴	۱۳/۹	۱۹۷/۸	۹/۸	۵۰/۳	Zn

رسوب هدف خروجی زیر حوضه ۱		آزمون کرومکال والیس		رویکرد دوم (ب)						ردیف
				زیر سطحی		سطحی بیشینه شتاب زمین				
				کانال رودخانه		g (۰/۵۱-۰/۶)		g (۰/۴۱-۰/۵)		
انحراف معیار	میانگین	سطح معنی P	کای اسکور	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۴۲۳۴/۰	۳۲۲۵۴/۰	n.c.	n.c.	۷۲۶۶/۹	۴۲۱۶۶/۴	۲۶۱۹/۶	۴۴۴۱۳/۱	۵۸۴۶/۳	۴۰۸۰۸/۶	Al
۱/۷	۵/۴	n.c.	n.c.	-/۵	۲/۹	-/۹	۴/۹	-/۵	۳/۰	As
۳۱/۱	۳۱۴/۴	< -/۰.۰۱*	۲۹/۶	۵۷/۳	۳۲۹/۹	۳۰۷/۹	۶۴۷/۰	۳۲/۸	۲۲۱/۲	Ba
-/۱	-/۸	-/۱	۴/۱	-/۳	-/۹	-/۱	۱/۱	-/۴	-/۸	Be
۱۲۱۳۲/۶	۱۴۹۵۰۳/۰	n.c.	n.c.	۸۵۲۹/۸	۹۵۰۶۵/۵	۱۶۹۴۹/۵	۶۱۰۰۳/۵	۱۳۲۲۴/۳	۸۶۶۸/۳	Ca
۴/۱	۴۵/۲	-/۰.۳*	۷/۴	۱۰/۲	۴۵/۳	۳/۰	۳۶/۳	۶/۱	۳۸/۵	Ce
۱/۲	۱۱/۵	< -/۰.۰۱*	۳۷/۴	-/۸	۹/۰	۱/۸	۱۲/۳	۱/۲	۷/۱	Co

۴/۲	۸۰/۰	n.c.	n.c.	۱۰/۴	۵۳/۲	۱۵/۷	۵۶/۵	۷/۳	۴۹/۵	Cr
۱/۷	۲۱/۸	n.c.	n.c.	۳/۹	۲۷/۴	۳/۰	۴۰/۹	۲/۹	۲۵/۹	Cu
۲۴۷۵/۶	۲۶۳۷۱/۰	n.c.	n.c.	۳۰۹۸/۴	۱۹۱۷۳/۹	۳۵۳۱/۳	۲۲۴۹۵/۶	۲۱۴۸/۳	۱۷۶۷۱/۱	Fe
۷۸۵/۹	۸۹۰۸/۲	n.c.	n.c.	۳۰۷۷/۳	۱۸۰۱۰/۳	۱۱۲۲/۸	۱۹۷۶۴/۳	۳۲۶۵/۱	۱۶۴۷۱/۸	K
۲/۲	۲۴/۵	n.c.	n.c.	۳/۱	۲۱/۴	۲/۱	۲۰/۱	۳/۲	۲۲/۴	La
۲/۸	۲۶/۰	< ۰/۰۰۱*	۲۲/۷	۴/۵	۲۵/۸	۲/۳	۳۳/۹	۴/۳	۲۸/۲	Li
۳۳/۴	۲۵۸/۶	n.c.	n.c.	۲۴۰۱/۸	۱۳۷۹۷/۳	۱۷۸۵/۶	۱۲۳۳۰/۶	۲۰۲۵/۰	۱۲۵۹۱/۰	Mg
۶۶/۱	۵۲۶/۷	< ۰/۰۰۱*	۱۴/۱	۸۱/۲	۴۲۵/۰	۱۱۹/۷	۵۵۳/۷	۶۹/۵	۴۰۰/۸	Mn
۵۳۴/۳	۵۹۶۰/۷	n.c.	n.c.	۱۴۱۲/۱	۸۲۲۲/۵	۳۶۳/۱	۵۷۱۹/۵	۵۰۳/۶	۸۶۷۲/۵	Na
۲/۰	۳۳/۹	< ۰/۰۰۱*	۳۴/۵	۵/۳	۲۸/۳	۵/۲	۴۴/۶	۴/۲	۲۸/۷	Ni
۲۲/۰	۶۶۴/۱	n.c.	n.c.	۹۸/۵	۷۰۳/۳	۶۹/۱	۷۰۵/۰	۹۱/۸	۶۹۳/۶	P
۳۰/۳	۵۷/۹	n.c.	n.c.	۱/۱	۷/۰	۳۷/۹	۴۱/۰	۱/۵	۶/۶	Pb
۷۷/۹	۶۸۵/۱	n.c.	n.c.	۱۳۰/۸	۱۰۷۰/۵	۲۲۲/۰	۱۰۳۳/۶	۱۲۰/۳	۱۰۶۷/۹	S
۰/۸	۸/۲	n.c.	n.c.	۱/۱	۶/۷	۰/۹	۸/۳	۱/۱	۶/۱	Sc
۲۶/۳	۲۸۵/۸	n.c.	n.c.	۵۹/۴	۳۲۵/۹	۵۹/۱	۴۲۳/۱	۴۰/۱	۳۱۴/۷	Sr
۱۸۸/۷	۳۷۲۶/۷	n.c.	n.c.	۵۰۹/۷	۲۶۲۱/۲	۵۶۲/۶	۲۷۹۹/۹	۴۰۰/۵	۲۴۷۸/۲	Ti
۴/۹	۷۴/۷	n.c.	n.c.	۱۰/۸	۵۸/۰	۸/۹	۷۴/۲	۱۱/۵	۵۸/۸	V
۱/۳	۱۹/۹	n.c.	n.c.	۲/۵	۱۳/۶	۱/۲	۱۳/۸	۲/۶	۱۳/۴	Y
۰/۱	۲/۳	n.c.	n.c.	۰/۳	۰/۹	۰/۱	۱/۱	۰/۳	۱/۰	Yb
۱۱/۵	۷۹/۹	n.c.	n.c.	۱۶/۱	۹۰/۰	۶/۳	۹۵/۷	۱۷/۹	۹۱/۳	Zr
۶/۲	۱۴۳/۳	< ۰/۰۰۱*	۳۴/۵	۸/۶	۴۸/۴	۵۸/۷	۱۴۳/۹	۹/۴	۴۸/۰	Zn

در زیر حوضه ۲ در رویکرد اول مطابق با جدول ۴ الف ۹ ردیاب شامل Zn، Y، V، Sc، Pb، P، Mn، K، Ba در جدول ۴ ب در رویکرد دوم ۱۰ ردیاب Co، Ba، K، Mn، Ni، P، Pb، Sc، V، Y از میان ۲۸ ردیاب در آزمون‌های براکت استاندارد و دامنه تغییرات میانگین در گروه‌های منبع و رسوب هدف حفاظت شده بودند. در آزمون کروسکال والیس نیز سطح معنی‌داری تمام ردیاب‌های عبور یافته از آزمون‌های ذکر شده در هر دو رویکرد کمتر از ۰/۰۵ تخمین زده شد.

جدول ۴ الف و ب: نتایج آزمون کروسکال والیس در توانایی ردیاب‌ها برای تفکیک منابع رسوبی زیر حوضه ۲ در رویکرد اول و دوم (واحد غلظت‌های گزارش شده mg kg^{-1} ، ردیاب‌های غیر حفاظت شده n.c.، *ارزش بحرانی $p = 0/05$).

ردیاب	رویکرد اول (الف)													
	رسوب هدف خروجی زیر حوضه ۲		آزمون کروسکال والیس		سطحی واحدهای سنگ شناسی									
					زیر سطحی		رسوبات آبرفتی و پادگانه		مارن و شیل		سنگ آهک و دولومیت		ماسه سنگ و کنگلوмера	
انحراف معیار	میانگین	سطح معنی P	داری	کای اسکوئر	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین		
Al	۶۷۰۳/۹	۶۴۶۸۷/۰	n.c.	n.c.	۶۴۸۹/۴	۵۲۴۶۸/۵	۲۰۸۹/۳	۴۴۷۵۰/۴	۲۸۴۵/۰	۵۴۸۱۵/۴	۴۲۲۳/۵	۳۲۵۲۶/۴	۷۶۰۸/۲	۵۹۵۹۳/۶
As	۳/۷	۱۰/۸	n.c.	n.c.	۰/۵	۳/۷	۰/۲	۳/۷	۰/۳	۴/۰	۰/۵	۱/۸	۰/۸	۵/۰
Ba	۳۳/۴	۳۶۵/۹	< ۰/۰۰۱*	۵۶/۴	۳۵/۹	۳۱۹/۶	۲۵/۴	۲۸۹/۷	۹/۳	۳۸۸/۰	۲۴/۲	۳۱۰/۲	۸۳/۹	۵۱۳/۶
Be	۰/۱	۱/۴	n.c.	n.c.	۰/۳	۱/۲	۰/۰	۰/۸	۰/۵	۱/۱	۰/۲	۱/۱	۰/۳	۱/۰

۱۵۷۲/۷	۲۳۳۸-۰/۰	n.c.	n.c.	۴۳۵۸/۴	۴۹۷۸۹/۱	۴۳۵۴/۳	۸۰۵۴۴/۳	۴۱۱۴/۸	۵۲۸۵۲/۸	۱۲۴۹۷/۸	۷۳۰۷۳/۶	۸۸۶۱/۹	۵۴۹۱۰/۴	Ca
۶/۸	۶۹/۴	n.c.	n.c.	۹/۸	۵۹/۰	۲/۴	۴۶/۱	۴/۷	۵۹/۵	۳/۹	۲۹/۳	۸/۳	۵۲/۹	Ce
۰/۹	۱۳/۶	n.c.	n.c.	۲/۶	۱۵/۰	۱/۰	۱۰/۶	۰/۸	۱۶/۳	۲/۴	۱۴/۰	۲/۱	۱۸/۶	Co
۳/۶	۱۰۲/۸	n.c.	n.c.	۱۴/۵	۸۳/۱	۳/۲	۶۱/۷	۴/۹	۸۵/۶	۱۰/۰	۸۰/۸	۱۱/۷	۸۶/۱	Cr
۳/۶	۳۰/۷	n.c.	n.c.	۸/۰	۴۴/۴	۲/۴	۳۶/۸	۲/۹	۵۱/۵	۵/۸	۳۲/۳	۱۳/۴	۷۹/۶	Cu
۳۷۳/۵	۳۹۰۹۸/۰	n.c.	n.c.	۵۱۱۰/۰	۲۹۷۹۰/۷	۱۳۳۸/۹	۲۲۷۴۳/۱	۱۸۴۳/۰	۳۳۴۹۲/۸	۴۵۰۴/۳	۳۴۵۴۵/۲	۴۱۹۶/۶	۳۲۱۵۴/۲	Fe
۱۴۵۹/۱	۱۴۹۰۸/۴	< ./.۰۱*	۴۵/۹	۳۳۴۸/۸	۱۷۸۸۴/۲	۷۵۵/۱	۱۷۰۹۶/۳	۱۰۵۸/۳	۱۹۹۳۰/۷	۱۷۱۶/۱	۱۱۵۹۳/۱	۳۲۱۱۷/۳	۱۷۶۰۴/۵	K
۲/۷	۳۴/۱	n.c.	n.c.	۵/۱	۳۰/۳	۱/۴	۲۵/۰	۲/۰	۳۱/۴	۳/۲	۱۸/۲	۵/۶	۳۹/۵	La
۱۰/۸	۵۷/۳	n.c.	n.c.	۵/۷	۳۷/۰	۱/۳	۲۹/۸	۱/۵	۳۹/۳	۳/۳	۱۸/۶	۴/۹	۳۵/۵	Li
۴/۶	۱۲۱/۰	n.c.	n.c.	۱۳۳۹/۴	۱۲۷۹۲/۳	۱۴۷۸/۷	۱۳۳۵۱/۷	۸۸۴/۱	۱۳۴۶۷/۴	۲۵۵۵/۶	۱۴۸۳۲/۷	۳۲۰۸/۱	۱۷۴۵۹/۴	Mg
۵۵/۳	۵۸۵/۹	< ./.۰۱*	۴۳/۲	۱۴۰/۸	۷۹۵/۵	۲۴/۰	۵۷۶/۸	۶۲/۶	۸۲۲/۷	۷۱/۸	۴۷۱/۹	۱۳۰/۹	۸۱۵/۹	Mn
۶۷۷/۵	۱۱۲۳۴/۹	n.c.	n.c.	۱۳۸۹/۳	۸۵۳۶/۹	۱۴۴۰/۰	۹۴۹۲/۳	۴۶۳/۰	۸۶۹۷/۹	۷۱/۴	۴۱۵۸/۴	۸۵۴/۸	۶۳۱۱/۸	Na
۳/۲	۳۷/۴	n.c.	n.c.	۷/۴	۴۴/۵	۲/۰	۳۳/۷	۳/۱	۴۷/۵	۸/۳	۵۱/۱	۹/۵	۵۶/۴	Ni
۵۷/۸	۷۰۵/۸	./۰۰۴*	۱۵/۲	۱۲۱/۴	۶۹۳/۴	۸۴/۹	۷۵۷/۹	۴۰/۴	۷۵۵/۰	۱۳۰/۶	۸۳۱/۴	۱۲۶/۷	۸۲۲/۸	P
۸/۰	۳۹/۷	< ./.۰۱*	۵۲/۳	۲/۳	۱۴/۵	۰/۷	۱۰/۸	۱/۱	۱۸/۰	۰/۹	۵/۹	۱۴/۷	۸۵/۹	Pb
۷۲۳/۲	۹۸۰/۲	n.c.	n.c.	۷۵/۵	۵۸۱/۳	۴۸/۵	۱۰۲۹/۰	۳۱/۶	۶۵۳/۷	۱۲۰/۲	۷۳۴/۷	۱۱۱/۳	۶۳۹/۰	S
۰/۴	۹/۷	< ./.۰۱*	۴۱	۱/۸	۱۰/۸	۰/۵	۷/۱	۰/۸	۱۰/۷	۱/۵	۸/۰	۲/۰	۱۱/۷	Sc
۷/۷	۱۳۲/۱	n.c.	n.c.	۳۵/۱	۱۵۶/۹	۱۶/۶	۳۹۲/۲	۹/۹	۱۹۱/۳	۴۲/۹	۳۳۳/۷	۳۳/۱	۱۸۵/۰	Sr
۴۱۵/۶	۵۲۵۰/۸	n.c.	n.c.	۹۰۰/۷	۴۲۴۱/۷	۱۳۴/۵	۳۴۱۳/۸	۲۱۳/۲	۴۵۰۲/۷	۷۹۴/۴	۳۶۹۳/۲	۸۱۹/۶	۴۴۹۹/۰	Ti
۷/۱	۹۳/۳	< ./.۰۱*	۴۵/۲	۱۲/۲	۷۹/۱	۳/۵	۶۷/۴	۴/۱	۸۷/۴	۱۱/۶	۶۵/۸	۱۴/۰	۹۷/۱	V
۱/۳	۱۹/۹	< ./.۰۱*	۴۹/۴	۲/۰	۱۷/۲	۰/۷	۱۴/۳	۱/۱	۱۸/۰	۲/۰	۱۱/۰	۲/۴	۳۰/۴	Y
۰/۰	۱/۹	n.c.	n.c.	۰/۵	۱/۲	۰/۰	۱/۸	۰/۴	۱/۱	۰/۳	۱/۲	۰/۳	۰/۸	Yb
۹/۲	۱۲۵/۳	n.c.	n.c.	۱۵/۱	۱۲۴/۰	۵/۲	۱۰۲/۴	۸/۰	۱۲۳/۱	۱۴/۴	۷۵/۹	۱۹/۳	۱۲۲/۸	Zr
۶/۶	۷۷/۹	< ./.۰۱*	۵۵/۵	۱۶/۲	۸۰/۷	۵/۴	۶۰/۰	۷/۲	۹۵/۵	۱۲/۴	۶۲/۸	۶۳/۹	۴۰/۱۸	Zn

رسوب هدف خروجی زیر حوضه ۲	آزمون کروسکال والیس		رویکرد دوم (ب)						ردیف	
			زیر سطحی		سطحی بیشینه شتاب زمین					
			کانال رودخانه		(۰/۵۱-۰/۶) g		(۰/۴۱-۰/۵) g			
انحراف معیار	میانگین	سطح معنی P	داری	کای اسکوتر	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین
۶۷۰۳/۹	۶۴۶۸۷/۰	n.c.	n.c.	۶۴۸۹/۴	۵۲۴۶۸/۵	۶۷۷۲/۸	۶۱۵۳۹/۲	۴۰۹۴/۰	۲۶۸۵۱/۵	Al
۳/۷	۱۰/۸	n.c.	n.c.	۰/۵	۳/۷	۰/۷	۴/۹	۱/۵	۸/۸	As
۳۳/۴	۳۶۵/۹	< ./.۰۱*	۲۷/۸	۳۵/۹	۳۱۹/۶	۸۹/۸	۵۰۱/۳	۳۳۳/۹	۱۷۵۵/۳	Ba
۰/۱	۱/۴	./۰۰۲*	۱۱/۹۹	۰/۳	۱/۲	۰/۴	۱/۰	۰/۴	۱/۶	Be
۱۵۷۲/۷	۲۳۳۸-۰/۰	n.c.	n.c.	۴۳۵۸/۴	۴۹۷۸۹/۱	۱۰۱۴۱/۸	۵۴۸۸۷/۸	۷۹۷۳/۰	۳۷۴۲۰/۵	Ca
۶/۸	۶۹/۴	n.c.	n.c.	۹/۸	۵۹/۰	۷/۱	۵۵/۱	۳/۶	۲۴/۲	Ce
۰/۹	۱۳/۶	< ./.۰۱*	۲۵/۰۴	۲/۶	۱۵/۰	۲/۲	۱۹/۱	۱/۵	۷/۸	Co
۳/۶	۱۰۲/۸	n.c.	n.c.	۱۴/۵	۸۳/۱	۱۰/۴	۸۸/۷	۶/۵	۳۸/۵	Cr
۳/۶	۳۰/۷	n.c.	n.c.	۸/۰	۴۴/۴	۱۴/۳	۷۸/۵	۵/۱	۳۴/۲	Cu
۳۷۳/۵	۳۹۰۹۸/۰	n.c.	n.c.	۵۱۱۰/۰	۲۹۷۹۰/۷	۳۳۳۰/۶	۳۳۶۰۸/۴	۲۶۰۱/۱	۱۵۴۵۸/۷	Fe
۱۴۵۹/۱	۱۴۹۰۸/۴	< ./.۰۱*	۲۰/۵۲	۳۳۴۸/۸	۱۷۸۸۴/۲	۲۲۵۵/۴	۱۷۶۸۱/۳	۱۱۰۸/۳	۹۷۱۹/۰	K
۲/۷	۳۴/۱	n.c.	n.c.	۵/۱	۳۰/۳	۵/۷	۳۱/۰	۲/۴	۱۴/۰	La
۱۰/۸	۵۷/۳	n.c.	n.c.	۵/۷	۳۷/۰	۴/۰	۳۵/۷	۳/۶	۱۸/۹	Li

۴/۶	۱۲۱/۰	n.c.	n.c.	۱۳۳۹/۴	۱۲۷۹۲/۳	۳۴۵۶/۲	۱۷۵۴۲/۲	۲۱۴۱/۶	۱۰۸۷۷/۶	Mg
۵۵/۳	۵۸۵/۹	< .۰۰۱*	۲۰/۵۳	۱۴۰/۸	۷۹۵/۵	۱۲۹/۳	۸۳۳/۳	۵۹/۳	۴۵۱/۵	Mn
۶۷۷/۵	۱۱۲۳۴/۹	n.c.	n.c.	۱۳۸۹/۳	۸۵۳۶/۹	۸۴۸/۰	۶۵۳۱/۶	۶۴۶/۵	۳۶۲۹/۶	Na
۳/۲	۳۷/۴	< .۰۰۱*	۲۱/۷۶	۷/۴	۴۴/۵	۹/۵	۵۸/۰	۵/۲	۳۱/۹	Ni
۵۷/۸	۷۰۵/۸	.۰۰۱*	۱۳/۰۵	۱۲۱/۴	۶۹۳/۴	۱۱۰/۳	۸۷۴/۶	۹۳/۷	۶۹۴/۵	P
۸/۰	۳۹/۷	< .۰۰۱*	۲۰/۳	۲/۳	۱۴/۵	۱۳/۳	۸۱/۵	۱۵/۰	۸۳/۴	Pb
۷۳۳/۲	۹۸۰/۲	n.c.	n.c.	۷۵/۵	۵۸۱/۳	۱۰۴/۴	۶۱۹/۴	۲۱۵/۸	۱۳۱۲/۴	S
۰/۴	۹/۷	< .۰۰۱*	۲۳/۳۲	۱/۸	۱۰/۸	۱/۴	۱۲/۶	۰/۹	۵/۱	Sc
۷/۷	۱۳۲/۱	n.c.	n.c.	۳۵/۱	۱۵۶/۹	۳۳/۹	۱۷۳/۶	۱۰۹/۴	۶۲۴/۵	Sr
۴۱۵/۶	۵۲۵۰/۸	n.c.	n.c.	۹۰۰/۷	۴۲۴۱/۷	۸۶۳/۳	۴۶۷۴/۱	۳۰۱/۲	۲۰۱۹/۸	Ti
۷/۱	۹۳/۳	< .۰۰۱*	۲۶/۲۳	۱۲/۲	۷۹/۱	۱۰/۴	۱۰۳/۸	۶/۷	۴۴/۶	V
۱/۳	۱۹/۹	< .۰۰۱*	۲۵/۰۳	۲/۰	۱۷/۲	۲/۱	۲۱/۰	۱/۴	۸/۲	Y
۰/۰	۱/۹	n.c.	n.c.	۰/۵	۱/۲	۰/۳	۰/۹	۰/۵	۱/۳	Yb
۹/۲	۱۲۵/۳	n.c.	n.c.	۱۵/۱	۱۲۴/۰	۱۷/۴	۱۲۵/۰	۱۰/۴	۵۲/۹	Zr
۶/۶	۷۷/۹	n.c.	n.c.	۱۶/۲	۸۰/۷	۶۴/۱	۳۸۶/۷	۱۷/۷	۱۲۷/۸	Zn

در آزمون تحلیل تشخیص به روش گام به گام، به منظور شناسایی ترکیب بهینه ردیابها در تفکیک منابع رسوب در زیرحوضه ۱ مطابق جدول ۵ رویکرد اول به ترتیب ۵ ردیاب Zn, Co, Ba, Mn, Ni از میان ۱۰ ردیاب و در رویکرد دوم ۶ ردیاب Ni, Zn, Co, Ba, Mn, Li از میان ۷ ردیاب انتخاب شدند. درصد طبقه‌بندی صحیح هر یک از ردیابها به صورت فردی و تجمعی در جدول ۵ نمایش داده شده است، که در رویکرد اول در مجموع ۹۷/۴ درصد و در رویکرد دوم ۹۷/۹ درصد نمونه‌ها به درستی طبقه‌بندی شده است.

جدول ۵: نتایج آزمون تحلیل تشخیص به روش گام به گام در تفکیک ترکیب ردیاب های بهینه در زیر حوضه ۱

سطح معنی داری P	درصد تجمعی نمونه‌های منبع طبقه‌بندی شده صحیح %	درصد نمونه‌های منبع طبقه‌بندی شده صحیح در ردیاب‌های فردی %	ردیاب	نوع رویکرد
۰/۰۰۱	۷۴	۷۴	Zn	رویکرد اول
۰/۰۰۱	۸۵/۷۱	۷۰/۱	Co	
۰/۰۰۱	۹۳/۵	۷۵/۳	Ba	
۰/۰۰۱	۹۶/۱	۶۱	Mn	
۰/۰۰۱	۹۷/۴	۶۶/۲	Ni	
۰/۰۱	۷۶/۶	۷۶/۶	Ni	رویکرد دوم
۰/۰۰	۷۸/۷	۵۷/۴	Zn	
۰/۰۰	۸۹/۴	۸۹/۴	Co	
۰/۰۰	۹۷/۹	۵۷/۴	Ba	
۰/۰۰	۹۷/۹	۵۹/۶	Mn	
۰/۰۲	۹۷/۹	۶۶/۰	Li	

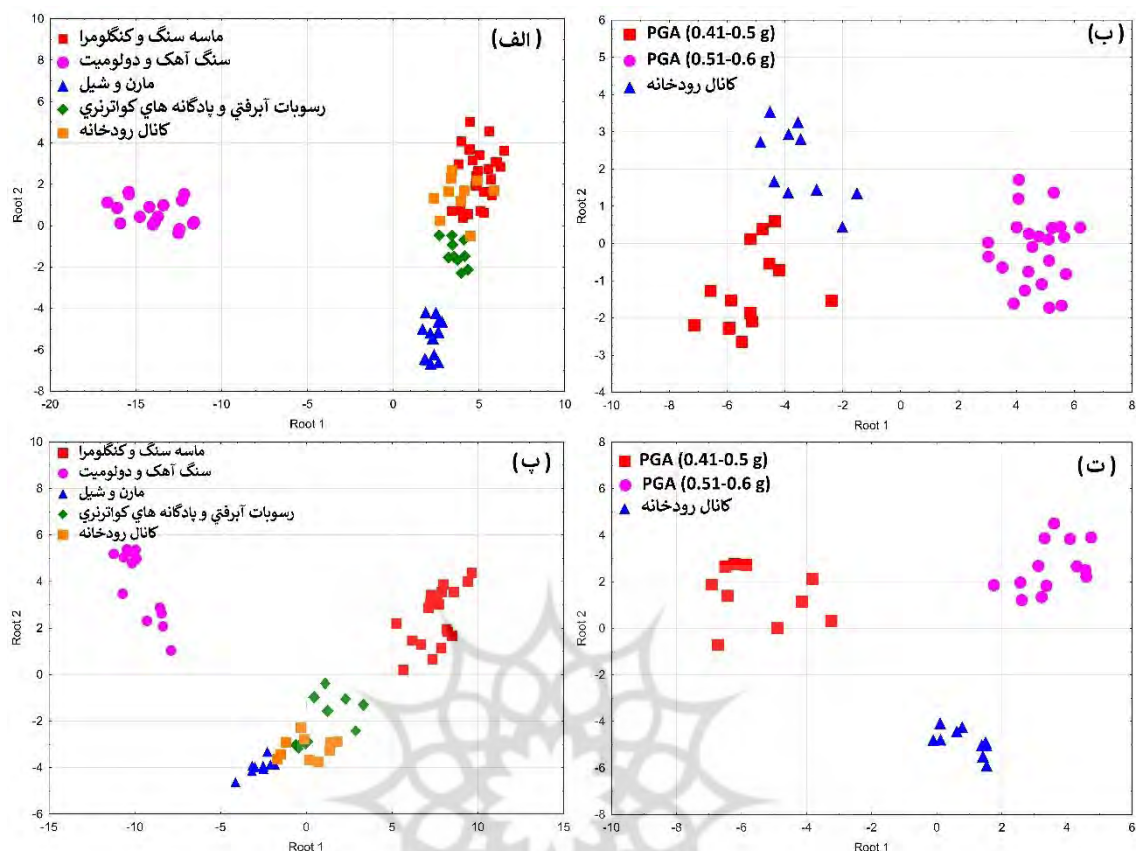
در زیر حوضه ۲ مطابق با جدول ۶ از میان ۹ ردیاب وارد شده در آزمون تحلیل تشخیص در رویکرد اول به ترتیب ۶ ردیاب Zn, Ba, K, P, Mn, Sc و در رویکرد دوم از میان ۱۰ ردیاب تنها ۴ ردیاب Ba, Pb, Ni, K به ترتیب در ترکیب بهینه

ردیاب‌ها قرار گرفتند. درصد تجمعی نمونه‌های به درستی طبقه‌بندی شده در رویکرد اول ۹۶/۸ و در رویکرد دوم ۱۰۰ درصد است که بیانگر قدرت تفکیک بالای ردیاب‌های انتخابی در جداسازی نمونه‌ها در گروه‌های منابع رسوب است.

جدول ۶: نتایج آزمون تحلیل تشخیص به روش گام به گام در تفکیک ترکیب ردیاب‌های بهینه در زیر حوضه ۲

ردیاب	درصد نمونه‌های منبع طبقه‌بندی شده صحیح در ردیاب‌های فردی %	درصد تجمعی نمونه‌های منبع طبقه‌بندی شده صحیح %	سطح معنی داری P
Zn	۷۱/۴	۷۱/۴	۰/۰۰۰
Ba	۷۶/۲	۹۵/۲	۰/۰۰۰
K	۵۸/۷	۸۷/۳	۰/۰۰۱
P	۳۶/۵	۸۸/۹	۰/۰۰۰
Mn	۵۰/۸	۹۰/۵	۰/۰۰۰
Sc	۵۲/۴	۹۶/۸	۰/۰۰۴
Ba	۹۰/۹	۹۰/۹	۰/۰۰۰
Pb	۶۹/۶۹	۱۰۰	۰/۰۰۰
Ni	۷۸/۷۸	۱۰۰	۰/۰۰۶
K	۶۹/۶۹	۱۰۰	۰/۰۱۲

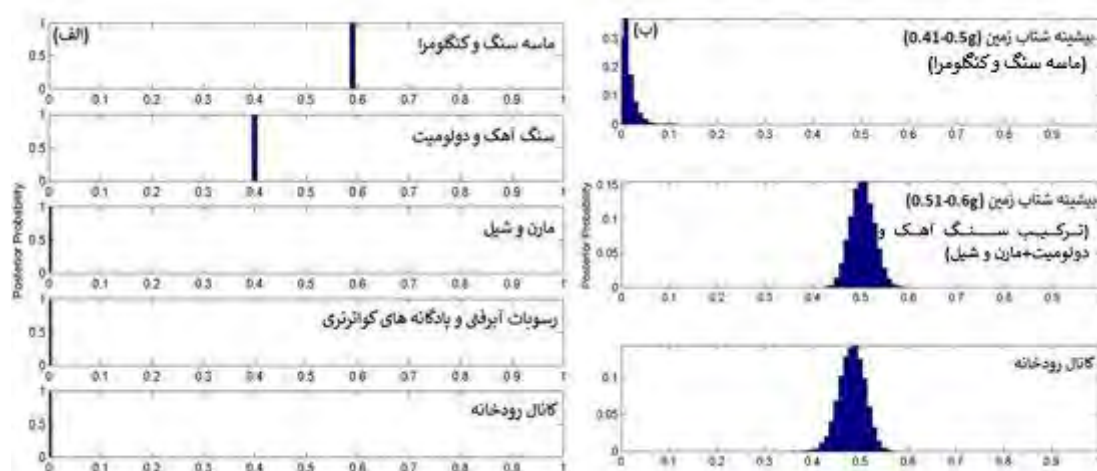
نتایج آزمون‌های مختلف در تحلیل تابع تشخیص بیانگر این بود که قدرت تفکیک تمام ردیاب‌ها کامل است. ویژگی توابع تحلیل تشخیص در بزرگترین مقدار ویژه از اولین تابع در زیر حوضه ۱ برای رویکرد اول (۶۰/۲)، رویکرد دوم (۲۲/۸) و در زیر حوضه ۲ برای رویکرد اول (۴۲/۱)، رویکرد دوم (۴۳/۴) است، که مربوط به بردار ویژه در جهت حداکثر گسترش میانگین گروه‌ها است. مقدار همبستگی کانونی در تمامی منابع رسوبی هر دو زیرحوضه بالای ۰/۹۸ است، لذا نشان‌دهنده همبستگی قوی بین نمرات تفکیک‌کننده و گروه‌های منبع مجزا است. ویلکس لامبدا معیاری مناسب از نسبت اختلاف‌های درون‌گروهی به اختلاف‌های بین‌گروهی است. ارزش ویلکس لامبدا اولین تابع در زیرحوضه ۱ برای رویکرد اول (۰/۰۰۰۶) ، رویکرد دوم (۰/۰۱) و در زیرحوضه ۲ برای رویکرد اول (۰/۰۰۰۴) ، رویکرد دوم (۰/۰۰۱) است که نشان‌دهنده این است که ۹۹٪ از واریانس کل در بین نمونه‌های منابع رسوب توسط ردیاب‌ها توزیع شده است. در نمودار پراکنندگی توابع اول و دوم تشخیصی (شکل ۳) در ترکیب بهینه ردیاب‌ها مشخص شد که ردیاب‌های انتخابی در مرحله آخر توانایی بالایی در تفکیک انواع منابع رسوب در زیر حوضه ۱ و ۲ را دارند.



شکل ۳: نمودار پراکنده‌گی توابع اول و دوم در آزمون تحلیل تشخیص برای ترکیب بهینه ردیاب‌ها در انواع منابع رسوب در رویکرد اول الف زیر حوضه ۱ پ زیر حوضه ۲، و رویکرد دوم ب زیر حوضه ۱، ت زیر حوضه ۲.

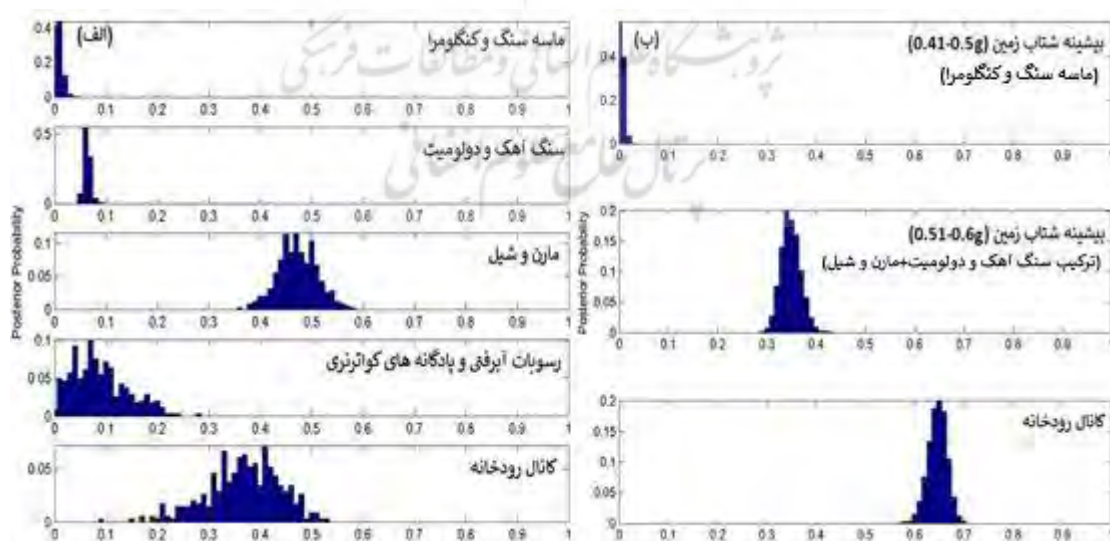
تعیین سهم نسبی منابع رسوب در تولید رسوب

سهم نسبی منابع رسوب تخمین زده شده در مدل غیر ترکیبی بیسین در محدوده عدم قطعیت متناظر (۵-۹۵٪) در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در زیر حوضه ۱ (شکل ۴ الف) برای رویکرد اول طبقات ماسه سنگ کنگومرا، سنگ آهک و دولومیت، مارن و شیل، رسوبات آبرفتی و پادگانه های کواترنری و کانال رودخانه به ترتیب ۵۹/۱ (۵۹/۱-۵۹/۱)، ۴۰/۵ (۴۰/۵-۴۰/۵)، ۰/۱ (۰/۱-۰/۱)، ۰/۲ (۰/۲-۰/۲) و ۰/۱ (۰/۱-۰/۱) درصد است. نتایج نشان می‌دهد که گروه‌های ماسه سنگ و کنگومرا سهم نسبی بیشتری در تولید رسوب در زیر حوضه ۱ دارند. در رویکرد دوم (شکل ۴ ب) برای طبقات بیشینه شتاب زمین گ (۰/۴۱-۰/۵)، گ (۰/۵۱-۰/۶) و کانال رودخانه سهم نسبی منابع رسوب به ترتیب ۰/۹ (۰/۱-۳/۹)، ۵۰/۳ (۴۶/۵۴-۵۴/۴) و ۴۸/۴ (۴۳/۸-۵۲/۶) درصد است. طبق نتایج حاصل شده طبقه دوم که شامل ترکیب نمونه‌های (آهک و دولومیت، مارن و شیل) در محدوده بیشینه شتاب زمین گ (۰/۵۱-۰/۶) هستند بالاترین سهم نسبی را در تولید رسوب دارند.



شکل ۴: سهم نسبی منابع رسوب در مدل غیر ترکیبی بیسین در زیر حوضه ۱ الف: رویکرد اول، ب: رویکرد دوم

سهم نسبی منابع رسوب مطابق با (شکل ۵ الف) در زیرحوضه ۲ در طبقات ماسه سنگ و کنگومرا، سنگ آهک و دولومیت، مارن و شیل، رسوبات آبرفتی و پادگانه‌های کواترنری و کانال رودخانه به ترتیب $0/7$ ($2/1-0/1$)، $6/5$ ($7/5-5/3$)، $4/4$ ($19/3-1/4$)، $3/2$ ($37/2-23/8$) درصد است. طبق نتایج حاصل شده طبقه سوم گروه مارن و شیل بیشترین سهم نسبی را در تولید رسوب زیر حوضه ۲ دارد. در رویکرد دوم (شکل ۵ ب) در طبقات بیشینه شتاب زمین g ($0/41-0/5$)، g ($0/51-0/6$) و کانال رودخانه سهم نسبی منابع رسوب به ترتیب $0/4$ ($1/4-0$)، 35 ($38/1-31/7$) و $64/6$ ($67/6-61/3$) درصد است. در رویکرد دوم گروه کانال رودخانه بیشترین سهم نسبی را در تولید رسوب دارد و پس از آن گروه بیشینه شتاب زمین با ترکیب نمونه‌های (سنگ آهک و دولومیت، مارن و شیل) در محدوده بیشینه شتاب زمین g ($0/51-0/6$) بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است.



شکل ۵: سهم نسبی منابع رسوب در مدل غیر ترکیبی بیسین در زیرحوضه ۲ الف: رویکرد اول، ب: رویکرد دوم

موقعیت گسل‌ها در حوضه تالار تاثیر بسزایی در تولید رسوب دارند. هندسه و ساختار گسل‌ها از جمله طول یک گسل نقش بسیار مهمی در روند لرزه‌خیزی دارد، هرچه طول گسل بیشتر باشد امکان لرزه خیزی بالاتر خواهد بود (ولز و کوپر اسمیت، ۱۹۹۴: ۹۷۸)، بنابراین مشخص می‌گردد که طول گسل‌های فیروزکوه و IRQ 112 مطابق (شکل ۱) تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روند لرزه‌خیزی در محدوده‌های با شتاب بالا و متوسط داشته‌اند.

محدوده‌های بیشینه شتاب زمین تاثیر قابل توجهی در تولید رسوب دارند. در محدوده‌های با شتاب بالا و متوسط $g(0.6-0)$ تا $g(0.51-0.41)$ به دلیل فراوانی زلزله‌های بزرگ و کوچک، رسوبات و سنگ‌های فرسایش‌پذیر در دامنه‌های حساس دچار ناپایداری و جابه‌جایی می‌گردند که سبب ایجاد شرایط هوازدگی مکانیکی، شیمیایی، خردشدن و تضعیف سنگ‌ها شده و در نهایت سبب تسریع فرایندهای فرسایشی و انتقال رسوب از دامنه‌ها به سمت مسیرهای آبراهه در طول زمان خواهد شد. بنابراین سطوح بالای شتاب زمین مطابق (شکل ۱) و فعالیت گسل‌ها در زیرحوضه ۱ و ۲ در روند انتقال ذرات ریزدانه از واحدهای فرسایش‌پذیر نقش بسزایی دارند.

فرسایش شدید و انتقال ذرات ریز، در اندازه زیر ۶۳ میکرون در شبکه‌های آبراهه سبب رسوبی‌شدن هر چه بیشتر رودخانه‌های حوضه تالار می‌گردد. اندازه ذرات زیر ۶۳ میکرون به خوبی غلظت عناصر ژئوشیمیایی را در خاک و رسوبات نشان می‌دهند. در رسوبات تولید شده تاثیر واحدهای سنگ‌شناسی و سطوح شتاب بر توزیع و کنترل عناصر ژئوشیمیایی در تولید رسوب بسیار اهمیت دارد. در زیر حوضه ۱، رویکرد اول طبق نتایج حاصل شده در ترکیب بهینه ردیاب‌ها، در جدول ۳ الف بیشترین میانگین توزیع ردیاب‌های Zn در واحد سنگ آهک و دولومیت، CO در واحد مارن و شیل، Ba در واحد سنگ آهک و دولومیت، Mn و Ni در واحد مارن و شیل و در رویکرد دوم جدول ۳ ب تمام ترکیب بهینه ردیاب‌ها در سطح $g(0.51-0.6)$ قرار دارد. همچنین در زیر حوضه ۲، رویکرد اول در جدول ۴ الف بیشترین میانگین توزیع ردیاب‌های Zn و Ba در واحد ماسه سنگ و کنگلومرا، K در واحد مارن و شیل، P در واحد سنگ آهک و دولومیت، Mn در واحد مارن و شیل، Sc در واحد ماسه سنگ و کنگلومرا است. در رویکرد دوم در جدول ۴ ب نیز ردیاب‌های Ba و Pb در سطح $g(0.51-0.6)$ و Ni در سطح $g(0.51-0.6)$ و K در واحد کانال رودخانه کنترل می‌شوند. مقادیر بالای ردیاب‌های P و K که جز عناصر حیاتی برای گیاهان می‌باشند نشان دهنده فرسایش نواحی است که دارای پوشش گیاهی ضعیف می‌باشند. حضور ردیاب Pb در زیر حوضه ۲ حاکی از فعالیت شدید معادن در این بخش است. با توجه به نتایج ذکر شده، به دلیل انحلال پذیری کمتر عناصر ذکر شده و جذب سطحی آن‌ها در واحدهای فرسایش‌پذیر و سطح $g(0.51-0.6)$ پراکندگی این عناصر به خوبی توسط ترکیب بهینه ردیاب‌ها مشخص گردیده است.

نتایج مدل غیر ترکیبی بیسین در سهم نسبی منابع رسوب نشان داد در رویکرد اول در هر دو زیر حوضه منابع رسوب خاک سطحی و در رویکرد دوم در زیر حوضه ۱ فرسایش خاک سطحی و در زیرحوضه ۲ فرسایش خاک زیرسطحی جز فرایندهای غالب در تولید و انتقال رسوبات در سطح حوضه آبخیز هستند. به صورت جزئی تر در زیرحوضه ۱ در رویکرد اول که بر اساس مساحت وزنی تعداد نمونه‌ها در واحدهای سنگ‌شناسی تقسیم شده است، مشخص شد که واحد ماسه سنگ و کنگلومرا بیشترین میزان سهم نسبی تولید رسوب را دارد که از جمله دلایل آن را می‌توان به فرسایش‌پذیری بالای این سازند و همچنین چرای بیش از حد دام در مراتع زیر حوضه ۱ دانست. اما در رویکرد دوم مشخص شد که به صورت جزئی تر (ترکیب سنگ آهک و دولومیت و مارن و شیل) در محدوده بسیار بالای شتاب $g(0.51-0.6)$ که (در واقع این سطح

نشان‌دهنده وجود پتانسیل و لرزه‌خیزی بالا است)، سهم تولید رسوب بیشتری را در حوضه دارند. واحدهای ذکر شده در محدوده شتاب بالا در مجاورت با گسل فعال فیروزکوه هستند و بیشترین زلزله‌های حوضه تالار در مجاورت این گسل رخ داده است (اشتری و همکاران، ۲۰۲۳: ۷). بنابراین نتایج حاصل از رویکرد اول در کل زیرحوضه ۱ و رویکرد دوم در بخش‌هایی بر اساس محدوده‌های بیشینه شتاب زمین به صورتی کاملاً متفاوت روند تولید رسوب را نشان دادند. از جمله دلایلی که این نتایج را توجیه می‌نماید این است که در رویکرد اول چون بخش‌های بالادست حوضه نیز در نظر گرفته شده است بر خلاف رویکرد دوم که این بخش‌ها به دلیل قرارگیری در سطح شتاب g (۰/۴ - ۰/۳) مورد بررسی قرار نگرفتند و اولویت با سطوح بالا و متوسط شتاب بود و نیز به دلیل تعداد نمونه‌ها به جهت مساحت بالای واحد ماسه‌سنگ و کنگلومرا در مکان‌های دارای فرسایش سطحی، این واحد در کل مساحت زیر حوضه ۱ در سهم نسبی تولید رسوب در اولویت قرار دارد.

در زیرحوضه ۲ در رویکرد اول گروه مارن و شیل علی‌رغم مساحت کم به دلیل فرسایش‌پذیری بسیار بالای این سازند و همچنین نزدیکی این واحد به خروجی زیرحوضه ۲ بیشترین میزان تولید رسوب را داشته است. از جمله عوامل دیگر، مجاورت این واحد با گسل IRQ112 و قرارگیری در محدوده بیشینه شتاب زمین g (۰/۵۱ - ۰/۶) سبب شده تا هنگام لرزه‌خیزی بیشترین شتاب زمین در واحد ذکر شده اثر بگذارد. در رویکرد دوم فرسایش خاک زیرسطحی کانال رودخانه گروه غالب در تولید رسوب زیر حوضه ۲ است. این موضوع با فرسایش کانال رودخانه که به صورت گسترده در زیرحوضه ۱ و ۲ حوضه تالار است همپوشانی دارد (اشتری و همکاران، ۲۰۲۳). نکته دیگری که در هر دو زیر حوضه مشترک است محدوده بیشینه شتاب زمین g (۰/۴۱ - ۰/۵) است که واحدهای ماسه سنگ و کنگلومرا در آن بیشترین مساحت را دارند و پس از آزمون‌های آماری و مدل‌سازی مشخص شد که با کم شدن شتاب در این محدوده در واحدهای ماسه سنگ و کنگلومرا میزان تولید رسوب در هر دو زیر حوضه کمتر می‌شود. واحد رسوبات آبرفتی و پادگانه‌های کواترنری در هر دو زیر حوضه نقش کمی در تولید رسوب داشته است که یکی از دلایل آن را می‌توان به گسترش کم این سازند و نیز به دلیل قرارگیری در مناطق با شیب کم دانست بنابراین از فرسایش‌پذیری کمتری برخوردار است.

عامل دیگری که در تولید رسوب در هر دو زیرحوضه نقش داشته است فرسایش کانال رودخانه است. مطابق با (شکل ۱) بیشترین مسیر رودخانه در هر دو محدوده بالای بیشینه شتاب زمین قرار دارد و قسمت‌های بسیار کمی از رودخانه‌های زیرحوضه ۲ و ۱ در محدوده پایین شتاب g (۰/۴ - ۰/۳) قرار دارند. همچنین مجاورت گسل‌ها در نزدیکی کانال‌های رودخانه گسل فیروزکوه و IRQ112 و گسترش واحدهای فرسایش‌پذیری هم چون ماسه سنگ و کنگلومرا، مارن و شیل در بستر رودخانه‌ها که فرسایش‌پذیری بالایی نسبت به سایر واحدها دارند، و نزدیکی زمین‌های کشاورزی و مسکونی در حریم رودخانه‌های سرخ آباد و شش رودبار نیز از جمله عوامل موثر در تولید رسوب است. در مجموع نتایج هر دو رویکرد، مکمل یکدیگر بوده و بیانگر این موضوع است که رویکرد دوم از طریق تحریک فرایندهای فرسایشی حتی در رویکرد اول، سبب انتقال رسوب در حوضه آبخیز شده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای اولین بار در ایران در یک حوضه آبخیز سهم واحدهای سنگ‌شناسی و کانال رودخانه و نیز در بخش‌هایی از حوضه محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در تولید رسوب با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی و تکنیک منشایی مورد بررسی قرار گرفت. ردیاب‌های ژئوشیمیایی در هر یک از منابع رسوب به خوبی در هر دو زیرحوضه گروه‌های منبع را

تفکیک کردند. طبق نتایج مدل غیر ترکیبی بیسین مشخص شد که واحدهای فرسایش پذیر سنگ شناسی در تقسیم بندی در محدوده های بیشینه شتاب زمین بسیار متفاوت تر مسئله تولید رسوب را در حوضه نمایش دادند. قرارگیری سازندهای فرسایش پذیر در محدوده های بالای بیشینه شتاب زمین سبب تسریع در روند تولید رسوب و فرسایش می شود. بنابراین می توان گفت سطوح گسترده واحدهای فرسایش پذیر سازند شمشک که ترکیبی از مارن و شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا است و قرارگیری و مجاورت با گسل های فعالی چون فیروزکوه، گسل البرز و IRQ112 سبب شده است تا این سازند بیشتر تحت تاثیر فرایندهای رسوب زایی در کل حوضه قرار بگیرد. همچنین مستعد بودن کانال رودخانه به حرکات توده ای به دلیل استفاده نامناسب از اراضی حاشیه رودخانه و قرارگیری بیشترین مسیر رودخانه در سطوح شتاب بالای زمین نیز از دلایل دیگری است که تولید رسوب را در این بخش توجیه می نماید، که با توجه به بازدیدهای گسترده میدانی قابل قبول است. نتایج این مطالعه در زمینه تاثیر بیشینه شتاب زمین بر منابع رسوب با نتایج مطالعه (اشتری و همکاران ۲۰۲۳) و (ونماکارک و همکاران، ۲۰۱۴) که به شناسایی عوامل کنترل کننده رسوبات پرداختند مطابقت دارد.

منابع

- احمدی، ف.، نصرتی، ک. و حسینزاده، م. م.، ۱۳۹۸. اثرات تغییر کاربری اراضی بر رسوبدهی حوضه کوهدشت با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۸، صص (۲۰۳۵-۲۰۲۳).
- صمدی ارغینی، ح.، فیض نیا، س.، و نظری سامانی، ع. ا.، ۱۳۹۳. بررسی سهم واحدهای سنگی در تولید رسوب با استفاده از ویژگیهای کانیشناسی و سنگشناسی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز حسن ابدال زنجان، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۶، شماره ۳، صص (۲۴۷-۲۵۷).
- فتحی زاد، ح.، کریمی، حاجی، و توکلی، م.، ۱۳۹۵. نقش حساسیت به فرسایش سازندهای زمین شناسی در فرسایش و تولید رسوب (مطالعه موردی: زیرحوزه های رودخانه دوبرج استان ایلام)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۷، شماره ۱۳، صص (۲۰۸-۱۹۳).
- نصرتی، ک.، ۱۳۹۰. منشایابی رسوب بر اساس برآورد عدم قطعیت، مجله پژوهش آب ایران، دوره ۵، شماره ۹، صص (۵۱-۶۰).
- نصرتی، ک. احمدی، ح. و شریفی، ف.، ۱۳۹۱. منشایابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت های آنزیمی خاک و رسوب، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، دوره ۱۶، شماره ۶۰، صص (۲۳۷-۲۲۶).
- نصرتی، ک.، زارع، م. ر. و جلالی، س.، ۱۳۹۸. تعیین سهم سازندهای زمین شناسی در تولید رسوب معلق با استفاده از روش منشایابی رسوب حوزه آبخیز زیارت استان گلستان، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۲، صص (۳۸۷-۳۷۹).
- محمدی رایگانی، ز.، نصرتی، ک.، ۱۳۹۹. کمی سازی سهم منابع رسوب معلق در طول رخداد سیلاب با استفاده از روش منشایابی در حوضه کمیش، شرق کرمانشاه، مرتع و آبخیزداری مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۳، شماره ۲، صص (۴۲۱-۴۰۵).
- Aiello, A., Adamo, M. and Canora, F., 2015. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *Catena*, 131, 174-581.
- Ashtari, N., Nosrati, K., Ommi, Salma. and Collins, Adrian L., 2023. Investigating the effect of seismicity on spatial sediment sources and loads using the fingerprinting approach. *Catena*, 227(2), 107091, 1-14.
- Ballantine, D., Walling, D., Collins, A. and Leeks, G., 2009. The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. *Geoderma*, 151, 141-941.

- Collins, A., Anthony, S., Hawley, J. and Turner, T., 2009. *The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. Catena*, 79, 243-250.
- Collins, A.L. and Walling, D.E., 2004. *Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography*, 28, 159 - 196.
- Collins, A.L., Walling, D.E. and Leeks, G.J.L., 1997. *Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena*, 29(1), 1-27.
- Collins, A.L. and Walling, D.E., 2002. *Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. Journal of Hydrology*, 261(1), 218-244.
- Evrard, O., Navratil, O., Ayrault, S., Ahmadi, M., Némery, J., Legout, C., Lefèvre, I., Poirel, A., Bonté, P. and Esteves, M., 2011. *Combining suspended sediment monitoring and fingerprinting to determine the spatial origin of fine sediment in a mountainous river catchment. Earth Surface Processes and Landforms*, 36(8), 1072-1089.
- Foster, I.D.L. and J.A. Lees., 2000. *Tracers in Geomorphology: theory and applications in tracing fine particulate sediments. Conference tracers in geomorphology*, 3-20.
- Fox, J. and Papanicolaou, A., 2008. *Application of the spatial distribution of nitrogen stable isotopes for sediment tracing at the watershed scale. Hydrology*, 358, 46-55.
- Gruszowski, K., Foster, I.D.L., Lees, J. and Charlesworth, S., 2003. *Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. Hydrological Processes*, 17, 2665-2681.
- Haddadchi, A., Nosrati, K. and Ahmadi, F., 2014. *Differences between the source contribution of bed material and suspended sediments in a mountainous agricultural catchment of western Iran. Catena*, 116, 105-113.
- Hughes, A. O., Olley, J. M., Croke, J. C. and McKergow, L. A., 2009. *Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia. Geomorphology*, 104(3-4), 262-275.
- Koons, P.O., Upton, P. and Barker, A.D., 2012. *The influence of mechanical properties on the link between tectonic and topographic evolution. Geomorphology*, 137(1), 168-180.
- Lamba, J., Karthikeyan, K.G. and Thompson, A.M., 2015. *Apportionment of suspended sediment sources in an agricultural watershed using sediment fingerprinting. Geoderma*, 239-240, 25-33.
- Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozgar, M. A., Merckx, R. and Vanmaercke, M., 2011. *An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints. Sediment Research*, 26, 136-151.
- Nosrati, K., 2017. *Ascribing soil erosion of hillslope components to river sediment yield. Journal of Environmental Management*, 194, 63-72.
- Nosrati, K., Collins, L. A. and Madankan, M., 2018. *Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model. Catena*, 164, 32-43
- Nosrati, K., Fathi, Z. and Collins, A.L., 2019. *Fingerprinting sub-basin spatial suspended sediment sources by combining geochemical tracers and weathering indices. Environmental Science and Pollution Research*, 26(27), 28401-28414.
- Nosrati, K. and Collins, A. L., 2019. *Investigating the importance of recreational roads as a sediment source in a mountainous catchment using a fingerprinting procedure with different multivariate statistical techniques and a Bayesian un-mixing model. Journal of Hydrology*, 569, 506-518.

- Nosrati, K., Govers, G., Semmens, B.X. and Ward, E.J., 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma*, 217-218, 173-180.
- Owens, P.N., Batalla, R.J., Collins, A.J., Gomez, B., Hicks, D.M., Horowitz, A.J., Kondolf, G.M., Marden, M., Page, M.J., Peacock, D.H., Petticrew, E.L., Salomons, W. and Trustrum, N.A., 2005. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. *River Research and Applications*, 21(7), 693-717.
- Portenga, E. W. and Bierman, P. R., 2011. Understanding earth's eroding surface with ^{10}Be . *GSA Today*, 21(8), 4-10.
- Pulley, S., Foster, I. and Antunes, P., 2015. The uncertainties associated with sediment fingerprinting suspended and recently deposited fluvial sediment in the Nene river basin. *Geomorphology*, 228, 303-913.
- Tiecher, T., Caner, L., Minella, J.P., Pellegrini, A., Capoane, V., Rasche, J.W.R., Schaefer, J.L. and Rheinheimer, D.S., 2017. Tracing sediment sources in two paired agricultural catchments with different riparian forest and wetland proportion in southern Brazil. *Geoderma*, 285, 225-239.
- Vanmaercke, M., Kettner, A.J., Eeckhaut, M.V.D., Poesen, J., Mamaliga, A., Verstraeten, G., Rădoane, M., Obreja, F., Upton, P., Syvitski, J.P.M. and Govers, G., 2014a. Moderate seismic activity affects contemporary sediment yields. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38(2), 145-172.
- Vanmaercke, M., Obreja, F. and Poesen, J., 2014b. Seismic controls on contemporary sediment export in the Siret river catchment, Romania. *Geomorphology*, 216, 247-262.
- Wallbrink, P.J., 2004. Quantifying the erosion processes and land-uses which dominate fine sediment supply to Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Journal of environmental radioactivity*, 76, 67-80.
- Walling, D. and Collins, A. L., 2008. The catchment sediment budget as a management tool, *Environmental Science & Policy*, 11, 136-143.
- Walling, D.E., Owens, P.N., Waterfall, B.D., Leeks, G.J.L. and Wass, P.D., 2000. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *The Science of the Total Environment*, 251, 205-222.
- Zhou, M., Deng, J., Lin, Y., Belete, M., Wang, K., Comber, A., Huang, L. and Gan, M., 2019. Identifying the effects of land use change on sediment export: Integrating sediment source and sediment delivery in the Qiantang River Basin, China. *Science of The Total Environment* 68, 38-49.