نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال هفدهم- شماره ٦٣- زمستان ١٤٠٢

Vol. 17, No. 63, Winter 2024

انگشت‌نگاری رسوب با استفاده از رویکرد کاهش عدم‌قطعیت و پالایش چندمرحله‌ای ردیاب‌ها در حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان

عاطفه اصغرپور[1]، سعید نجفی [2]و حبیب نظرنژاد[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

DOI: 10.22034/17.63.1

چکیده

در مطالعات اولیه منشایابی رسوبات، بهینه‌سازی ترکیب ردیاب‌های انگشت‌نگار مورد توجه قرار نگرفته است. به‌همین دلیل ترکیب‌های انگشت‌نگاری متفاوت، منجر به تخمین‌هایی متفاوت از سهم منابع مختلف در تولید رسوب در یک منطقه مورد مطالعه خواهد شد. بر همین اساس در این پژوهش با استفاده از رویکرد پالایش چندمرحله‌ای ردیاب‌ها و کاهش عدم‌قطعیت به تعیین ترکیب بهینه انگشت‌نگار در حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان پرداخته شد. از این‌رو پایداری غلظت ردیاب‌ها و توانایی آن‌ها در تفکیک منابع با استفاده از نسبت‌های تغییرپذیری، آزمون پایداری و آزمون دامنه بررسی و در نهایت ترکیب انگشت‌نگار پایدار به‌عنوان ترکیب بهینه مشخص شد به‌طوری که متفاوت با ترکیب انگشت‌نگار حاصل از روش‌های مرسوم قبلی در مطالعه مشابه در حوزه‌ی آبخیز ایده‌لو بود. هم‌چنین سهم نسبی منابع سنگ‌شناسی در تولید رسوب با استفاده از رویکرد پالایش چندمرحله‌ای ردیاب‌ها، ٤٩، ٣٢ و ١٩ درصد به‌ترتیب برای واحدهای سنگ‌شناسی رسوبات رودخانه‌ای جوان، مارن و تراس‌های آبرفتی قدیم بود که این نتایج متفاوت با نتایج حاصل از مطالعه مشابه به روش مرسوم قبلی به‌ترتیب با مقادیر مقادیر ١١، ٨٥ و ٤ درصد بود. به‌طور کلی عدم مطابقت نتایج استفاده از دو رویکرد، نشان از اهمیت کاربرد رویکرد کاهش عدم‌قطعیت در انگشت‌نگاری رسوب دارد.

١ . دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گرایش حفاظت آب و خاک، دانشگاه ارومیه، ایران.

٢. نویسنده مسئول و استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه. ایران. پست الکترونیک: sa.najafi@urmia.ac.ir

٣. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

کلیدواژه‌ها: *انگشت‌نگار ترکیبی رسوب، حفاظت آب و خاک، مدیریت فرسایش و رسوب، منشأیابی رسوب.*

مقدمه

پدیده فرسایش خاک، با اینکه همواره وجود داشته اما در دهه‌های اخیر شدت آن افزایش یافته به‌طوری که با ایجاد اثرات درون[4] و برون‌منطقه‌ای[5] منجر به کاهش قدرت اقتصادی کشاورزان شده و پایداری منابع را با موانع جدی مواجه ساخته است. طبق برآوردهای جهانی صورت گرفته از تخریب اراضی ناشی از فرسایش خاک و به موجب آن کاهش سهم تولید مواد غذایی در جهان [٤١، ٥٥]، مدیریت پایدار خاک به موضوعی با اهمیت اساسی تبدیل شده است [٥]. به‌منظور کنترل و مهار فرسایش در یک حوزه آبخیز بایستی اقداماتی صورت گیرد تا فرسایش، انتقال، بازتوزیع و ترسیب رسوب در حوزه‌های آبخیز به منظور مدیریت یا تله‌اندازی رسوب در سامانه‌های آبراهه‌ای تحت تأثیر قرار گیرد [٣٣]. برای درک فرآیندهای کنترل فرسایش و رسوب و حل مشکلات مدیریتی حوزه آبخیز، به دست آوردن دانش جامع از پویایی رسوب فعلی و شناسایی مناطق مستعد فرسایش بسیار مهم است [١٤، ٢٧]. در این راستا اطلاع از سهم و نوع منابع رسوبات تولیدی در سطح حوزه‌های آبخیز منجر به آگاهی از میزان دقیق بیلان رسوب، سهم کاربری‌ها و اشکال مختلف فرسایش در آبخیزهای مورد مطالعه خواهد شد [١٢]. از این‌رو آبخیزداری و حفاظت آب و خاک نیازمند بهره‌گیری از روش‌هایی است که اهمیت نسبی منابع رسوب را با دقت مناسب و هزینه مقرون به صرفه مشخص نماید. با تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب می‌توان اقدامات حفاظت خاک و کنترل رسوب را در مناطق بحرانی و حساس به فرسایش متمرکز نمود [٤١، ٤٢]. به‌طور کلی برای تعیین منابع رسوب و سهم نسبی آن‌ها در تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز، دو رویکرد سنتی و جدید استفاده می‌شود. رویکرد پایش سنتی روش‌هایی چون پین‌های فرسایشی[6]، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از طریق عکس‌ها[7]، مشاهدات صحرایی[8]، استفاده از

4. On-Site Effects
5. Off-Site Effects
6. Erosion Pins
7. Photogrametery
8. Field Observations

کرت‌های فرسایشی[1]، پایش و ارزیابی تولید رسوب[2] از زیرحوضه‌ها، پایش شیارها و آبکندها[3]، استفاده از نیمرخ‌سنج‌ها[4] و اندازه‌گیری از طریق دورسنجی[5] با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویرماهواره‌ای را شامل می‌شود [۳۲، ٤۰]. اما کاربرد این روش‌ها معمولاً با محدودیت‌هایی چون دربرگیری مناسب مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی و تنگناهای اجرایی و مالی مواجه است و نیز نمی‌توانند ارتباط بین منبع تولید رسوب و رسوب خروجی از آبخیز را به خوبی برقرار کنند و عدم‌قطعیت‌های فراوانی در روندیابی رسوب به وجود می‌آید [۷، ۱۲، ۳۷]. برای فائق آمدن بر چالش‌های ذکر شده، از رویکرد انگشت‌نگاری رسوب به عنوان یکی از روش‌های برآورد سهم رسوبِ ناشی از فرسایش منابع رسوب در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف استفاده می‌شود. در این روش خصوصیات طبیعی (ژئوشیمیایی، بیوژئوشیمیایی، کانی‌شناسی، مغناطیسی، آلی، غلظت رادیونوکلئیدها، نسبت ایزوتوپ پایدار، طیف‌سنجی مادون قرمز و عناصر خاکی کمیاب) رسوبات معلق و مواد منبع به عنوان ردیاب در نظر گرفته می‌شود تا با فرض ثابت بودن این خصوصیات طی فرآیندهای انتقال به آبراهه‌ها و خروجی حوضه بتوان با مقایسه این خصوصیات در رسوب و مواد منبع، سهم منابع مختلف رسوب در تولید آن را تعیین کرد [۷، ۲۳]. در این رویکرد غلظت ردیاب‌های طبیعی بعد از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مشخص شده و در نهایت با به‌کارگیری روش‌های مدل‌سازی آماری سهم هر یک از منابعِ در رسوب تولیدی مشخص می‌شود [۱۰]. غلظت ردیاب‌ها عمدتاً به نوع خاک، بستر زمین‌شناسی و کاربری زمینی که از آن منشأ می‌گیرند بستگی دارد [٤]. بنابراین در روش انگشت‌نگاری رسوب، می‌توان با مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بین منابع رسوب و رسوبات ترسیب یافته در خروجی حوزه آبخیز، سهم نسبی منابع مختلف را از نظر میزان فرسایش و تولید رسوب شناسایی و کمی‌سازی نمود. بنابراین در خصوص به‌روزترین و کامل‌ترین روش انگشت‌نگاری رسوب می‌توان عنوان نمود که استفاده از ترکیب انگشت‌نگار[6][۸، ۳۵، ٤۹] به جای استفاده از یک نوع ردیاب [۱، ۱۷، ۲۱، ۲٤، ٤۸، ٤۹، ۵۳، ۵٤] سبب دستیابی به نتایج قابل اعتمادتری می‌شود [۸]. بر همین اساس روش‌های تعیین ترکیبی از چندین نوع ردیاب در انگشت‌نگاری توسعه داده شده است [۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۹]. استفاده ترکیبی از ردیاب‌ها برای تعیین منابع رسوب مطمئن‌تر و سازگارتر است به‌طوری‌که احتمال منشأیابی اشتباه از رسوبات تولیدی را کاهش می‌دهد و اغلب زمینه را برای تشخیص منابع بیشتر فراهم می‌کند [۱۰، ٦، ۵۰]. روش انگشت‌نگاری رسوب دارای پیش‌فرض‌هایی از جمله تولید رسوب از تمام منابع رسوبی بالقوه، وجود ردیاب‌هایی قادر به تفکیک منابع تولید رسوب و تغییرناپذیری ردیاب‌های مورد استفاده هنگام انتقال از منابع به آبراهه‌ها است. در انگشت‌نگاری ترکیبی رسوب در مرحله‌ی اول، ترکیب مناسبی از انواع ردیاب‌ها که قادر به جداسازی منابع رسوب باشند انتخاب می‌شود و در مرحله‌ی دوم ترکیب انگشت‌نگار مشخص شده، با استفاده از مدل‌های ترکیبی برای تعیین سهم نسبی هر منبع در تولید رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۲]. توانایی ردیاب در تشخیص منابع رسوب بستگی به ماهیت حوزه آبخیز دارد و منابع رسوب باید با توجه به ردیاب‌های مورد استفاده به منظور ایجاد تشخیص، به اندازه کافی متفاوت باشند [۳۵]. یک ردیاب موثر باید بتواند منابع بالقوه رسوب را تمایز دهد و رفتار پایداری را هنگام فرسایش و انتقال در رودخانه نشان دهد چرا که فرآیندهای زیادی شناسایی شده‌اند که می‌توانند غلظت ردیاب‌ها را تغییر داده و باعث ناپایداری ردیاب‌ها در طول انتقال و ترسیب شوند [۱٦، ۳۷، ٤٤، ۵۱]. در برخی مواقع تحقق عملی همه این پیش‌فرض‌ها و مراحل ممکن نیست و همین امر سبب بروز برخی عدم قطعیت‌ها در نتایج ناشی از این روش می‌شود [۱۲، ۱۵، ۱۸، ٤۵]. به‌طوری‌که امروزه با وجود افزایش مطالعات متعدد در زمینه انگشت‌نگاری رسوب، هنوز چالش‌هایی مرتبط با عدم‌قطعیت‌های این روش از جمله روش‌های نمونه‌گیری، تفکیک منابع تولید رسوب، انتخاب ترکیب مناسب ردیاب‌ها و استفاده از مدل‌های ترکیبی مناسب وجود دارد [۲، ۳، ۱۹، ۲۲، ۲٦، ۲۷، ۲۸، ۳٦، ٤٦، ٤۳] که پژوهشگران در مطالعات اخیر سعی در بررسی و رفع این چالش‌ها را داشته‌اند [۱۳، ٦، ۲۰، ۳٤، ٤۷، ٤۳]. از آن‌جایی که طبق نتایج بررسی‌های مختلف، ترکیب‌های متفاوتِ انگشت‌نگارِ رسوب در یک حوزه آبخیز می‌تواند منجر به نتایج متفاوت از برآوردِ سهم منابع مختلف رسوب در تولید رسوب در همان حوزه آبخیز شود [۲۷] بنابراین تعیین بهترین و بهینه‌ترین ترکیب انگشت‌نگار یکی از چالش‌های اساسی در تعیین سهم هر یک از منابع در تولید رسوب است زیرا چندین ترکیب انگشت‌نگار متفاوت برای یک منطقه مطالعاتی مشابه، می‌تواند نتایج متفاوتی از نظر سهم هر یک از منابع در تولید رسوب ارائه نماید که سبب تردید در نتایج حاصل از این روش‌ها خواهد شد. از این رو استفاده از رویکردهای پالایشی برای انتخاب ترکیب ردیاب‌های بهینه نیازی راهبردی جهت رسیدن به نتایج قابل اعتماد است [٦]. بنابراین مطالعه حاضر جهت بررسی تأثیر استفاده از رویکرد پالایشی چندمرحله‌ای ردیاب‌ها، بر تعداد و ترکیب بهینه ردیاب‌ها در انگشت‌نگاری و تعیین سهم منابع مختلف رسوب در تولید رسوبات و همچنین مقایسه نتایج حاصل از این رویکرد با نتایج حاصل از استفاده از روش‌های مرسوم انگشت‌نگاری در حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

حوزه آبخیز ایده‌لو از زیرحوزه‌های آبخیز زنجان‌رود است که

1. Erosion Plots
2. Sediment Load Monitoring
3. Rill and Gully Erosion Monitoring
4. Profilometers Method
5. Remote Sensing
6. Composite fingerprint properties

جدول ۱- خصوصیات سنگ‌شناسی حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

Table 1. Lithological characteristics of Idelo watershed, Zanjan province

دوره Period	واحد چینه‌شناسی Stratigraphy	سنگ‌شناسی lithology	مساحت (هکتار) Area (ha)	درصد مساحت نسبت به حوضه Percentage of area in relation to the basin
کواترنر Quaternary	Q_{al}	رسوبات رودخانه‌ای جوان Young alluvial deposits	157.41	8.00
	Q_t	تراس‌های آبرفتی قدیم Old alluvial clastic	1404.14	71.32
ترشیری Tertiary	PLM	مارن Red gypsiferous marl	407.23	20.68

در ۵۵ کیلومتری شمال‌غرب استان زنجان در مسیر جاده ترانزیتی زنجان- میانه، با مساحت تقریبی ۲۰۰۰ هکتار در محدوده ۳۶ درجه، ۵۱ دقیقه و ۳۲ ثانیه تا ۳۶ درجه، ۵۸ دقیقه و ۱۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه، ۰۱ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۴۸ درجه، ۰۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است. میانگین بارش سالانه در این منطقه حدودا ۲۷۵ میلی‌متر است. مطابق جدول (۱)، این حوضه از نظر زمین‌شناسی مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی بوده که سه گروه رسوبات رودخانه‌ای جوان[1]، تراس‌های آبرفتی قدیم[2] و مارن[3] به عنوان واحدهای سنگ‌شناسی طبقه‌بندی شده‌اند. یکی از مهم‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی در این منطقه رسوبات مارنی دوره میوسن است که منطقه را مستعد ایجاد فرسایش آبکندی کرده و سطح قابل توجهی از آبخیز دچار این نوع از فرسایش شده است. بنابراین در این منطقه انواع فرسایش سطحی، شیاری، انحلالی و آبکندی مشاهده می‌شود [۴۲]. شکل (۱) موقعیت مکانی حوزه آبخیز مورد مطالعه را در استان زنجان و کشور ایران نشان می‌دهد.

آماده‌سازی و پالایش داده‌ها

در این پژوهش از داده‌های مربوط به ردیاب‌های اندازه‌گیری شده از ۵۰ نمونه منبع رسوب که قبلاً طی پژوهشی توسط نجفی و صادقی [۳۲] از اعماق مختلف واحدهای کاری (۲ تا ۳۰ سانتی‌متر) مبتنی بر واحدهای سنگ‌شناسی و انواع فرسایش برداشت شده بود، استفاده شد. به‌طوری‌که مطابق با اندازه گیری‌های آزمایشگاهی تمام نمونه‌ها، ۱۶ عنصر ژئوشیمیایی شامل آرسنیک (As)، آلومینیم (Al)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، سلنیم (Se)، وانادیم (V)، روی (Zn)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، فسفر (P)، کربن (C) و نیتروژن (N) به‌عنوان ردیاب مورد استفاده قرار گرفتند [۴۲، ۴۱]. در اولین مرحله در این رویکرد از پژوهش، ردیاب‌هایی که رفتار پایدار از خود نشان ندادند از طریق مقایسه بین ردیاب‌های نمونه‌های رسوب و گروه‌های منبع رسوب، از محاسبات کنار گذاشته شدند و بقیه نمونه‌ها برای تجزیه و تحلیل مقایسه بین ردیاب‌های نمونه‌های رسوب و گروه‌های منبع رسوب، از محاسبات کنار گذاشته شدند و بقیه نمونه‌ها برای تجزیه و تحلیل بیشتر در مراحل بعد استفاده شد. در گام بعدی نمونه‌های منبع در تقسیم‌بندی‌های گروهی مبتنی بر سنگ‌شناسی قرار گرفته و در یک بررسی مقدماتی با استفاده از تحلیل تشخیص و توابع مربوطه[4] صحت گروه‌بندی نمونه‌ها در گروه‌هایی که متعلق به آن‌ها هستند ارزیابی شد تا در صورت عدم موفقیت در طبقه‌بندی صحیح نمونه‌های مربوطه، برای تقویت احتمال موفقیت در منشأیابی رسوبات، گروه‌ها در هم ادغام شوند.

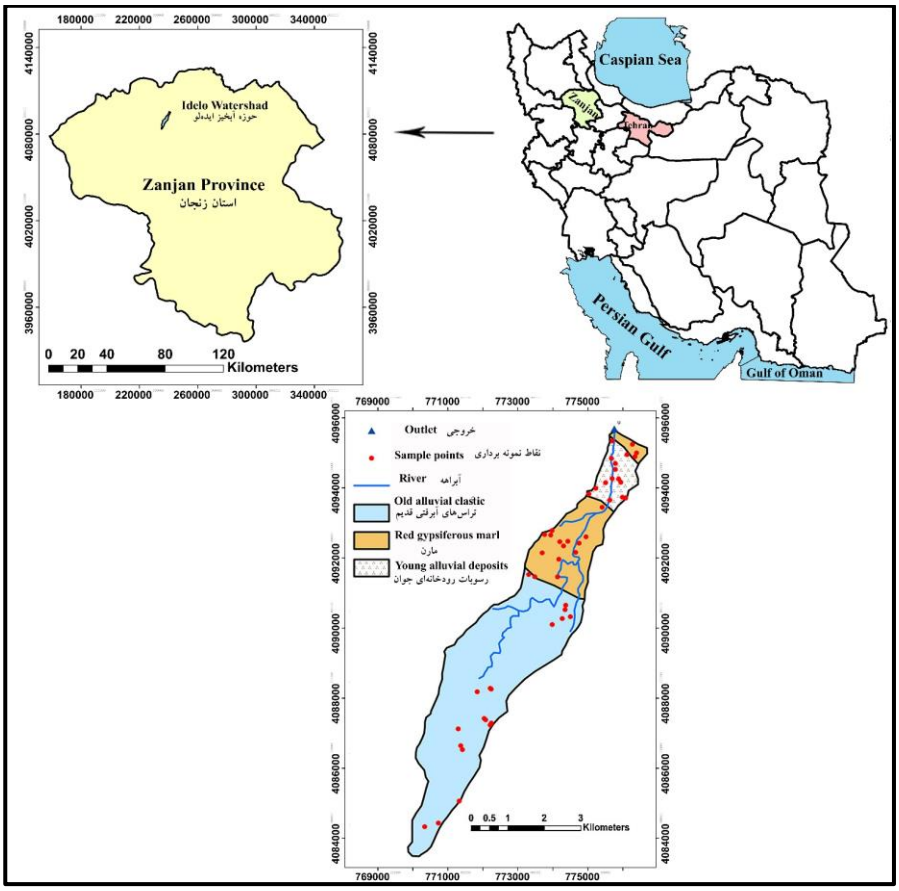
ارزیابی توانایی ردیاب‌ها در تفکیک بین منابع تولید رسوب

در این مرحله با استفاده از نسبت‌های تغییرپذیری، توانایی ردیاب‌ها در تفکیک بین منابع تولید رسوب با استفاده از رابطه (۱) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$((X_{max}-X_{min})\ X_{min})\ /\ X_{cov} \qquad (۱)$$

در این رابطه X_{max} حداکثر میانگین غلظت ردیاب هر یک از گروه‌های منبع، X_{min} حداقل میانگین غلظت ردیاب هر یک از گروه‌های منبع و X_{cov} میانگین ضریب تغییرات برای جفت گروه‌های منبع است. بر اساس این رابطه، ردیاب‌ها به‌ترتیب با نسبت‌های تغییرپذیری کمتر و بیش‌تر از یک و دو از محاسبات کنار گذاشته شد [۲۵]. در گام دوم از این مرحله، آزمون پایداری ردیاب‌ها مبتنی بر تفسیر نمودارهای ترسیمی غلظت عناصر صورت گرفت به‌طوری که ردیاب‌های با همبستگی بالای ۸۰ درصد در نمونه‌های مواد منبع به همراه نمونه‌های رسوب در نمودارهای ترسیمی مورد بررسی قرار گرفتند. اگر همبستگی موجود برای ردیاب‌های مربوطه در نمونه‌های مواد منبع، در نمونه‌های رسوب نیز مشاهده شود ردیاب‌ها به‌عنوان ردیاب‌های پایدار و در غیر این‌صورت به عنوان ردیاب‌های ناپایدار از محاسبات کنار گذاشته شدند [۲۵]. همین‌طور برای بررسی دقیق‌تر در این بخش پایداری ردیاب‌های باقی‌مانده مجددا با استفاده از معیار Median ± MAD سنجیده شد. بدین‌گونه که اگر غلظت هر ردیاب در بیش از ۴۰ و ۸۰ درصدِ به‌ترتیب نمونه‌های رسوب و مواد منبع

1. Young alluvial deposits/ Q_{al}
2. Old alluvial clastic/ Q_t
3. Red gypsiferous marl/PLM
4. Linear Discriminant Analysis/LDA



شکل ۱- موقعیت قرارگیری حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان و کشور

Fig 1. Location of Idelo watershed in Zanjan province and Country

خارج از معیار Median ± MAD قرار گرفت، ردیاب مورد نظر حذف شد [۱۱، ۳۲، ۵۲].

استانداردسازی مقادیر غلظت ردیاب‌های مواد منبع و رسوب

در مرحله‌ی سوم، مقادیر غلظت ردیاب‌های مواد منبع و رسوب بر اساس حداکثر مقدار هر ردیاب، بین صفر و یک استانداردسازی شد تا اختلاف بین غلظت ردیاب‌های نمونه‌های رسوب و مواد منبع ابتدا به‌صورت میانگین تمام ردیاب‌ها و سپس برای هر ردیاب بصورت جداگانه محاسبه شود تا شناسایی نمونه‌هایی با رفتار متفاوت نسبت به مواد منبع مربوطه امکان‌پذیر باشد که این امر در تعیین سهم‌ها می‌تواند منجر به نتایج بهینه شود. همچنین با استفاده از تحلیل تشخیص صحت طبقه‌بندی نمونه‌ها در گروه‌های مربوطه ارزیابی شده و نمونه‌های دارای طبقه‌بندی اشتباه به گروه اصلی خود تعلق گرفت و نمونه‌هایی که قابل اتصاف به هیچ گروهی نبودند از محاسبات کنار گذاشته شدند [۳۸].

تعیین ترکیب انگشت‌نگاری مبتنی بر رفتار پایدار ردیاب‌ها

در این مرحله با استفاده از تحلیل تشخیص گام‌به‌گام و ترکیب انگشت‌نگاری ایجاد شده مبتنی بر رفتار پایدار ردیاب‌ها (برخلاف رویکردهای قبلی که مبتنی بر روش‌های آماری متفاوت بود) سهم منابع در تولید رسوب تعیین شد، به‌طوری که مبنای مقایسه‌ای برای بررسی نتایج حاصل از ترکیب‌های انگشت‌نگاری متفاوت را فراهم می‌کند. برای ایجاد ترکیب‌های مختلف انگشت‌نگاری با استفاده از تحلیل تشخیص سه روش به کار گرفته شد تا سه ترکیب متفاوت ایجاد شود [۹، ۱۳]. در حالت اول با روش تحمیلی[1] ردیاب‌های مبتنی بر تفاوت بین غلظت ردیاب‌های نمونه‌های منابع رسوب و رسوبات که منجر به تفکیک بهتر حتی در یک گروه از مواد منبع بودند به ترکیب انگشت‌نگار وارد شدند. در حالت دوم، ترکیب انگشت‌نگار پایدار[2] با قرار دادن هر ردیابِ با رفتار پایدار (مبتنی بر آزمون پایداری غلظت ردیاب‌ها) در ترکیب، حاصل شد. نهایتاً در حالت آخر ترکیب انگشت‌نگار با تغییرپذیری بالا[3] استفاده شد.

تخمین سهم منابع در تولید رسوب

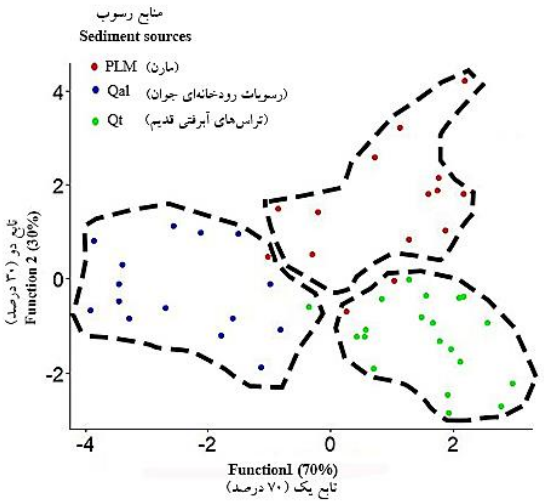
برای هر نمونه رسوب و ترکیب انگشت‌نگاری مربوطه، میانه و نسبت صدک ۲۵ و ۷۵ با استفاده از ترکیب‌های متفاوت انگشت‌نگار محاسبه شد تا سهم هر منبع در تولید رسوب تخمین زده شود و نهایتاً میانگین درصد مشارکت هر منبع تولید رسوب در رسوب خروجی از آبخیز با استفاده از مدل ترکیبی بهینه‌سازی خطی مورد استفاده، محاسبه شد.

1. Basic Composite Fingerprint
2. Conservative Composite Fingerprint
3. High variability Composite Fingerprint

جدول ۲- ماتریس درصد صحت طبقه‌بندی نمونه‌های مبتنی بر سنگ‌شناسی در حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

Table 1. Matrix of classification accuracy of samples based on geology in Idalo watershed, Zanjan province

	مارن Red gypsiferous marl	رسوبات رودخانه‌ای جوان Young alluvial deposits	تراس‌های آبرفتی قدیم Old alluvial clastic
مارن Red gypsiferous marl	100	0	0
رسوبات رودخانه‌ای جوان Young alluvial deposits	6.2	93.8	0
تراس‌های آبرفتی قدیم Old alluvial clastic	9.1	0	90.9



شکل ۲- نمودار جفتی بهترین توابع تشکیل شده با استفاده از تحلیل تشخیص از سه گروه منبع رسوب مبتنی بر سنگ‌شناسی حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

Fig 2. Bi-plot of two largest discriminant functions generated by the initial LDA of the three geology-based source groups, Idelo watershed, Zanjan province

نتایج

غربال‌گری نمونه‌های رسوبی و طبقه‌بندی مواد منبع

در بین ۱۶ ردیاب شناسایی شده، ردیاب‌های C، Se، Pb، Cd و P به دلیل ناچیز بودن غلظت از محاسبات کنار گذاشته شدند. نتایج غربالگری نمونه‌های رسوبی نشان داد که در بین ۱۱ ردیاب باقی‌مانده، میانگین غلظت ردیاب N در نمونه‌های رسوب در محدوده حداقل تا حداکثر یافت شده در گروه‌های منبع قرار نداشت که نشان‌دهنده عدم پایداری این ردیاب در نمونه‌هاست. با این حال، از آنجایی که بیشتر ردیاب‌های اندازه‌گیری شده در محدوده غلظت گروه‌های منبع قرار داشتند، این نمونه‌ها برای تجزیه وتحلیل بیشتر حفظ شدند. غلظت بقیه ردیاب‌ها در نمونه‌های رسوب، در محدوده حداقل تا حداکثر یافت شده در گروه‌های منبع قرار داشت در نتیجه برای تجزیه و تحلیل بیشتر در مراحل بعدی نگهداری شدند. نمونه‌های مواد منبع در سه گروه اولیه مبتنی بر سنگ‌شناسی در تجزیه و تحلیل اولیه مبتنی بر تحلیل تشخیص قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص مطابق شکل (۲) مشخص کرد که دو تابع تفکیک‌کننده[1] قادر به بیان نزدیک به ۱۰۰ درصد از تغییرات هستند. توابع تفکیک‌کننده به طور منطقی بین مارن، تراس‌های آبرفتی قدیم و رسوبات رودخانه‌ای جوان تمایز قائل شدند. بدین‌گونه که مطابق جدول (۲) نمونه‌های مربوط به مارن‌ها، رسوبات رودخانه‌ای جوان و تراس‌های آبرفتی قدیم به‌ترتیب با صحت ۱۰۰، ۹۳/۸ و ۹۰/۹ درصد طبقه‌بندی شدند.

نسبت‌های تغییرپذیری

با بررسی غلظت ردیاب‌ها مشخص شد تمامی ردیاب‌ها از نظر غلظت همگن هستند، بنابراین در صورت در نظر گرفتن آستانه یک و دو برای نسبت‌های تغییرپذیری، تعداد ردیاب‌ها برای ادامه پالایش در مراحل بعدی کافی نخواهد بود. از این رو آستانه صفر برای این مرحله در نظر گرفته شد تا بتوان از ردیاب‌ها برای ادامه مراحل پالایش استفاده کرد. در واقع از این مرحله به دلایل ذکر شده در بالا صرف‌نظر شد و تمام ردیاب‌ها وارد مرحله بعدی پالایش شدند.

آزمون پایداری ردیاب‌ها

از بین ردیاب‌ها، در نمونه‌های منبع فقط ردیاب‌های V، Co و Cr با سطح معنی‌داری ۰/۰۱ با ضریب همبستگی بالای ۸۰ درصد با یکدیگر همبستگی داشتند. جهت جلوگیری از حذف این ردیاب‌ها، با قرار دادن این سه ردیاب از نمونه‌های منبع به همراه نمونه‌های

1. Discriminant Function/ DF

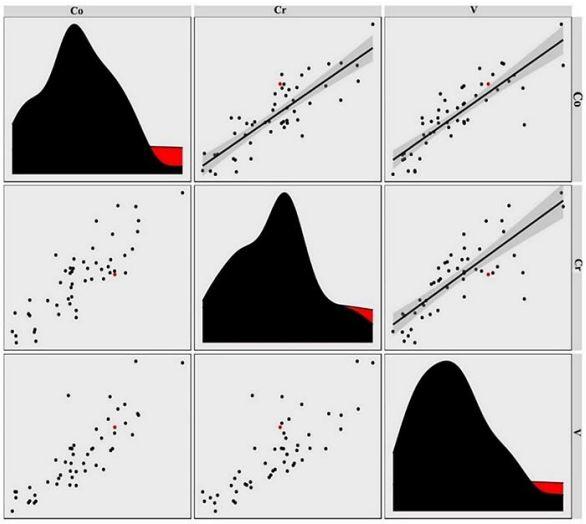
رسوب در نمودارهای ترسیمی، همبستگی سه ردیاب مذکور در رسوبات خروجی حوضه نیز بررسی شد. بررسی نمودارهای ترسیمی مطابق شکل (۳) نشان داد که هر سه ردیاب V، Co و Cr در رسوبات نیز روابط مشاهده شده در منابع را با ضریب همبستگی بالای ۸۰ درصد را نشان می‌دهند بنابراین به عنوان ردیاب‌های پایدار در نظر گرفته شدند.

آزمون دامنه

در بین تمام ردیاب‌های باقی مانده تا این مرحله، فقط غلظت ردیاب N در بیش از ٤٠ و ٨٠ درصدِ به‌ترتیب نمونه‌های رسوب و مواد منبع خارج از معیار Median ± MAD قرار گرفت. بنابراین ردیاب نیتروژن به عنوان ردیاب ناپایدار شناخته شده و در این مرحله حذف شد.

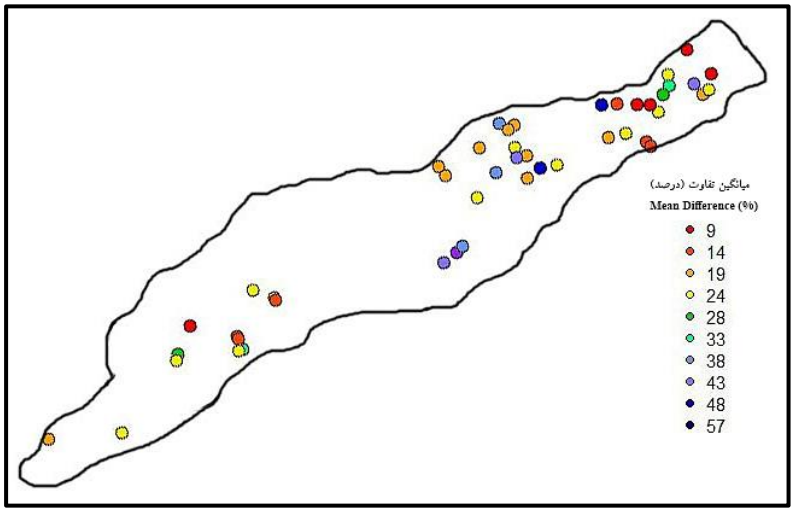
نقشه‌های تفاوت بین غلظت ردیاب‌های نمونه‌های منابع رسوب و رسوبات

مطابق شکل (٤) نگاشت میانگین درصد اختلاف بین غلظت ردیاب‌های نمونه‌های مواد منبع و رسوب مشخص کرد که غلظت ردیاب‌های نمونه‌های برداشت شده از واحد سنگ‌شناسی مارن در بخش میان‌دست حوزه آبخیز، تفاوت زیادی با غلظت رسوبات نمونه‌برداری شده دارد (رنگ‌های آبی و بنفش) از طرفی نمونه‌های مواد منبع در بخش پایین‌دست (رسوبات رودخانه‌ای جوان) و بالادست (تراس‌های آبرفتی قدیم) حوزه آبخیز کم‌ترین تفاوت با غلظت رسوبات نمونه‌برداری شده را دارند که بیان‌گر گروه‌بندی صحیح مواد منبع جهت منشأیابی رسوبات در حوزه آبخیز است.



شکل ۳- نمودارهای ترسیمی نمونه‌های منبع (سیاه) و رسوب (قرمز) در حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

Fig 3. Bi-plots of source (black) and sediment (red) samples in Idelo watershed, Zanjan province



شکل٤- میانگین درصد اختلاف بین غلظت هر نمونه منبع و میانگین تمام نمونه‌های رسوب برای همه ردیاب‌ها در حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

Fig 4. Mean percentage differences between each source sample and mean of all sediment samples for all tracers in Idelo watershed, Zanjan province

ترکیب بهینه ردیاب‌ها

برای طبقه‌بندی منابع و انواع ترکیب انگشت‌نگار رسوب تفکیک منابع به خوبی (بالای ۸۰ درصد) صورت گرفت. مطابق جدول (۳) ترکیب انگشت‌نگارهای بهینه شناسایی شده توسط تحلیل تشخیص نشان داد که ردیاب‌های Al, As, Co, Cu, Mn و Zn در هر سه ترکیب انگشت‌نگار به صورت مشترک وجود دارد. در واقع فقط ردیاب‌های Fe، Ni و Cr تنها ردیاب‌های غیرمشترک در بین سه ترکیب انگشت‌نگار بودند..

سهم منابع در تولید رسوبات

مطابق شکل (۵) سهم واحدهای سنگ‌شناسی رسوبات رودخانه‌ای جوان، مارن و تراس‌های آبرفتی قدیم در تولید رسوب خروجی از حوزه آبخیز به ترتیب بر اساس نتایج ترکیب انگشت‌نگار تحمیلی، ۴۹، ۳۵ و ۱۶ درصد، ترکیب انگشت‌نگار پایدار، ۴۹، ۳۲ و ۱۹ درصد و ترکیب انگشت‌نگار با تغییرپذیری بالا، ۵۵، ۲۷ و ۱۸ درصد تخمین زده شد. از طرفی همان‌طور که شکل (٦) سهم احتمالی تخمین زده شده برای هر واحد سنگ‌شناسی حوضه در تولید رسوبات خروجی را نشان می‌دهد بخش پایین‌دست حوزه آبخیز که به عبارتی محل جغرافیایی واحد سنگ‌شناسی رسوبات رودخانه‌ای جوان هست دارای سهم قابل توجهی در تولید رسوبات است. از این رو می‌توان گفت مطابق با نتایج تعیین سهم منابع رسوب در بین سه گروه منبع، رسوبات رودخانه‌ای جوان بالاترین سهم را در تولید رسوبات حوزه آبخیز ایده‌لو در استان زنجان دارد.

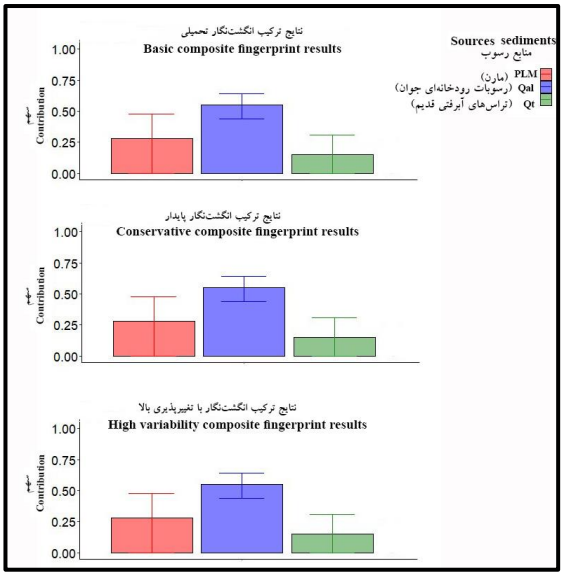
بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مقایسه نتایج تعیین سهم منابع رسوب با استفاده از انگشت‌نگاری رسوب در دو رویکرد مرسوم قبلی و رویکرد پالایشی کاهش عدم‌قطعیت‌ها در انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها پرداخته شد. از آنجایی که امروزه نحوه انتخاب ردیاب‌ها برای تعیین سهم منابع رسوب در روش انگشت‌نگاری رسوب به عنوان یکی از چالش‌های اساسی این روش است بنابراین استفاده از روش‌های پالایشی مختلف بر پایه پایداری ردیاب‌ها به نوبه خود می‌تواند در کاهش عدم‌قطعیت‌های متصور در انگشت‌نگاری رسوب موثر باشد. طبق پالایش‌های آماری مبتنی بر پایداری ردیاب‌های استفاده شده در این پژوهش، ردیاب‌های Al, As, Co, Cu, Mn, Zn به عنوان ترکیب بهینه شناسایی شده برای انگشت‌نگاری واحدهای سنگ‌شناسی شناخته شد که با نتایج پژوهشِ مشابه صادقی و همکاران [٤٢] در همان منطقه متفاوت بود. سهم واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوب نیز، بر اساس نتایج ترکیب انگشت‌نگار تحمیلی، پایدار و با تغییرپذیری بالا به‌ترتیب برای رسوبات رودخانه‌ای جوان، مارن و تراس‌های آبرفتی قدیم در تولید رسوب خروجی از حوزه آبخیز، متفاوت با نتایج پژوهش‌های مشابه صورت گرفته توسط نجفی و صادقی [۳۲] و صادقی و همکاران [٤٢] در همان منطقه به دست آمد که نشان دهنده وجود چالش جدی در چگونگی تعیین و انتخاب ترکیب انگشت‌نگار در منشأیابی رسوبات آبی است. هم‌چنین طبق نتایج پژوهش نجفی و صادقی [۳۲]، انتظار می‌رفت که سهم واحد سنگ‌شناسی مارن در تولید رسوب، بین دو واحد سنگ‌شناسی دیگر بیشتر باشد در صورتی‌که نتایج پژوهش حاضر، این موضوع را نقض می‌کند. از طرفی با توجه به این که ارزیابی نتایج انگشت‌نگاری رسوب با روش‌های مرسوم قبلی در حوزه‌ی آبخیز ایده‌لو مبتنی بر اندازه‌گیری‌های میدانی بوده است [۳۲، ٤٢، ٤١] بنابراین تفاوت نتایج مربوطه با یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند بیان‌گر پیچیدگی‌هایی خاص در استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب باشد به‌طوری که علی‌رغم گذشت چهار دهه از معرفی این روش در دنیا، همچنان روش‌ها و چگونگی تعیین ترکیب بهینه انگشت‌نگارِ رسوب مورد بررسی و پژوهش است. به‌عبارت دیگر تعداد ردیاب‌هایِ اندازه‌گیری شده در یک منطقه، روش‌های آماری مورد استفاده در بررسی پایداری ردیاب‌ها و دانش فنی و تجربه کارشناسی پژوهشگران مربوطه از مواردی است که می‌تواند منجر به نتایج متفاوت از مطالعات مشابه در مناطقی مشابه شود که قابلیت اعتماد و اجرایی یافته‌های پژوهشی را بشدت کاهش دهد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت در صورت استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب بدون توجه به روش‌های بررسی پایداری ردیاب‌ها و تشخیص عدم‌قطعیت‌های متصور بر آن‌ها، ترکیب‌های انگشت‌نگاری متفاوتی حاصل می‌شود و متعاقباً سهم‌های متفاوتی از مشارکت منابع رسوب در تولید رسوب برای یک منطقه مشابه مورد محاسبه و شناسایی قرار خواهد گرفت که اساساً استفاده از انگشت‌نگاری رسوبات برای منشأیابی رسوبات را با چالش جدی در مورد اعتماد و معتبر بودن نتایج مواجه می‌سازد. بر همین اساس یکی از مهم‌ترین آورده‌های این پژوهش را می‌توان ایجاد آگاهی در جامعه تخصصی مربوطه مبنی بر وجود عدم‌قطعیت‌های مهم در استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب دانست که استفاده از این روش را مستلزم توجه جدی به این موارد می‌کند.

جدول۳- ترکیب انگشت‌نگارهای بهینه شناسایی شده توسط تحلیل تشخیص خطی در حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

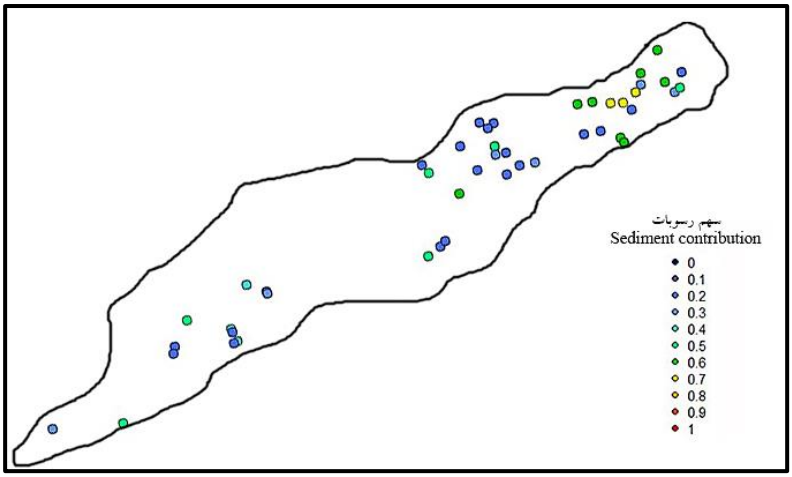
Table 3. The optimum composite fingerprints identified by the LDA in Idelo Watershed, Zanjan province

ترکیب انگشت‌نگار تحمیلی (Basic composite fingerprint)	Al- As- Co- Cu- Mn- Zn- Fe- Ni-Cr
ترکیب انگشت‌نگار پایدار (Canservative composite fingerprint)	Al- As- Co- Cu- Mn- Zn- Fe -Ni
ترکیب انگشت‌نگار با تغییرپذیری بالا (High variability composite fingerprint)	Al- As- Co- Cu- Mn- Zn



شکل ۵- سهم منابع رسوب سنگ‌شناسی مبتنی بر ترکیب‌های انگشت‌نگار تحمیلی، پایدار و با تغییرپذیری بالا در حوزه آبخیز ایده‌لو، در استان زنجان

Fig 5. Contribution of geology sediment sources based on basic, conservative and high variability fingerprints in Idelo watershed, Zanjan province



شکل٦- نقشه میانگین سهم هر نمونه منبع به نمونه‌های رسوب بستر در حوزه آبخیز ایده‌لو، استان زنجان

Fig 6. Mapped mean contribution of each source sample to the bed sediment samples in Idelo Watershed, Zanjan Province

منابع

1. Ballantine, D.J. Walling, D.E. Collins, A.L. and Leeks, G.J.L. 2009. The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. Geoderma. 151(3-4): 141-149.

2. Batista, P.V. Laceby, J.P. and Evrard, O. 2022. How to evaluate sediment fingerprinting source apportionments. Journal of Soils and Sediments. 22(4): 1315-1328.

3. Belmont, P. Willenbring, J. Kumarasamy, K. Schottler, S. Marquard, J. and Hemmis, J. 2014. Toward generalizable sediment fingerprinting with tracers that are conservative and nonconservative over sediment routing timescales. Journal of Soils Sediments. 14: 1479–1492.

4. Blake, W.H. Ficken, K.J. Taylor, P. Russell, M.A. and Walling, D.E. 2012. Tracing crop-specific sediment sources in agricultural catchments. Geomorphology. 139: 322-329.

5. Borrelli, P. Robinson, D.A. Fleischer, L.R. Lugato, E. Ballabio, C. Alewell, C. and Panagos, P. 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nature Communications. 8(1): 1-13.

6. Collins, A.L. Pulley, S. Foster, I.D.L. Gellis, A. Porto, P. and Horowitz, A.J. 2017. Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: a review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users. Journal of

Environmental Management. 194: 86-108.

7. Collins, A.L. and Walling, D.E. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography. 28(2): 159-196.

8. Collins, A.L. and Walling, D.E. 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. Geomorphology. 88(1-2): 120-138.

9. 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.

10. Collins, A.L. Walling, D.E. and Leeks, G.J.L. 1998. Use of composite fingerprints to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. Earth Surface Processes and Landforms. 23(1): 31-52.

11. Collins, A.L. Walling, D.E. McMellin, G.K. Zhang, Y. Gray, J. McGonigle, D. and Cherrington, R. 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(6): 1341-1349.

12. Collins, A.L. Walling, D.E. Webb, L. and King, P. 2010b. Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. Geoderma. 155(3-4): 249-261.

13. Collins, A.L. Zhang, Y. McChesney, D. Walling, D.E. Haley, S.M. and Smith, P. 2012. Sediment source tracing in a lowland agricultural catchment in southern England using a modified procedure combining statistical analysis and numerical modelling. Science of the Total Environment. 414: 301-317.

14. Evrard, O. Chaboche, P.A. Ramon, R. Foucher, A. and Laceby, J.P. 2020. A global source fingerprinting research incorporating fallout radiocesium (137Cs). Geomorphology. 362: 107103.

15. Foster, I.D.L. and Lees, J.A. 2000. Tracers in geomorphology: theory and applications in tracing fine particulate sediments. In Tracers in Geomorphology. pp. 3–20.

16. Foster, I.D.L. and Walling, D.E. 1994. Using reservoir deposits to reconstruct changing sediment yields and sources in the catchment of the Old Mill Reservoir, South Devon, UK, over the past 50 years. Hydrological Sciences Journal. 39: 347–368.

17. Fox, J.F. and Papanicolaou, A.N. 2008. An un-mixing model to study watershed erosion processes. Advances in Water Resources. 31(1): 96-108.

18. Franks, S.W. and Rowan, J.S. 2000. Multi-parameter fingerprinting of sediment sources: uncertainty estimation and tracer selection. In: Bentley L.R. Brebbia C.A. Gray W.G. Pinder G.F. and Sykes J.F. (Eds.), Computational Methods in Water Resources. alkema, Rotterdam, pp. 1067–1074.

19. Gholami, H. Middleton, N. Samani, A.A.N. and Wasson, R. 2017. Determining contribution of sand dune potential sources using radionuclides, trace and major elements in central Iran. Arabian Journal of Geosciences. 10(7): 163.

20. Habibi, S. Gholami, H. Fathabadi, A. and Jansen, J.D. 2019. Fingerprinting sources of reservoir sediment via two modelling approaches. Science of the Total Environment. 663: 78-96.

21. Hatfield, R.G. and Maher, B.A. 2009. Fingerprinting upland sediment sources: particle size-specific magnetic linkages between soils, lake sediments and suspended sediments. Earth Surface Processes and Landforms. 34(10): 1359-1373.

22. Koiter, A.J. Owens, P.N. Petticrew, E.L. and Lobb, D.A. 2015. The role of gravel channel beds on the particle size and organic matter selectivity of transported fine-grained sediment: implications for sediment fingerprinting and biogeochemical flux research. Journal of Soils and Sediments. 15: 2174–2188.

23. Krause, A.K. Franks, S.W. Kalma, J.D. Loughran, R.J. and Rowan, J.S. 2003. Multi-parameter fingerprinting of sediment deposition in a small gullied catchment in SE Australia. Catena. 53(4): 327–348.

24. Krein, A. Petticrew, E. and Udelhoven, T. 2003. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. Catena. 53(2): 165-179.

25. Laceby, J.P. and Olley, J. 2015. An examination of geochemiacal modelling approaches to tracing sediment source incorprating distribution mixing and elemental correlations. Hydrological Processes. 29(6): 1669-1685.

26. Lake, N.F. Martínez-Carreras, N. Shaw, P.J. and Collins, A. L. 2023. High frequency un-mixing of soil samples using a submerged spectrophotometer in a laboratory setting—implications for sediment fingerprinting. Journal of Soils and Sediments. 22: 348-364.

27. Latorre, B. Lizaga, I. Gaspar, L. and Navas, A. 2021. A novel method for analysing consistency and unravelling multiple solutions in sediment fingerprinting. Science of the Total Environment. 789: 147804.

28. Liu, B. Storm, D.E. Zhang, X.J. Cao, W. and Duan, X. 2016. A new method for fingerprinting sediment source contributions using distances from discriminant function analysis. Catena. 147: 32-39.

29. Mahmoudi, M. and Najafi, S. 2021. A review of studies on

40. Sadegi, S.H. and Najafi, S. 2014. Source Ascription Fluvial Sediment in Watersheds (Concepts, Methods & New Technologies). Iranian Student Book Agency, Tehran, 256 p. (In Persion).

41. Sadeghi, S.H. Najafi, S. Bakhtiari, A. and Abdi, P. 2014. Ascribing soil erosion types for sediment yield using composite fingerprinting technique. Hydrological Sciences Journal. 59(9): 27-41.

42. Sadeghi, S.H. Najafi, S. and RiyahiBakhtiari, A. 2017. Sediment contribution from different geologic formations and land uses in an Iranian small watershed, case study. International Journal of Sediment Research. 32: 210-220.

43. Sherriff, S.C. Franks, S.W. Rowan, J.S. Fenton, O. and Ó'hUallacháin, D. 2015. Uncertainty- based assessment of tracer selection, tracer non-conservativeness and multiple solutions in sediment fingerprinting using synthetic and field data. Soils and Sediments. 15: 2101–2116.

44. Shi, Z. Blake, W.H. Wen, A. Chen, J. Yan, D. and Long, Y. 2021. Channel erosion dominates sediment sources in an agricultural catchment in the Upper Yangtze basin of China: Evidence from geochemical fingerprints. Catena. 199: 105111.

45. Small, I.S. Rowan, J.S. and Franks, S.W. 2002. Quantitative sediment fingerprinting using a Bayesian uncertainty estimation framework. International Association of Hydrological Sciences Publication. 276: 443–450.

46. Smith, H.G. and Blake, W.H. 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: a critical re-examination of source discrimination and data corrections. Geomorphology. 204: 177–191.

47. Smith, H.G. Karam, D.S. and Lennard, A.T. 2018. Evaluating tracer selection for catchment sediment fingerprinting. Journal of Soils and Sediments. 18(9): 3005-3019.

48. Vanacker, V. Molina, A.G. Poesen, J. and Deckers, J. 2007. Spatial variation of suspended sedimconcentrations in a tropical Andean river system: The Paute River, southern Ecuador. Geomorphology. 87(1-2): 53-67.

49. Walling, D.E. and Collins, A.L. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. Environmental Science and Policy. 11(2): 136-143.

50. Walling, D.E. Owens, P.N. and Leeks, G.J. 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. Hydrological processes. 13(7): 955-975.

51. Walling, D.E. Owens, P.N. Waterfall, B.D. Leeks, G.J. and Wass, P.D. 2000. The particle size characteristics of fluvial the sediment fingerprinting in Iran. Extension and Development of Watershed Management. 9(34). 36-49. (In Persion).

30. Malhotra, K. Lamba, J. Srivastava, P. and Shepherd, S. 2018. Fingerprinting suspended sediment sources in an urbanized watershed. Water. 10(11): 1573.

31. Mukundan, R. Walling, D.E. Gellis, A.C. Slattery, M.C. and Radcliffe, D.E. 2012. Sediment source fingerprinting: transforming from a research tool to a management tool 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 48(6): 1241-1257.

32. Najafi, S. and Sadeghi, S.H. 2013. Estimation of sediment sources through comparing results from soil erosion mapping, fingerprinting and field measurement techniques. Watershed Engineering and Management. 5(3): 165-178. (In Persion).

33. Najafi, S. Sadeghi, S.H. and Heckmann, T. 2018. Analyzing structural sediment connectivity pattern in Taham Watershed, Iran. Watershed Engineering and Management. 10(2): 192-203. (In Persion).

34. Nosrati, K. Collins, A.L. and Madankan, M. 2018. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model. Catena. 164: 32-43.

35. Nosrati, K. Govers, G. Ahmadi, H. Sharifi, F. Amoozegar, M.A. Merckx, R. and Vanmaercke, M. 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints?. International Journal of Sediment Research. 26(2): 136-151.

36. Pulley, S. and Collins, A.L. 2018. Tracing catchment fine sediment sources using the new SIFT (Sediment Fingerprinting Tool) open source software. Science of the Total Environment. 635: 838-858.

37. 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: 303-319.

38. Pulley, S. Van der Waal, B. Collins, A.L. and Rowntree, K. 2017. Are source groups always appropriate when sediment fingerprinting? The direct comparison of source and sediment samples as a methodogical step. River Research and Applications. 33: 1553-1563.

39. Raigani, Z.M. Nosrati, K. and Collins, A.L. 2019. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources in a large Iranian catchment under dry-land cultivation and rangeland farming: combining geochemical tracers and weathering indices. Journal of Hydrology: Regional Studies. 24: 100613.

suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. Science of the Total Environment. 251: 205-222.

52. Wilkinson, S. Hancock, G. Bartley, R. Hawdon, A. and Keen, R. 2013. Using sediment tracing to assess processes and spatial patterns of erosion in grazed rangelands, Burdekin River basin, Australia. Agriculture, Ecosystems ans Environment. 180: 90-102.

53. Wilkinson, S.N. Wallbrink, P.J. Hancock, G.J. Blake, W.H. Shakesby, R.A. and Doerr, S.H. 2009. Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest. Geomorphology. 110(3-4): 140-151.

54. Zapata, F. 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. Soil and Tillage Research. 69(1-2): 3-13.

55. Zhang, X. She, D. Hou, M. Wang, G. and Liu, Y. 2021. Understanding the influencing factors (precipitation variation, land use changes and check dams) and mechanisms controlling changes in the sediment load of a typical Loess watershed, China. Ecological Engineering. 163: 106198.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 17, No. 63, Winter 2024 سال هفدهم- شماره ٦٣- زمستان ١٤٠٢

Sediment Fingerprinting Using the Approach of Reducing Uncertainty and Multi-Stage Assessment of Tracers in the Idelo Watershed in Zanjan Province

A. Asgharpour[1], S. Najafi[2], H. Nazarnejad[3]

Received: 01-02-2023 Accepted: 05-04-2023

Abstract

In previous sediment fingerprinting studies, optimization of tracer signatures are not considered. Therefore, with different composite fingerprints, the amount of contribution from different sediment sources can be different from each other. Accordingly, the optimal composite fingerprint was determined using an approach of multi-stage refinement of tracers and reduction of uncertainties in the Idelo watershed in Zanjan province. In this approach, the ability and conservative behavior of tracers to separate sources are evaluated using variability ratios, conservatism test, range test, and finally the conservative composite fingerprint as optimal composite fingerprint was determined. The detected composite fingerprint based on the introduced approach was different from a composite fingerprint obtained from conventional methods. Also, based on the aforesaid approach, the related contribution of the geologic units in sediment yield were estimated 49, 32 and 19 percent for young alluvial deposits, red gypsiferous marl and old alluvial clastic, respectively. These results were different from those obtained using conventional and old fingerprinting methods with 11, 85 and 4 percent contribution in sediment yield for the aforementioned geologic units, respectively. Generally, these results highlight the importance of applying the approach of multi-stage refinement of tracers and uncertainty reduction in determining the optimal composite fingerprinting of sediment..

Keywords: Composite sediment fingerprint, Optimum composite, Sediment source ascription, Soil and water conservation, Soil erosion and sediment management

1. M.Sc. Student of Soil and Water Conservation Engineering, Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Iran
2. Corresponding author and Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran. Email: sa.najafi@urmia.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University, Iran.