

## تعیین سهم منابع تولید رسوب از طریق مقایسه نتایج روش‌های تهیه نقشه سیمای فرسایش، انگشت‌نگاری و اندازه‌گیری میدانی

سعید نجفی<sup>۱</sup> و سید حمیدرضا صادقی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و <sup>۲</sup> استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۸

### چکیده

به دلیل استفاده بی‌رویه بشر از منابع طبیعی، افزایش بار رسوبی سبب مشکلات درون و برون منطقه‌ای در رابطه با حوزه‌های آبخیز شده است. برای مبارزه موثر با این پیامدها، اطلاع از ماهیت و اهمیت نسبی و منشأ منابع اصلی رسوب ضروری است. امروزه برای این منظور، روش‌های مختلفی برای تعیین منابع تولید رسوب مورد توجه قرار گرفته، لکن ارزیابی دقت و تطابق نسبی آن‌ها با یکدیگر کمتر بررسی شده است. از این‌رو، پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تطبیقی نتایج حاصل از روش‌های مبتنی بر انگشت‌نگاری رسوب، سیمای فرسایش خاک و اندازه‌گیری مستقیم منابع رسوب انجام شد. طبق نتایج حاصل به روش انگشت‌نگاری، واحد سنگ‌شناسی مارن بیشترین سهم رسوب را با ۸۵ درصد به خود اختصاص داد که با وضعیت فرسایشی شدید حاصل از نقشه سیمای فرسایش با کد  $CS_{23}R_{41}G_{42}$  مطابقت دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مستقیم نیز نشان داد که واحد سنگ‌شناسی مارن با فرسایش  $۳۴/۴$  تن در هکتار و در حالت سالانه با مقدار  $۱۴۰۲۳$  تن فرسایش در رتبه نخست قرار می‌گیرد و واحدهای دیگر شامل رسوبات رودخانه‌ای جدید و رسوبات آبرفتی قدیم به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند که این نتایج نیز منطبق با نتایج انگشت‌نگاری رسوب بوده است. در مجموع، اختلافات موجود در نتایج حاصل از روش‌های انگشت‌نگاری رسوب، نقشه سیمای فرسایش و اندازه‌گیری مستقیم به دلیل رویکرد کمی و یا کیفی بررسی وضعیت فرسایش در روش‌های مذکور و عدم لحاظ نسبت تحویل رسوب و سایر فرآیندهای حاکم بر انتقال رسوب بوده است که استفاده هم‌زمان و ترکیبی آن‌ها برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد را مورد تاکید قرار می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** انگشت‌نگاری ترکیبی، بار رسوبی، تحلیل تشخیص، حوزه آبخیز ایده‌لو، منابع رسوب

### مقدمه

دشت‌های سیلابی و مجموعه‌های آبی، کاهش کیفیت آب و خسارت به آبریان شده است (Collins و همکاران، ۱۹۹۷a, c؛ Russell و همکاران، ۲۰۰۱؛ Ziegler و Juracek، ۲۰۰۹). بر همین اساس، مقابله با مشکلات فوق، توسعه و ارائه برنامه‌های مدیریتی برای حفاظت خاک و کنترل رسوب، درک ملموس‌تر از

استفاده بی‌رویه بشر از منابع طبیعی روند طبیعی تولید رسوب را مختل نموده و در حال حاضر به عنوان یک تهدید مطرح شده است. این افزایش بار رسوبی سبب مشکلاتی در مدیریت رضایت‌بخش اراضی و بهره‌برداری از منابع آب، رسوب‌گذاری در مزارع،

به دلیل وجود مشکلات یادشده در زمینه استفاده از روش‌های سنتی، در سال‌های اخیر روش انگشت‌نگاری<sup>۱</sup> رسوبات به‌عنوان روشی جایگزین و قابل اطمینان برای تعیین سهم منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آن‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است (Walling, ۲۰۰۵ و Carreras و همکاران، ۲۰۱۰).

انگشت‌نگاری رسوب براساس فرض ارتباط بین ردیاب‌های رسوبات معلق و منابع متناظر رسوب در سطح حوضه استوار است که امکان تشخیص منابع بالقوه تولید رسوب و میزان سهم هر منبع در رسوب خروجی از حوضه براساس خصوصیات انگشت‌نگاری را فراهم می‌کند (Walling و همکاران، ۲۰۰۶). در این روش، از خصوصیات رسوبات معلق و مواد منبع به‌عنوان ردیاب‌های طبیعی استفاده شده؛ به‌طوری که اگر از مناطق بالقوه برای تولید رسوب نمونه‌برداری به‌عمل آمده و مورد تجزیه و تحلیل خصوصیات ردیابی قرار گیرد، آن‌گاه می‌توان از روش انگشت‌نگاری در راستای تعیین منشأ رسوبات بهره جست (Woodward و همکاران، ۲۰۰۱؛ Walling و Collins، ۲۰۰۲؛ Hakimkhani و Ahmadi، ۲۰۰۷).

از نظر رویکرد محاسباتی انگشت‌نگاری رسوب شامل دو مرحله اصلی است به‌طوری که نخست چند ردیاب تشخیص‌گر برای جدایش واضح و معنی‌دار منابع بالقوه رسوب انتخاب می‌شوند و در مرحله دوم ردیاب‌های انگشت‌نگاری انتخاب شده در منابع بالقوه رسوب با مقادیر متناظر آن‌ها در نمونه‌های مستخرج از رسوب معلق اخذ شده در خروجی حوضه برای تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب حوضه مورد مقایسه قرار می‌گیرند (Collins و همکاران، ۱۹۹۷c، Collins و Walling، ۲۰۰۲؛ Hakimkhani و همکاران، ۲۰۰۷).

از بررسی تحقیقات انجام شده می‌توان جمع‌بندی نمود که در بسیاری از مطالعات انگشت‌نگاری فقط از یک گروه خصوصیت، شامل استفاده از خصوصیات کانی‌شناسی (Wood، ۱۹۷۸؛ Hsieh و Klages، ۱۹۷۵؛ Lewin و Grimshaw، ۱۹۸۰؛

سیستم رسوب‌دهی و بیلان رسوب، توسعه مدل‌های رسوب‌دهی توزیعی (Campbell و همکاران، ۱۹۸۸؛ Collins و همکاران، ۱۹۹۷a، ۱۹۹۸)، تفسیر رسوب‌دهی حوضه‌ها بر حسب سیستم‌های متفاوت مدیریت اراضی (Collins و همکاران، ۱۹۹۸) و تفسیر داده‌های تولید رسوب بر حسب عوامل اقلیم و فیزیوگرافی و مقدار و توزیع مکانی فرسایش مستلزم اطلاع از ماهیت و اهمیت نسبی و منشأ منابع اصلی رسوب در داخل حوزه‌های آبخیز می‌باشد (Collins و همکاران، ۱۹۹۷a، c، ۱۹۹۸؛ Walling و Collins، ۲۰۰۲؛ Krause و همکاران، ۲۰۰۳؛ Walling، ۲۰۰۵؛ Smith و Dragovich، ۲۰۰۸؛ Juracek و Ziegler، ۲۰۰۹؛ Hakimkhani و همکاران، ۲۰۰۷). از سویی، با توجه به محدودیت‌های مالی و نیاز به تمرکز برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب در مناطق بحرانی از نظر تولید رسوب و استفاده بهینه از منابع موجود مالی، اهمیت تعیین مناطق با بیشترین سهم تولید رسوب دوچندان می‌گردد (Walling و همکاران، ۲۰۰۸).

برای تعیین منابع رسوب و سهم آن‌ها در تولید رسوب به‌طور کلی دو رویکرد سنتی و جدید وجود دارد. از میان روش‌های سنتی می‌توان به میخ‌های فرسایشی (Collins و همکاران، ۱۹۹۷b؛ Walling، ۲۰۰۵)، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از طریق عکس‌ها و مشاهدات صحرایی، استفاده از پلات‌های فرسایشی برای تعیین شدت تلفات خاک از منابع سطحی (McCool و همکاران، ۱۹۸۱؛ Collins و Walling، ۲۰۰۲؛ Walling، ۲۰۰۵)، پایش رسوب و ارزیابی تولید رسوب از زیر حوضه‌ها (Collins و همکاران، ۱۹۹۷b؛ Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۵)، پایش شیارها و آب‌کندها (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۵)، استفاده از نیمرخ سنج‌ها و اندازه‌گیری از طریق عکس‌های هوایی با استفاده از نقشه توپوگرافی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (Collins و همکاران، ۱۹۹۷c، Sadeghi، ۲۰۰۵) اشاره کرد. اما کاربرد این روش‌ها به زمان و هزینه زیادی نیاز دارد و هنگامی که تعیین اهمیت نسبی منابع مختلف رسوب مدنظر قرار می‌گیرد. روش‌های سنتی نیز با تنگناهای اجرایی و مشکلات نمونه‌برداری زمانی و مکانی مواجه می‌شوند.

<sup>1</sup> Fingerprinting

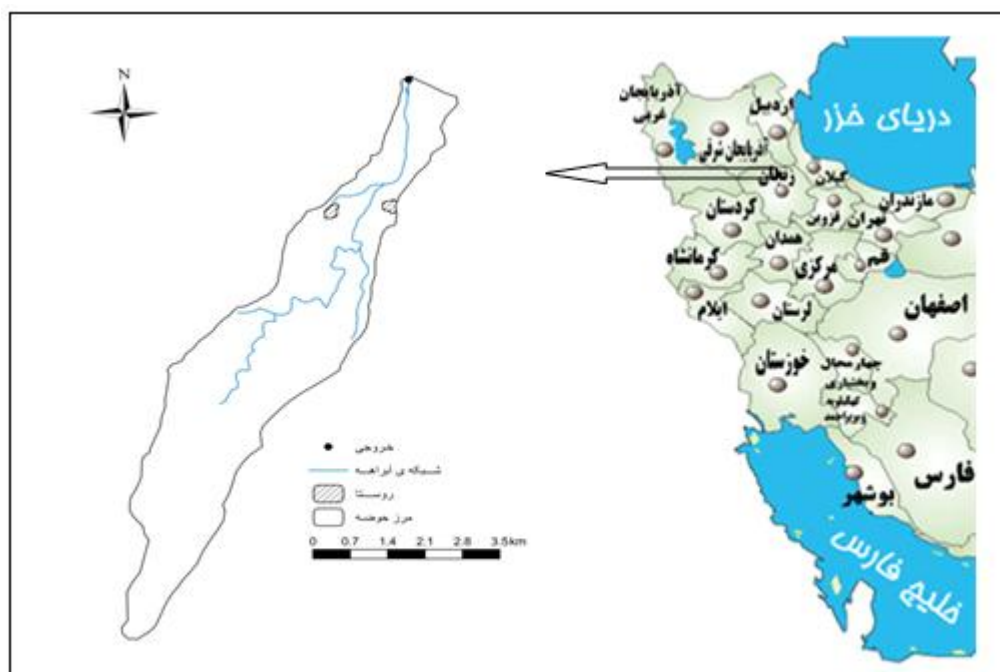
به عبارتی اندازه‌گیری‌های صحرایی در سطوح حوزه آبخیز بوده که ضرورت انجام تحقیقات در این زمینه را تایید می‌نماید. بر همین اساس، در این پژوهش سعی شده است علاوه بر بررسی کارایی روش انگشت‌نگاری ترکیبی، تعیین ترکیب مناسبی از ردیاب‌های قادر به تفکیک منابع رسوب، تعیین سهم منابع رسوب در رسوب خروجی از حوزه آبخیز و مقایسه نتایج حاصل از روش انگشت‌نگاری با نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری مستقیم تولید رسوب در واحدهای سنگ‌شناسی با توجه به سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبکندی مدنظر قرار گیرد. این تحقیق در حوزه آبخیز ایده‌لو از زیرحوزه‌های آبخیز بزرگ سفیدرود در استان زنجان به‌علت وجود سابقه تحقیقاتی، امکان پایش و اهمیت زیاد تحویل رسوب به سد سفیدرود انجام پذیرفته است.

#### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز ایده‌لو از زیرحوزه‌های آبخیز رودخانه زنجان رود است که در ۵۵ کیلومتری شمال‌غرب استان زنجان در مسیر جاده ترانزیتی زنجان - میانه واقع شده است (شکل ۱). این آبخیز با مساحت ۱۹۶۹ هکتار در محدوده  $32' 51''$  تا  $36' 48''$  عرض شمالی و  $38' 01''$  تا  $36' 36''$  طول شرقی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه از نظر سازند زمین‌شناسی مربوط به رسوبات مارنی دوره میوسن می‌باشد. رسوبات مارنی این منطقه از نوع رس‌های گچ‌دار همراه با ماسه ریزدانه است. این رسوبات به‌دلیل داشتن بافت ریز و املاح آهکی و گچی، در هنگام بارندگی، با شسته شدن املاح بین آن‌ها به‌صورت دانه‌های رس وارد آبراهه‌های فرعی و در نهایت رودخانه اصلی می‌شوند. انواع فرسایش خاک شامل سطحی، شیاری و انحلالی در منطقه مشاهده می‌شود. در سطوح شیب‌دار عاری از پوشش گیاهی، فرسایش سطحی بسیار شدیدتر است و فرسایش انحلالی منجر به ایجاد آب‌کنند در شیب‌های ملایم‌تر بر اثر نفوذ رواناب می‌شود. بر اساس آمارهای موجود میانگین بارندگی دوره آماری ۳۰ ساله این منطقه (۱۳۸۰-۱۳۵۰) حدود ۲۵۰ میلی‌متر بوده و بخش عمده‌ای از بارش طی دی تا اردیبهشت

Carreras و همکاران، ۲۰۱۰)، خاصیت مغناطیسی کانی‌ها (Bonnet و همکاران، ۱۹۸۹)، شیمیایی (Ishida و همکاران، ۲۰۱۰)، مواد آلی (Hasholt، ۱۹۸۸)، رادیواکتیوی (Wallbrink و همکاران، ۱۹۹۸)، و خصوصیات فیزیکی (Santiago و همکاران، ۱۹۹۲) بهره‌جسته‌اند. اما اخیراً بسیاری از محققین معتقدند که استفاده از تنها یک خصوصیت ردیابی منجر به نتایج غیرواقعی از سهم و شرکت منابع در تولید رسوب می‌شود (Collins و همکاران، ۱۹۹۸؛ Collins و Walling، ۲۰۰۲)؛ همین امر سبب استفاده از چند خصوصیت یا چند گروه خصوصیات به‌طور هم‌زمان در انگشت‌نگاری رسوبات شد که می‌تواند شامل استفاده از چندین خصوصیت انگشت‌نگاری از یک گروه یا چند گروه ردیاب باشد. در این مورد می‌توان به استفاده از چندین خصوصیت در قالب یک گروه مانند خصوصیات رادیواکتیوی (Oldfield و Clark، ۱۹۹۰؛ Wallbrink و همکاران، ۱۹۹۸)، ژئوشیمیایی (Miller و همکاران، ۲۰۰۵) یا چندین گروه خصوصیت مانند خصوصیات ژئوشیمیایی، رادیواکتیوی و آلی (Walling و همکاران، ۱۹۹۳؛ Foster و Walling، ۱۹۹۴؛ Woodward، ۱۹۹۵؛ Collins و همکاران، ۱۹۹۶؛ Collins و همکاران، ۱۹۹۷c؛ Jenns و همکاران، ۲۰۰۲) اشاره کرد. از سویی، عمده مطالعات در زمینه نوع منابع رسوب چه به‌صورت کیفی یا کمی و یا با استفاده از یک یا چند گروه خصوصیت ردیابی معطوف به حوزه‌های آبخیز کوچک‌تر از ۵۰ کیلومترمربع بوده است (Collins و همکاران، ۱۹۹۷b؛ Russell و همکاران، ۲۰۰۱؛ Smith و Dragovich، ۲۰۰۸). این در حالی است که اکثر مطالعات منشأیابی در حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر از ۵۰۰ کیلومترمربع با وجود تنوع سنگ‌شناسی محدود به منشأیابی مکانی شده است که دلیل این امر ارائه نتایج غیر واقعی روش انگشت‌نگاری رسوب در حوضه‌های بزرگ‌تر براساس نوع منابع سطحی و زیرسطحی می‌باشد (Collins و همکاران، ۱۹۸۸). همچنین، جمع‌بندی سوابق پژوهش مستند موجود دلالت بر عدم توجه سوابق یاد شده به ارزیابی مقایسه‌ای نتایج حاصل از هر یک از شیوه‌های به‌کار گرفته شده و مقادیر واقعی و یا

می‌بارد. براساس طبقه‌بندی دومارتن، جزء اقلیم نیمه‌خشک سرد است (Abdi و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۱- موقعیت قرارگیری حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان و ایران (راست) و سیمای عمومی و شبکه زهکشی (چپ)

شد به‌طوری که طبق امتیازات حاصل از روش BLM طبقه فرسایشی برای هر واحد از مقاوم به فرسایش (امتیاز ۰ تا ۲۰) تا فرسایش خیلی شدید (امتیاز ۸۰ تا ۱۰۰) طبقه‌بندی شد و به‌ترتیب براساس شدت فرسایش موجود در واحد کاری حروف A تا E اختصاص داده شد که این حروف شدت فرسایش در حالت کلی را برای واحد مربوطه بیان می‌کند. برای دقیق‌تر شدن نتایج، سه پدیده فرسایشی سطحی (S)، شیاری (R) و آبکندی (G) مد نظر قرار گرفتند که دو کد را به خود اختصاص می‌دهند. زیرنویس اول یکی از طبقات ۱ تا ۵ را شامل می‌شود و بیان‌گر شدت فرسایش واقع بر این پدیده‌ها می‌باشد. زیرنویس دوم حاصل سطح پوشش هر پدیده بوده و یکی از کدهای ۱ تا ۴ را به خود اختصاص داده و به ترتیب برای سطوح پوششی ۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد استفاده شد. به‌طور کلی یک واحد کاری با کدی مثل  $BS_{23}R_{21}G_{42}$  نشان داده می‌شود. از سویی، برای اندازه‌گیری‌های صحرائی نیز با توجه به واحدهای کاری به‌دست آمده اقدام به نصب پلات‌های سطحی در هر واحدکاری با سه تکرار و مجموعاً ۱۲ پلات به ابعاد یک متر و مساحت یک مترمربع شد. در مورد

**اندازه‌گیری‌های صحرائی:** به‌منظور ارزیابی نتایج به‌دست آمده از کاربرد مدل چند متغیره ترکیبی لازم بود تا مشاهدات صحرائی و اندازه‌گیری‌های مستقیم صحرائی نیز صورت پذیرد. بر همین اساس، با استفاده از روش دفتر مدیریت اراضی<sup>۱</sup> و با استفاده از نقشه شیب، تیپ اراضی و زمین‌شناسی، ابتدا اقدام به تعیین واحدهای کاری نیمه‌همگن شد (Sadeghi، ۲۰۰۵). با بررسی‌های صحرائی و اصلاح و به‌روز رسانی کاربری‌ها و واحدهای نیمه‌همگن، واحدهای همگن به‌دست آمدند. دو واحد از واحدهای حاصل به‌علت عدم دسترسی آسان و کاربری زراعی آن‌ها و طبعاً احتمال تخریب پلات‌ها، کنار گذاشته شد. در استفاده از نقشه شیب به‌علت مساحت کم شیب‌های بالاتر از ۱۵ درصد و محدود به تپه‌های منفرد، این بخش از شیب‌ها در طبقه شیب ۵-۱۵ درصد ادغام شد. برای تعیین نقشه سیمای فرسایش در واحدهای به‌دست آمده از رویکرد امتیازدهی به عوامل روش دفتر مدیریت اراضی استفاده شد. در راستای افزایش دقت نقشه ایجاد شده از روش ارائه شده توسط Sadeghi (۲۰۰۵) استفاده

<sup>۱</sup> Bureau of Land Management

عناصر ژئوشیمیایی بعد از هضم به وسیله چهار اسید  $HNO_3$ ،  $HClO_4$ ،  $H_2SO_4$  و  $HF$  (Marin و همکاران، ۲۰۰۱) به روش طیفسنجی نشری نوری پلاسمای جفت شده القایی<sup>۱</sup>، فسفر قابل جذب به روش اولسن، کربن آلی به روش والکی و بلاک و نیتروژن کل به روش کج‌دال (Carter و Gregorich، ۲۰۰۸) اندازه‌گیری شد.

**منشأیابی ترکیبی و کمی:** برای تعیین ترکیب ردیاب‌های منشأیاب از یک روش آماری دو مرحله‌ای استفاده شد. در مرحله اول، برای بررسی بیشتر و تایید مرحله دوم از آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها بهره گرفته شد. در صورت نرمال بودن توزیع ردیاب از آزمون مشخصه‌ای تجزیه واریانس (آزمون F) و در غیر این صورت از آزمون غیر مشخصه‌ای Kruskal-Wallis H استفاده شد (Collins و همکاران، ۲۰۱۰a). برای کاهش تعداد ردیاب‌های انتخاب شده برای منشأیابی در مرحله دوم از تحلیل تشخیص<sup>۲</sup> استفاده شد. در این مرحله، ترکیبی ردیاب‌ها طوری انتخاب شد که توان تفکیک منابع رسوب از یکدیگر را داشته باشد. برای تحلیل تشخیص فرض‌های متصور بر آن (Tabachnick و Fidell، ۲۰۰۷) محقق شد. برای این منظور، ابتدا فرض توزیع نرمال متغیرها با استفاده از آزمون Kolmogrov-Smirnov برای حالت تک‌متغیره و نمودار مربع فاصله Mahalanobis در مقابل مربع کای برای حالت چند متغیره استفاده شد (Hair و همکاران، ۲۰۱۰). فرض برابری ماتریس کوواریانس گروه‌ها از طریق آزمون Box' M و فرض هم‌خطی چندگانه<sup>۳</sup> نیز با معیارهای عدد تحمل<sup>۴</sup> و عامل تورم واریانس<sup>۵</sup> بررسی شدند. حد آستانه قابل قبول برای عدد تحمل ۰/۱ و برای عامل تورم واریانس ۱۰ مدنظر قرار گرفت (Hair و همکاران، ۲۰۱۰). در نهایت، با استفاده از تحلیل تشخیص گام به گام (Collins و همکاران، ۲۰۱۰b) با لحاظ معیار مربع فاصله Mahalanobis، ترکیبی مناسب از ردیاب‌های قادر به جداسازی منابع

شیارها نیز در هر واحدکاری با سه تکرار شیارهایی با طول بیش از ۱۰ متر انتخاب و مقطع عرضی آن‌ها در سه مقطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از طول آن‌ها اندازه‌گیری (Sadeghi، ۲۰۱۰) شدند. در مورد آبکندها نیز به علت شرایط سخت منطقه، ابعاد بسیار بزرگ آبکندها و محدودیت‌های مالی تنها در دو واحدکاری با سه تکرار به روش پایش شیارها اقدام به اندازه‌گیری شد. در مورد اندازه‌گیری‌های مربوط به آبکندها و شیارها از پیکه‌هایی چوبی (Sadeghi، ۲۰۱۰) به‌عنوان مبنای اندازه‌گیری استفاده شد تا دقت مورد نظر تامین شود. در طول دوره مطالعه یک‌ساله با توجه به حساسیت زیاد منطقه به فرسایش دو بار اقدام به اندازه‌گیری شیارها و آبکندها شد. در مورد پلات‌ها نیز رواناب و رسوب حاصل از بارندگی‌ها به‌صورت تجمعی در چند نوبت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

**نمونه‌برداری از منابع تولید و ته‌نشست رسوب:** نمونه‌برداری خاک در واحدهای کاری با رخساره فرسایشی سطحی، شیاری و آبکندی به ترتیب از اعماق زیر ۲، ۲ تا ۳۰ و بیش از ۳۰ سانتی‌متر به مقدار پنج تا ۱۰ نمونه ۱/۵ تا دو کیلوگرمی صورت گرفت. به طوری که سعی شد تا از هر طبقه شیب، حداقل یک نمونه از مکان‌های فعال رخساره‌های فرسایشی برداشت شده باشد. در کل، ۵۰ نمونه از واحدهای سنگ‌شناسی به‌دست آمد. برای نمونه‌های رسوب هم از بستر رودخانه و محل ورود رودخانه‌ی فرعی به رودخانه اصلی از عمق کم‌تر از ۱۵ سانتی‌متری به تعداد شش نمونه برداشت شد.

**آنالیزهای آزمایشگاهی:** نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه در هاون کوبیده شده و با استفاده از دستگاه لرزاننده با الکترون ۶۳ میکرون الک شد. بعد از انجام مراحل نمونه‌برداری با توجه به امکانات موجود و انحلال‌پذیری عناصر (Foster و Walling، ۱۹۹۴؛ Collins و همکاران، ۱۹۹۷a؛ Collins و Walling، ۲۰۰۲؛ Walling، ۲۰۰۵)، ۱۶ عنصر آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، سلنیوم (Se)، وانادیوم (V)، روی (Zn) و نیتروژن کل (N)، کربن آلی (C) و فسفر قابل جذب (P) انتخاب شدند. تجزیه آزمایشگاهی و تعیین غلظت

<sup>1</sup> Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, ICP-OES

<sup>2</sup> Discriminant Analysis

<sup>3</sup> Multicollinearity

<sup>4</sup> Tolerance

<sup>5</sup> Variance Inflation Factor

پژوهش نیز از کمینه‌سازی مجموع مربعات باقی‌مانده به‌عنوان تابع هدف استفاده شد.

$$R = \sum_{i=1}^m \left\{ x_i - \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} P_j}{x_i} \right) \right\}^2 \quad (4)$$

با حل این معادله سهم تمام واحدهای سنگ‌شناسی برای هر نمونه رسوب به‌صورت جداگانه به‌دست آمد که در نهایت با میانگین‌گیری از سهم واحدها، مقدار متوسط سهم هر واحد سنگ‌شناسی در تولید رسوب تعیین شد (Ahmadi و Hakimkhai، ۲۰۰۸).

### نتایج و بحث

شکل ۲ واحدهای کاری حاصل از روش تهیه سیمای فرسایش خاک منطقه را نشان می‌دهد. شش واحدکاری نیمه‌همگن حاصل این مرحله بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، دو واحد  $CS_{13}R_{31}G_{32}$  و  $BS_{13}R_{11}G_{32}$  به‌علت دوری از خروجی آبخیز و همچنین، محدودیت‌های مالی و عملیاتی برای اندازه‌گیری مستقیم فرسایش کنار گذاشته شد. برای قابل مقایسه کردن اعداد حاصل از انواع فرسایش، عامل سطح هر یک از پدیده‌های فرسایشی در فرسایش و حجم تهی‌شدگی آن‌ها دخالت داده شد، به‌طوری که سطح تحت تاثیر هر شیار ۱۰۰ مترمربع و میانگین تعداد آبکند در واحد مارن و رسوبات رودخانه‌ای جدید به‌ترتیب سه و یک آبکند در نظر گرفته شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر منفی و مثبت در فرسایش شیاری و آبکندی به‌ترتیب حجم تهی‌شدگی و پرشدگی را نشان می‌دهند. این نتایج با یافته‌های Abdi و همکاران (۲۰۰۹) در رابطه با میزان رسوب تولیدی از دامنه‌های با فرسایش سطحی و شیاری با تراکم کم، در حدود ۱۵ تن بر هکتار هم‌خوانی دارد.

براساس سطح پوشش هر یک از واحدهای کاری و لحاظ میانگین رسوب تولیدی هر کدام از آن‌ها سهم هر واحد در تولید رسوب به شرح ارائه شده در جدول ۲ محاسبه شد.

از یکدیگر انتخاب شد. برای بررسی توان طبقه‌بندی حاصل از تابع تحلیل تشخیص از معیارهایی چون معنی‌داری توابع، درصد طبقه‌بندی صحیح با توجه به گروه‌های با تعداد نمونه نامساوی و لحاظ معیار شانس و آماره Press's Q استفاده شد.

**تعیین کمی سهم انواع واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوب:** برای کمی کردن میزان مشارکت هرکدام از واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوب از مدل چندمتغیره ترکیبی استفاده شد (Collins و همکاران، ۱۹۹۷a؛ Owens و همکاران، ۱۹۹۹؛ Miller و همکاران، ۲۰۰۵؛ Minella و همکاران، ۲۰۰۸؛ Collins و همکاران، ۲۰۱۰c). در مدل‌های یادشده براساس فرض خطی بودن رابطه بین ردیاب‌های مواد منبع رسوب و نمونه‌های رسوب، از برنامه‌نویسی خطی برای حل این معادلات استفاده شد. بر همین اساس، رابطه ترکیبی برای هر یک از ردیاب‌ها به‌صورت رابطه (۱) در نظر گرفته شد.

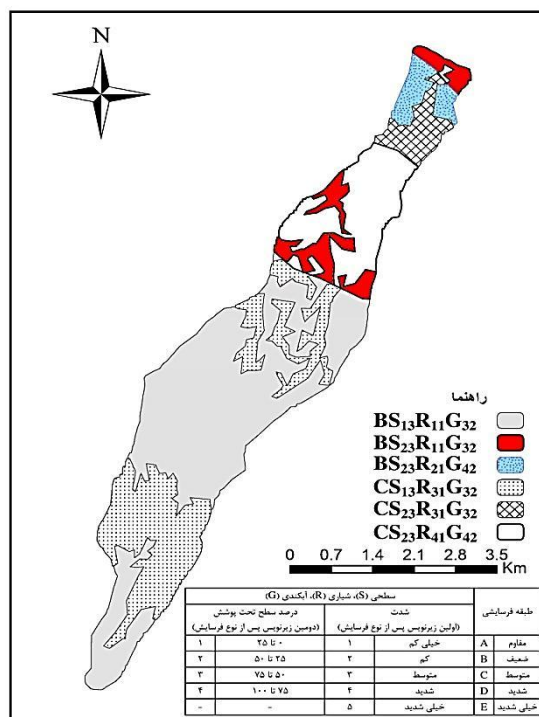
$$C_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j \quad (1)$$

که در آن،  $C_i$  برابر با مقدار برآوردی ردیاب  $i$ ام برای نمونه‌های رسوب ( $m$  و ... و ۲ و ۱)،  $a_{ij}$  مقدار میانگین ردیاب  $i$ ام در واحد سنگ‌شناسی  $j$ ام ( $n$  و ... و ۲ و ۱)،  $P_j$  میانگین مشارکت نسبی واحد سنگ‌شناسی  $j$ ام (که نامعلوم بوده و به‌وسیله مدل محاسبه خواهد شد)،  $n$  تعداد واحدهای سنگ‌شناسی و  $m$  تعداد ردیاب‌های انتخاب شده می‌باشد. از آنجایی که فرض می‌شود ردیاب‌ها و ویژگی‌های آن‌ها در نمونه‌های رسوب کاملاً وابسته به مواد منبع واحدها می‌باشند و این ردیاب‌ها تنها از این واحدها ناشی می‌شوند، بنابراین نتایج حاصل، مشروط به دو محدودیت ( $P_j$ ) زیر می‌باشند:

$$0 \leq P_j \leq 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1 \quad (3)$$

به‌علت این‌که در چنین مدل‌هایی، رابطه (۱) برای تمام ردیاب‌ها تکرار می‌شود، بنابراین تعداد معادلات بیشتری نسبت به متغیرهای مجهول وجود خواهد داشت. برای حل این معادلات از روش بهینه‌سازی تابع هدف و تکرار عملیات استفاده می‌شود که در این



شکل ۲- نقشه سیمای فرسایش حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان به روش تهیه نقشه سیمای فرسایش

جدول ۱- نتایج نسبی تولید رسوب حاصل از انواع فرسایش (تن در هکتار) و تغییرات حجم اندازه‌گیری شده در واحدهای کاری

مجموع میانگین فرسایش هر واحد	فرسایش سطحی			فرسایش شیاری			فرسایش آبکندی			واحد کاربری	واحد کارشناسی			
	تکرار	میانگین	۱	تکرار	میانگین	۱	تکرار	میانگین	۱					
۲۶/۲۰	۶/۲۴	-	۶/۲۴	-۳/۵۵۳	-۶/۴۸	-۱۲/۱۵	۷/۹۷	۹/۰۳	۹/۱۹	۷/۷۴	۱۰/۱۷	BS <sub>23</sub> R <sub>21</sub> G <sub>42</sub>	رسوبات رودخانه‌ای جدید	
۳۴/۴۰	-	-	-	-۱۲/۴۲	-۳۲/۱۳	-۰/۸۱	-۴/۳۲	۱۴/۸۶	-	-	۱۴/۸۶	CS <sub>23</sub> R <sub>31</sub> G <sub>32</sub>	مرتع	
	-	-	-	-۱۱/۳۰	-۱۲/۴۲	۴/۰۵	-۲۵/۵۱	۱۶/۶۵	-	۹/۱۴	۲۴/۱۶	CS <sub>23</sub> R <sub>41</sub> G <sub>42</sub>	مارن	
	۸/۴۵	۱۰/۵۷	۶/۳۲	-	-۱۷/۸۲	-۵۵/۸۹	-۲/۳	۴/۷۳	۶/۰۶	۹/۱۵	۵/۷۷	۳/۲۷	BS <sub>23</sub> R <sub>11</sub> G <sub>32</sub>	کشاورزی

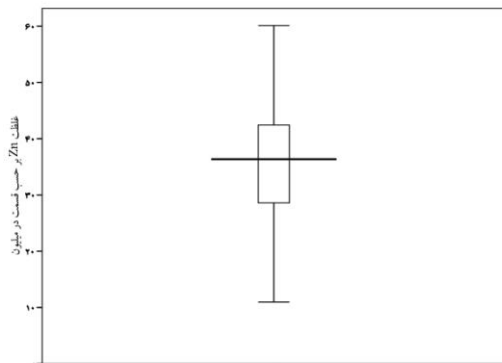
جدول ۲- رسوب تولیدی کل و میزان مشارکت در تولید رسوب برای هر واحدکاری

واحد سنگ‌شناسی	واحد کاری	مساحت تحت پوشش (هکتار)	مساحت (درصد)	میانگین رسوب تولیدی (تن در هکتار)	کل رسوب تولیدی (تن)	مشارکت در تولید رسوب (درصد)
رسوبات رودخانه‌ای جدید	BS <sub>23</sub> R <sub>21</sub> G <sub>42</sub>	۷۱/۹۰	۳/۶۵	۲۶/۲۰	۴۱۸۴/۱۴	۲۰/۱۴
جدید	CS <sub>23</sub> R <sub>31</sub> G <sub>32</sub>	۸۷/۸۰	۴/۴۶	-	-	-
مارن	CS <sub>23</sub> R <sub>41</sub> G <sub>42</sub>	۲۸۱/۴۳	۱۴/۲۹	۳۴/۴۰	۱۴۰۲۳/۱۶	۶۷/۵۰
	BS <sub>23</sub> R <sub>11</sub> G <sub>32</sub>	۱۲۶/۲۲	۶/۴۱	-	-	-
تراس‌های آبرفتی قدیم	CS <sub>13</sub> R <sub>31</sub> G <sub>32</sub>	۴۷۱/۲۸	۲۳/۹۳	۱/۸۳	۲۵۶۸	۱۲/۳۶
	BS <sub>13</sub> R <sub>11</sub> G <sub>32</sub>	۹۳۰/۳۷	۴۷/۲۵	-	-	-

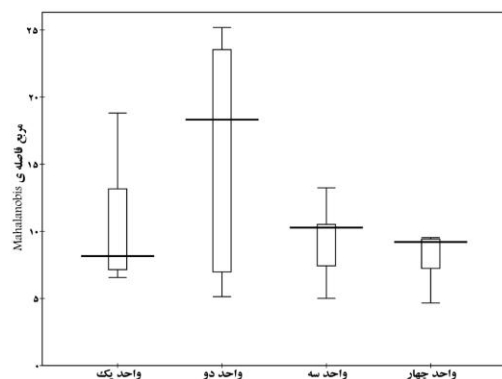
است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از بین تمام عناصر اختلاف میانگین‌های هفت عنصر شامل As، Cu، Fe، Ni، Zn و N به جز در مورد Fe در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است که این

قبل از بررسی فرض‌های مربوط به آنالیز تشخیص و ورود به بحث تعیین ترکیب انگشت‌نگاری، توانایی ردیاب‌ها در جدایش واحدهای سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده

آزمون Box' M تحقق این فرض را نشان داد و در مورد هم‌خطی چندگانه نتایج به صورت جدول ۳ ارائه شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هیچ عنصری وجود ندارد که مقدار آن از آستانه ۰/۱ و ۱۰ به ترتیب برای عدد تحمل و عامل تورم واریانس بیشتر باشد، بنابراین فرض عدم وجود هم‌خطی بین عناصر جهت استفاده از آنالیز تشخیص تحقق یافته است.



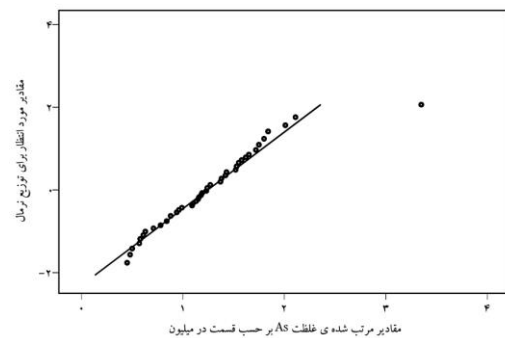
شکل ۴- نمودار جعبه‌ای غلظت Zn در نمونه‌های منبع مواد رسوبی موجود در حوزه آبخیز ایده‌لو



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای مربع فاصله Mahalanobis به تفکیک واحدهای کاری در حوزه آبخیز ایده‌لو

جدول ۴ مراحل مختلف اضافه شدن عناصر ردیاب و تاثیر آن‌ها در افزایش توان جداسازی تابع تحلیل تشخیص را نشان می‌دهد. در هر مرحله متغیری وارد تابع شده است که با توجه به بیشترین حداقل مربع فاصله Mahalanobis (Hair و همکاران، ۲۰۱۰)، در سطح پنج درصد نیز معنی‌دار باشد. طبق نتایج، با اضافه شدن عناصر در گام‌های مربوطه، مربع فاصله Mahalanobis افزایش و معیار Wilks Lambda کاهش یافته است که به افزایش توان جداسازی تحلیل

نشان‌دهنده توانایی این عناصر در تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی از یکدیگر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این عناصر جزء ردیاب‌هایی هستند که در اکثر مطالعات توانایی تفکیک منابع مورد نظر به وسیله آن‌ها تایید شده است (Collins و همکاران، ۱۹۹۷c؛ Collins و Walling، ۲۰۰۲؛ Collins و همکاران، ۲۰۱۰b, c). اما به طور مشخص در مورد واحدهای سنگ‌شناسی می‌توان به نتایج Collins و همکاران (۱۹۹۶) و Collins و همکاران (۱۹۹۸) اشاره کرد که عناصر فوق را به عنوان ردیاب گزارش کرده‌اند. با توجه به آزمون نرمال یک متغیره و نمودارهای چندک-چندک برای منابع رسوب به جز چهار مورد AI، N، OC و P، بقیه عناصر از توزیع نرمال تبعیت کرده‌اند. نمودار چندک-چندک As به طور نمونه در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- نمودار چندک-چندک برای غلظت As در نمونه‌های منبع مواد رسوبی طی مطالعه حاضر در حوزه آبخیز ایده‌لو

از سوئی، با توجه به این‌که اکثر داده‌ها از توزیع نرمال تک متغیره برخوردار بوده و از حیث چند متغیره نیز نرمال بودند. لذا، می‌توان فرض نرمال بودن داده‌ها را محقق شده فرض نمود. از سوئی، هنگامی که غیر نرمال بودن ناشی از چولگی باشد (Tabachnick و Fidell، ۲۰۰۷) نیز می‌توان این فرض را نادیده گرفت. بر همین اساس و به سبب عدم وجود داده‌های پرت در بررسی حاضر، عدم نرمال بودن توزیع بعضی از عناصر به چولگی آن‌ها نسبت داده شد که تاثیری منفی بر نتایج نداشته است. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب عدم وجود داده پرت تک متغیره به صورت نمونه برای Zn و چندمتغیره را برای کل واحدها نشان می‌دهند. در مورد برابری ماتریس کواریانس گروه‌ها عدم معنی‌داری



۱۳ درصد توسط تابع اول و دوم بیان شده است. جدول ۵ مشخصات توابع حاصل برای واحدهای سنگ‌شناسی را نشان می‌دهد.

**جدول ۴- گام‌های ورود عناصر به مدل براساس حداقل فاصله Mahalanobis و تاثیر آن‌ها بر توان جداسازی تحلیل تشخیص برای انواع فرسایش در حوزه آبخیز ایده‌لو**

عناصر	مربع فاصله Mahalanobis	شاخص Wilks' Lambda	معنی‌داری F	سطح تورم	عامل درصد تجمعی
As	۰/۹۴۳	۰/۶۰۵	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۶۶
N	۱/۹۶۵	۰/۳۸۹	۰/۰۰۰	۱/۰۶۸	۷۶
Cu	۴/۲۹۴	۰/۲۲۷	۰/۰۰۰	۱/۰۴۸	۷۶
Zn	۶/۰۵۲	۰/۱۹۲	۰/۰۲۵	۱/۵۰۶	۸۰
Fe	۶/۶۷۵	۰/۱۵۲	۰/۰۰۷	۱/۲۹۷	۹۰
OC	۷/۱۶۲	۰/۱۲۶	۰/۰۲۰	۱/۱۹۹	۹۲
Co	۷/۲۹۵	۰/۱۰۳	۰/۰۱۴	۳/۹۰۶	۹۲

**جدول ۵- مشخصات توابع تشخیص حاصل برای واحدهای سنگ‌شناسی**

تابع	۱	۲
مقدار مشخصه	۳/۱۰۵	۱/۲۷۰
درصد واریانس	۷۱	۲۹
درصد تجمعی واریانس	۷۱	۱۰۰
همبستگی کانونی	۰/۸۷۰	۰/۷۴۸
بیان درصد تغییرات	۷۶	۱۳
آماره Wilks-Lambda	۰/۱۰۷	۰/۴۴۱
مربع کای	۹۹/۳۱۸	۳۶/۴۷۸
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

درصد طبقه‌بندی صحیح به‌دست آمده از نتایج طبقه‌بندی اصلی و ارزیابی، با ۹۲ و ۸۶ درصد به مراتب بیشتر از معیار طبقه‌بندی صحیح برحسب شانس برای گروه‌ها با مقدار ۴۲/۵ درصد بوده است و بنابراین از نظر کلی این طبقه‌بندی در سطح قابل قبولی مورد تایید قرار گرفت. شکل ۶ نیز نحوه طبقه‌بندی نسبتاً کامل سه واحد بر اساس دو تابع به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

مدل چندمتغیره ترکیبی با استفاده از پنج نمونه رسوب گرفته شده براساس کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا برای هر پنج نمونه رسوب به‌صورت جداگانه اجرا شد. میانگین خطای نسبی حاصل از

تشخیص برای انواع واحدهای سنگ‌شناسی منجر شده است. سایر عناصر به‌علت معنی‌دار نبودن آماره F آن‌ها و عدم توانایی در جداسازی گروه‌ها وارد تابع نشده‌اند.

**جدول ۳- آزمون‌های بررسی توان عناصر در جداسازی انواع فرسایش و معیارهای تشخیص هم‌خطی برای منابع رسوب در حوزه آبخیز ایده‌لو**

عناصر	جداسازی		تجزیه واریانس یک‌طرفه		آماره‌ی سطح معنی‌داری F	سطح معنی‌داری H	عدد تحمل واریانس	سطح معنی‌داری
	Kruskal-Wallis	معیارهای تشخیص هم‌خطی چندگانه						
Al	-	-	۲/۲۴	۰/۳۲	-	-	۰/۵۹	۱/۷۰
As	۱۵/۳۷	۰/۰۰۰**	-	-	-	-	۰/۵۳	۱/۸۹
Cd	۲/۹۳	۰/۰۸۵	-	-	-	-	-	-
Co	۱/۳۷	۰/۲۶	-	-	-	-	۰/۱۱	۹/۱۰
Cr	۱/۶۵	۰/۲۰	-	-	-	-	۰/۱۲	۸/۶۰
Cu	۱۶/۹۸	۰/۰۰۰**	-	-	-	-	۰/۱۹	۵/۱۰
Fe	۴/۷۲	۰/۰۱۴*	-	-	-	-	۰/۴۵	۲/۲۰
Mn	۰/۴۲	۰/۶۵	-	-	-	-	۰/۲۰	۴/۹۰
Ni	۱۲/۳۱	۰/۰۰۰**	-	-	-	-	۰/۱۶	۶/۲۰
Pb	۲/۳۸	۰/۱۲	-	-	-	-	-	-
Se	۵/۱۵	۰/۱۱	-	-	-	-	-	-
V	۰/۱۷	۰/۸۴	-	-	-	-	۰/۱۲	۸/۵۰
Zn	۱۴/۶۰	۰/۰۰۰**	-	-	-	-	۰/۳۳	۳/۱۰
P	-	-	۰/۸۷	۰/۶۵	-	-	۰/۷۱	۱/۲۰
OC	-	-	۱۲/۳۰	۰/۰۰۲**	-	-	۰/۸۴	۱/۴۰
N	-	-	۱۳/۷۳	۰/۰۰۱**	-	-	۰/۵۴	۱/۸۰

\* و \*\* به ترتیب نشان‌گر معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد است.

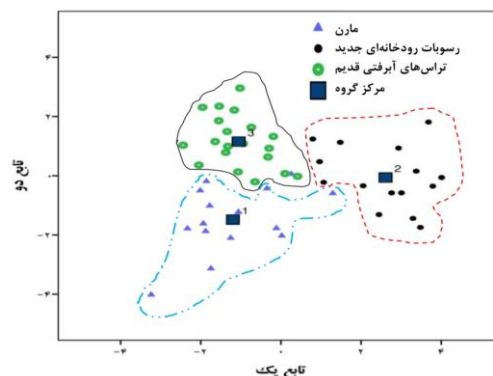
در بین عناصر ورودی به مدل عنصر As بیشترین درصد طبقه‌بندی صحیح گروه‌ها را با ۶۶ درصد به خود اختصاص داده است و عناصر Cu و Co هر چند سهمی در افزایش صحت طبقه‌بندی نداشته‌اند اما به‌علت افزایش دادن حداقل مربع فاصله Mahalanobis و کاهش دادن مقدار Wilks Lambda وارد مدل شده‌اند. این ترکیب در کل توانسته است با صحت ۹۲ درصد، نمونه‌ها را با موفقیت طبقه‌بندی کند.

براساس عناصر وارد شده در تحلیل تشخیص دو تابع مشخص شدند که تابع اول و دوم به ترتیب ۷۱ و ۲۹ درصد تغییرات را بیان کرده است. مقدار تغییرات متغیر وابسته (واحدهای سنگ‌شناسی) به ترتیب ۷۶ و

کنگلومرالهای پلیوکواترنری آن مربوط می‌شود. هر چند اکثر زمین‌های کشاورزی دیم منطقه در این واحد واقع شده است، اما به علت شیب کم (پنج درصد)، فاصله زیاد از خروجی حوضه (حدود شش کیلومتر) و درشت‌دانه بودن ذرات تشکیل‌دهنده (Ghoddousi, ۲۰۰۳)، امکان ورود رسوبات آن به سیستم رودخانه‌ای کاهش می‌یابد و نتیجتاً مشارکت این بخش از حوضه در تولید رسوب کاهش چشم‌گیری یافته است. مشاهدات صحرائی نیز بیان‌گر آن است که در کل واحدهای فرسایشی حاصل از روش تهیه سیمای فرسایش واقع در واحد سنگ‌شناسی مارن وضعیت فرسایشی شدیدتری نسبت به بقیه دارند به طوری که واحد مارنی با کد  $CS_{23}R_{41}G_{42}$  شدیدترین حالت فرسایشی را به خود اختصاص داد.

در کل، می‌توان مطرح نمود، نتایج حاصل از مشاهدات صحرائی با نتایج انگشت‌نگاری رسوب توافق خوبی داشته و تایید کننده آن است، اما در حالت جزئی در بعضی موارد این هماهنگی نتایج، کمتر است. به طور مثال، در مورد واحدهای  $BS_{23}R_{21}G_{42}$  و  $CS_{23}R_{31}G_{32}$  واقع در واحد سنگ‌شناسی رسوبات رودخانه‌ای جدید، کدهای فرسایشی هر واحد وضعیتی نزدیک به واحدهای حاصل در سنگ‌شناسی مارن دارند و این در حالی است که به روش انگشت‌نگاری رسوب، سهم واحد سنگ‌شناسی مارن ۸۵ درصد در مقابل ۱۱ درصد سهم رسوبات رودخانه‌ای جدید در تولید رسوب می‌باشد. باید دقت کرد که سطح تحت پوشش واحد مارن به مراتب بیشتر از واحد رسوبات رودخانه‌ای جدید است و این امر هر چند در روش تهیه نقشه سیمای فرسایش قابل انعکاس نیست، اما در نتایج انگشت‌نگاری رسوب تاثیرگذار است که بخشی از عدم هماهنگی حاصل در نتایج دو روش از سرشت آن‌ها ناشی می‌شود. از سویی، به نظر می‌رسد عدم هماهنگی جزئی‌تر نتایج روش تهیه نقشه سیمای فرسایش خاک با نتایج به دست آمده از روش انگشت‌نگاری رسوب به دلیل اساس روش تهیه نقشه سیمای فرسایش خاک در بررسی کیفی شدت و وضعیت فرسایش بوده که فرآیند حمل و نسبت تحویل رسوب را منعکس نمی‌کند و این در حالی است که انگشت‌نگاری رسوب، نتایج را بر اساس رسوب

تحلیل نتایج در حدود ۱۰ درصد بوده است که موید صحت و کارایی روش منشأیابی است (Collins و Walling, ۲۰۰۷؛ Minella و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۶- چگونگی جداسازی انواع فرسایش در واحدهای مختلف سنگ‌شناسی توسط توابع اول و دوم در حوزه آبخیز ایده‌لو

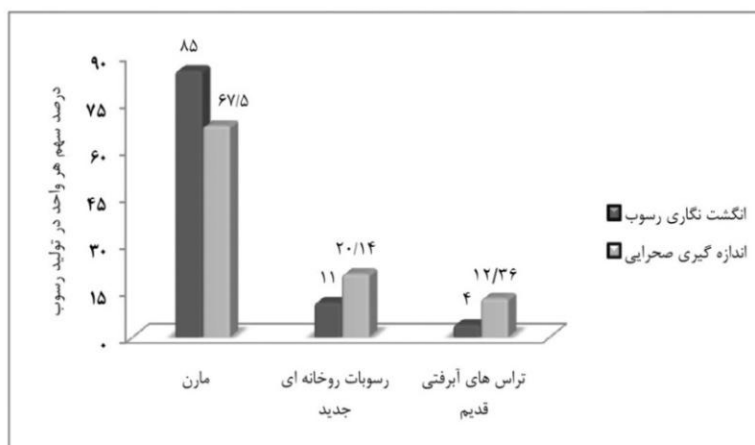
از نظر سهم انواع سنگ‌شناسی در تولید رسوب، مارن با ۸۵، رسوبات رودخانه‌ای جدید با ۱۱ و تراس‌های آبرفتی قدیم با چهار درصد سهم‌های تولید رسوب را عهده‌دار بوده‌اند که این نتایج موافق با نتایج Hakimkhai و Ahmadi (۲۰۰۸) می‌باشد. برای تعیین اهمیت نسبی هر واحد در تولید رسوب و ایجاد امکان مقایسه بین گروه‌ها، سهم هر واحد در تولید رسوب بر سطح تحت پوشش آن ضرب شد و اهمیت نسبی هر واحد از حیث تولید رسوب به دست آمد که طبق آن واحد سنگ‌شناسی مارن با ضریب  $4/12$  مهم‌ترین واحد از نظر تولید رسوب بوده است.

مارن‌های موجود در منطقه متعلق به دوره نئوژن بوده و دارای مقادیر قابل توجهی گچ و نمک بوده و از نظر فرسایش آب‌کندی، تونلی و شیاری بسیار فعال می‌باشند (Abdi و همکاران، ۲۰۰۹). از سویی، پوشش گیاهی این منطقه ضعیف بوده و در بعضی نقاط تپه ماهورهایی بدون کوچک‌ترین پوشش گیاهی در آن مشاهده می‌شود که فرسایش شدیدی دارند. همچنین، شیب غالب این بخش از حوضه بیش از سایر مناطق می‌باشد که مجموعه این عوامل علت اصلی رسوب‌زایی بیشتر این بخش از حوضه می‌باشد. سهم چهار درصدی تراس‌های آبرفتی قدیم علی‌رغم مساحت ۷۰ درصدی آن به عواملی چون شیب کمتر و ذرات درشت تشکیل‌دهنده و حاصل از تجزیه و تخریب

نتایج، واحد سنگ‌شناسی مارن با فرسایش ۳۴/۴ تن در هکتار در سال و مشارکت ۶۷/۵ درصد در رتبه نخست قرار می‌گیرد و واحدهای رسوبات رودخانه‌ای جدید و رسوبات آبرفتی قدیم به ترتیب با مشارکت ۲۰/۱۴ و ۱۲/۳۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. این نتایج از نظر رتبه فرسایشی منطبق با نتایج انگشت‌نگاری رسوب می‌باشد که این تطابق در شکل ۷ نشان داده شده است.

رسیده به خروجی حوضه تحلیل می‌نماید. در این مورد می‌توان به یافته‌های Walling و همکاران (۲۰۰۶) و (۲۰۰۸) اشاره نمود که معتقدند برای رسیدن به درکی جامع در مورد سهم رسوب تولیدی و فرآیند آن بایستی حرکت، انتقال، ذخیره و تحویل رسوب را توأم با مورد بررسی قرار داد.

برای ارزیابی دقیق‌تر نتایج حاصل از روش منشأیابی از داده‌های اندازه‌گیری مستقیم انواع فرسایش در واحدهای مختلف سنگ‌شناسی نیز استفاده شد. طبق



شکل ۷- بررسی میزان تطابق سهم‌های واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوب به دو روش انگشت‌نگاری رسوب و اندازه‌گیری مستقیم صحرایی در حوزه آبخیز ایده‌لو

شده به وسیله انگشت‌نگاری رسوب معطوف به میزان رسوب رسیده به خروجی حوضه می‌باشد. در مورد دو واحد دیگر نیز بالا بودن درصد مقادیر حاصل از اندازه‌گیری مستقیم نسبت به روش انگشت‌نگاری رسوب ناشی از تله‌اندازی رسوب و نسبت تحویل آن می‌باشد که سبب تفاوت در مقادیر این دو روش می‌شود، هر چند از حیث روند هر دو روش هم‌دیگر را تایید می‌نمایند.

به‌طور کلی، از نتایج این پژوهش می‌توان جمع‌بندی نمود که امکان تعیین ترکیب مناسب از ردیاب‌ها برای تفکیک منابع رسوب وجود دارد. در مورد ارزیابی نتایج روش انگشت‌نگاری نیز همان‌گونه که در مطالعات قبلی از میانگین خطای نسبی و مشاهدات صحرایی استفاده شده بود، در این پژوهش نیز این معیارها نتایج حاصل از انگشت‌نگاری رسوب را مورد تایید کلی قرار دادند. اما برای راستی‌آزمایی بهتر

در کل، می‌توان مطرح نمود، نتایج حاصل از منشأیابی رسوب به روش انگشت‌نگاری، به وسیله روش‌های میدانی مورد تایید قرار می‌گیرد. با توجه به این نتایج، کارایی روش انگشت‌نگاری رسوب در منطقه مورد مطالعه نیز قابل تایید است که با نتایج Walling و Woodward، (۱۹۹۵)؛ Collins و همکاران، (۱۹۹۷a,b,c)؛ Gruszowski و همکاران، (۲۰۰۳)؛ Walling و همکاران، (۲۰۰۸)؛ Collins و همکاران، (۲۰۱۰b) موافق است. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است واحد مارن طبق اندازه‌گیری مستقیم ۶۷/۵۰ درصد از تولید رسوب را به خود اختصاص داده است. طبیعی است در صورت لحاظ نسبت تحویل رسوب مناسب میزان مشارکت به دست آمده از روش انگشت‌نگاری مساوی و یا حتی کمتر از سهم به دست آمده از روش مستقیم بوده است. این نتیجه در حقیقت گویای این واقعیت است که درصد سهم‌بندی

تفاوت‌های مقداری حاصل از دو روش را می‌توان به مباحثی چون نسبت تحویل رسوب کلی و به تفکیک منابع رسوب، ذخیره، جابه‌جایی و انتقال رسوب نسبت داد که انجام تحقیقات گسترده در این زمینه‌ها و گستره زمانی و مکانی بیشتر را تاکید می‌نماید.

و بیشتر نتایج حاصل از انگشت‌نگاری رسوب، هم‌زمان اندازه‌گیری‌های مستقیم یک‌ساله نیز انجام شد که در مطالعات پیشین مورد توجه قرار نگرفته بود. مقایسه نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از تایید کلی نتایج انگشت‌نگاری رسوب می‌باشد. اما دقت در

#### منابع مورد استفاده

1. Abdi, P., A. Abdi, J. Ghoddousi and F. Aghajanluo. 2009. Classification of effective factors in gully erosion in marls of Ghamish Abad Sub-catchment in Zanjan. Agricultural Research and Natural Resource Center of Zanjan, 102 pages (in Persian).
2. Bonnet, P.J.P., G.J.L. Leeks, R.S. Cambray. 1989. Transport processes for Chernobyl-labelled sediments: preliminary evidence from upland Mid-Wales. Land Degradation and Rehabilitation, 1: 39-50.
3. Campbell, B.L., R.L. Loughran and G.L. Elliott. 1988. A method for determining sediment budget using caesium-137, sediment budgets. IAHS Publication, 174: 171-179.
4. Carter, M.R. and E.G. Gregorich. 2008. Soil sampling and methods of analysis. 2<sup>nd</sup> edition, Taylor and Francis Group, LLC, 1224 pages.
5. Carreras, N.M., A. Krein, F. Gallart, J.F. Iffly, L. Pfister, L. Haffman and P.N. Owens. 2010. Assessment of different parameters for discriminating potential suspended sediment sources and provenance: A multi scale study in Luxembourg. Geomorphology, 118: 118-129.
6. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment source in river basins. Journal of Hydrology, 261: 218-244.
7. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. Geomorphology, 88: 120-138.
8. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1996. Composite fingerprinting of the spatial source of fluvial suspended sediment: a case study of the Exe and Severn River basins, United Kingdom. Geomorphology, 2: 41-53.
9. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1997a. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena, 29: 1-27.
10. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1997b. Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basins: Combining assessment of spatial provenance and source type. Geografiska Annaler, 79: 239-254.
11. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1997c. Sediment sources in the upper seven catchment: A fingerprinting approach. Hydrology and Earth System Sciences, 1(3): 509-521.
12. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1998. Use of composite fingerprinting to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. Earth Surface Processes and Landforms, 23: 31-52.
13. Collins, A.L., D.E. Walling, G.K. McMellin, Y. Zhang, J. Gray, D. McGonigle and R. Cherington. 2010a. A preliminary investigation of the efficacy of riparian fencing schemes for reducing contributions from eroding channel banks to the siltation of salmonid spawning gravels across the south west UK. Journal of Environmental Management, 91: 1341-1349.
14. Collins, A.L., D.E. Walling, R.W. Stroud, M. Robson and L.M. Peet. 2010b. Assessing damaged road verges as a suspended sediment source in the Hampshire Avon Watershed, Southern United Kingdom. Hydrology Processes, 24: 1106-1122.
15. Collins, A.L., D.E. Walling, L. Webb and P. King. 2010c. Apportioning watershed scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. Geoderma, 155: 249-261.
16. Collins, A.L., Y. Zhang, D.E. Walling, S.E. Grenfell and P. Smith. 2010d. Tracing sediment loss from eroding farm tracks using a geochemical fingerprinting procedure combining local and genetic algorithm optimization. Science of the Total Environment, 408: 5461-5471.
17. Foster, I.D.L. and D.E. Walling. 1994. Using reservoir deposits to reconstruct changing sediment yield and source in the catchment of Old Mill Reservoir, South Devon, UK, over the past 50 years. Hydrology Science Journal, 39: 347-368.
18. Ghoddousi, J. 2003. Modeling of Gully erosion morphology and its hazard zoning (Case study in Zanjan Rood Watershed). PhD Thesis, University of Tehran, 368 pages (in Persian).

19. Grimshaw, D.L. and J. Lewin. 1980. Source identification for suspended sediment. *Journal of Hydrology*, 47: 151-162.
20. Gruszowski, K.E., I.D.L. Foster, J.A. Lee and S.M. Charlesworth. 2003. Sediment source and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes*, 17: 2665-2681.
21. Hair, J.F., W.C. Black, B.J. Babin and R.E. Anderson. 2010. *Multivariate Data Analysis*, 7<sup>th</sup> edition, Pearson Prentice Hall, 758 pages.
22. Hakimkhani, Sh. and H. Ahmadi. 2008. Determining sub basins contributions in sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Margan Basin, Poldasht, Makoo). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(1): 181-191 (in Persian).
23. Hakimkhani, Sh., H. Ahmadi, J., Ghayoumian, S. Feiznia and M.R. Bihamta. 2007. Determining a suitable subset of geochemical elements for separation of lithological types of Poldasht water spreading system. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 60(3): 693-711 (in Persian).
24. Hakimkhani, Sh. and J. Ghayoumian. 2007. Determining geological unit contribution to sediment yield using sediment fingerprinting technique in Poldasht Watershed. *Journal of Engineering Geology*, 2(1): 63-75 (in Persian).
25. Hasholt, B. 1988. On identification of source of sediment transport in small basins with special references to particular phosphorus, *Sediment Budgets*. IASH Publication, 174: 241-250.
26. Ishida, T., K. Nakayama, T. Okada, Y. Maruya, K. Onishi and M. Omori. 2010. Suspended sediment transport in a river basin estimated by chemical composition analysis. *Hydrological Research Letters*, 4: 55-59.
27. Jenns, N., C.M. Heppell, T.P. Burt, J. Walden and I.D.L. Foster. 2002. Investigating contemporary and historical sediment inputs to Slapton Higher Ley: An analysis of the robustness of source ascription methods when applied to lake sediment data. *Hydrological Processes*, 16: 3467-3486.
28. Juracek, K.E. and A.C. Ziegler. 2009. Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry lake basin, Kansas, USA. *International Journal of Sediment Research*, 24: 108-125.
29. Klages, M.G. and Y.P. Hsieh. 1975. Suspended solid carried by the Gallatin River of Southwestern Montana: II. Using mineralogy for inferring sources. *Journal of Environmental Quality*, 4: 68-73.
30. Krause, A.K., S.W. Franks, J.D. Kalma, R.J. Loughran and J.S. Rowan. 2003. Multi-parameter fingerprinting of sediment deposition in a small gullied catchment in SE Australia. *Catena*, 53: 327-348.
31. Marin, A., A.L. Gonzalez and C. Barbas. 2001. Development and validation of extraction methods for determination of zinc and arsenic speciation in soils using focused ultrasound application to heavy metal study in mud and soils. *Analytica Chimica Acta*, 442: 305-318.
32. McCool, D.K., M.G. Dossett and S.J. Yecha. 1981. A portable rill meter for field measurement of soil loss, erosion and sediment transport measurement. *IAHS Publication*, 133: 479-484.
33. Miller, R.J., M. Lord, S. Yurkovich, G. Mackin and L. Kolenbrander. 2005. Historical trends in sedimentation rates and sediment provenance, Fairfield Lake, Western North Carolina. *Journal of the American Water Resources Association*, 41: 1053-1075.
34. Minella, J.P.G., D.E. Walling and G.H. Merten. 2008. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on watershed sediment yields. *Journal of Hydrology*, 348: 546-563.
35. Oldfield, F. and R.L. Clark. 1990. *Lake sediment based studies of soil erosion*. Soil Erosion on Agricultural Land, Wiley, Chichester, 201-228.
36. Owens, P.N., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1999. Use of floodplain sediment cores to investigate recent historical changes in overbank sedimentation rates and sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Catena*, 36: 21-47.
37. Russell, M.A., D.E. Walling and R.A. Hodgkinson. 2001. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK. *Journal of Hydrology*, 252: 1-24.
38. Sadeghi, S.H.R. 2005. A semi-detailed technique for soil erosion mapping based on BLM and satellite image application. *Journal of Agricultural Science Technology*, 7: 133-142.
39. Sadeghi, S.H.R. 2010. *Study and measurement of water erosion*. Tarbiat Modares University Press, 199 pages (in Persian).
40. Sadeghi, S.H.R., S. Aghabeigi Amin, B. Yasrebi, M. Vafakhah and A. Esmaili Saravi. 2005. Temporal and spatial variation of suspended sediment yield of important sub-watersheds in Haraz Basin. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Caspian*, 3: 15-29 (in Persian).
41. Santiago, S., R.L. Thomas, R.L. McCarthy, J.L. Loiseau, G. Larbaigt, C. Corvi, D. Rossel, J. Tarradellas and J.P. Vernet. 1992. Particle size characteristic of suspended and bed sediment in the Rahone River. *Hydrological Processes*, 6: 227-240.
42. Smith, H.G. and D. Dragovich. 2008. Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. *Catena*, 72: 191-203.

43. Tabachnick, B.G. and L.S. Fidell. 2007. Using Multivariate Statistics, 5<sup>th</sup> edition, 1008 pages.
44. Wallbrink, P.J., A.S. Murray and J.M. Olley. 1998. Determining sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australian, using fallout Cs<sup>137</sup> and Pb<sup>210</sup>. *Water Resources Research*, 34: 879-887.
45. Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in watersheds and river systems. *Science of the Total Environment*, 344: 159-184.
46. Walling, D.E., A.L. Collins, P.A. Jones, G.J.L. Leeks and G. Old. 2006. Establishing fine-grained sediment budgets for the Pang and Lambourn LOCAR catchments, UK. *Journal of Hydrology*, 330: 126-141.
47. Walling, D.E., A.L. Collins and R.W. Stroud. 2008. Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments. *Journal of Hydrology*, 350: 274-289.
48. Walling, D.E. and J.C. Woodward. 1995. Tracing sources of suspended sediment in river basins: A case study of the River Clum, Devon, UK. *Marine and Freshwater Research*, 46: 327-336.
49. Walling, D.E., J.C. Woodward and A.P. Nicholas. 1993. A multi-parameter approach to fingerprinting suspended sediment sources. *IAHS Publication*, 215: 329-338.
50. Wood, P.A. 1978. Fine-sediment mineralogy of source rocks and suspended sediment, Rother Catchment, West Sussex. *Earth Surface Processes*, 3: 255-263.
51. Woodward, J.C., R.H.B. Hamlin, M.G. Macklin, P. Karkanis and E. Katjobopoulou. 2001. Quantitative sourcing of slack water deposits at Boila Rockshelter: a record of late glacial flooding and Paleolithic settlement in the Pindus Mountains, Northwest Greece. *Geo Archaeology*, 16(5): 501-536.

## Estimation of sediment sources through comparing results from soil erosion mapping, fingerprinting and field measurement techniques

Saeed Najafi<sup>1</sup> and Seyed Hamid Reza Sadeghi<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran <sup>2</sup> Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 18 May 2013

Accepted: 12 October 2013

### Abstract

Many on-site and off-site problems occurred due to irregular human use of natural resources leading to increasing sediment loads in watersheds. Understanding relative importance and source of erosion and sediment is essential for effective control of aforesaid problems. Today's, there are different techniques for determining sediment sources. However, the evaluation of their relative agreement has been less considered. Towards his attempt, the present study aimed to compare the results of fingerprinting, soil erosion feature map and direct field measurements of soil erosion. According to the results of fingerprinting technique, the red gysiferouse marl geological unit with 85 percent contribution in sediment yield was most important sediment source. It was in the same line with that reported from soil erosion feature map with code of CS<sub>23</sub>R<sub>41</sub>G<sub>42</sub>. The results of field measurements also showed that the red gysiferouse marl geological unit with soil erosion rate of 34.4 t ha<sup>-1</sup> and 14023 t annual erosion had the highest proportion in sediment yield. Other geologic units viz. young alluvial deposits and old alluvial clastic lied in second and third orders. These were also consistent with those of fingerprinting technique. Totally, the differences in the results of fingerprinting technique, soil erosion feature map and field measurement techniques referred to their quantitative or qualitative approaches and not considering sediment delivery ratio concept and other sediment transition processes. It clearly confirmed the necessity of simultaneous use of all aforesaid techniques to get access to reliable results.

**Key words:** Composite fingerprinting, Discriminant analysis function, Idelo watershed, Sediment loads, Sediment Sources

---

\* Corresponding Author: sadeghi@modares.ac.ir