دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# منشایابی رسوبات آبی حوزه ورتوران قزوین با روش انگشت‌نگاری ترکیبی

جمال مصفایی[۱]، محمدرضا اختصاصی[۲] و امین صالح‌پور جم[۳]، محمدرسول رجبی[۴]

۱- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران (نویسنده مسوول: jamalmosaffaie@yahoo.com )
۲- استاد، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه یزد
۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- کارشناس ارشد آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری نوشهر

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۲

**چکیده**

**نخستین گام برنامه‌ریزی برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تشخیص منابع تولید رسوب می‌باشد. به دلیل وجود مشکلات زیاد روش‌های سنتی برای تعیین سهم منابع رسوب، روش انگشت‌نگاری بعنوان جایگزینی مناسب مورد توجه محققین قرار گرفته است. هدف اصلی این تحقیق استفاده از تکنیک انگشت‌نگاری ترکیبی برای تعیین سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب حوزه ورتوان قزوین در تولید رسوب حوزه می‌باشد. بدین منظور پس از تهیه نقشه دقیق واحدهای سنگ‌شناسی حوزه، تعداد ٦٦ نمونه از منابع رسوب و ۹ نمونه از رسوبات خروجی حوزه برداشت و بر روی آنها دانه‌بندی و تجزیه عنصری و کانی‌شناسی انجام گردید. سپس واحدهای نه‌گانه سنگ‌شناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به منابع سه‌گانه آتشفشانی، رسوبی تبخیری (آهکی) و رسوبی تخریبی دسته‌بندی گردید. با بکارگیری آزمون مقایسه میانگین‌ها و تحلیل تابع تشخیص، سه ردیاب کادمیوم، سرب و کلسیت بعنوان ترکیب بهینه ردیاب‌ها تعیین شدند. خروجی مدل‌های چندمتغیره ترکیبی نشان داد که در زیرحوزه کامان سهم واحدهای رسوبی تخریبی (مادستون قرمز، ماسه‌سنگ قرمز، شیل ذغالی)، تبخیری (آهک شیلی، آهک اوربیتولین‌دار، آهک با بین‌لایه‌های توف روشن) و آتشفشانی (توف تیره، آندزیت) به ترتیب برابر ٦۳/٤، ۲۵/۸ و ۱۰/۸ درصد، و در زیرحوزه موشقین به ترتیب برابر ۳٦/۲، ٤۵/۹ و ۱۷/۹ درصد می‌باشد و در خروجی کل حوزه، سهم این واحدها به ترتیب برابر ٤۷/٦، ۳۷/٤ و ۱۵/۱ درصد می‌باشد. اما اهمیت نسبی منابع رسوب که شاخصی است که عامل مساحت منابع مختلف در آن حذف شده است، در حوزه ورتوان و زیرحوزه‌های آن بصورت رسوبی تخریبی > رسوبی تبخیری > آتشفشانی است.**

**واژه‌های کلیدی: تحلیل تشخیص، تحلیل خوشه‌ای، سنگ‌شناسی، اهمیت نسبی، ورتوان**

## مقدمه

مسئله فرسایش و رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان مانع بزرگی در راه پیشرفت اقتصادی جوامع انسانی است (۶) لذا باید تدابیر جدی برای حفظ و نگهداری خاک اتخاذ شود. مطالعه فرآیندهای ایجاد رواناب و فرسایش خاک و ارزیابی عوامل ایجاد و مهار آن از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت صحیح منابع آب و خاک است (۱۰). نخستین گام برنامه‌ریزی برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش، کسب اطلاعات از میزان فرسایش و تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آنها در تولید رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در داخل حوزه آبخیز می‌باشد (۱۵). بنابراین نیاز مبرم به تکنیک‌هایی که اهمیت نسبی منابع رسوب را با دقت مناسب و هزینه مقرون‌به‌صرفه مشخص نمایند، وجود دارد. با تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آنها در رسوبات خروجی از حوزه آبخیز، می‌توان مناطق حساس به فرسایش در آبخیز را مشخص نمود و در نتیجه اقدامات حفاظت خاک و کنترل رسوب را در این مناطق متمرکز نمود (۱۶). والینگ[۱]، منابع رسوب معلق را به دو دسته کلی منابع نوعی[۲](فرسایش سطحی در برابر فرسایش زیرسطحی، کاربری‌های مختلف اراضی) و منابع مکانی[۳](زیرحوزه‌های مختلف یک حوزه، واحدهای مختلف زمین‌شناسی) تقسیم کرده است (۲۲). روش‌های منشایابی رسوبات را نیز می‌توان به دو دسته کلی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود که ممکن است نتایج آنها با هم متفاوت باشد زیرا سهم منابع مختلف رسوب یک حوزه توسط فعل و انفعال پیچیده سه نوع مقاومت مختلف مورفولوژیکی، مکانی و فیلتری[۴] کنترل می‌شود که دو مورد اول حرکت رسوب را بصورت درجا[۵] (حرکت رسوب بر روی دامنه و قبل از رسیدن به آبراهه) کنترل می‌کنند و مقاومت فیلتری عهده دار میزان تحویل ذرات به آبراهه و رودخانه می‌باشد (۱۶). برآیند این سه مقاومت ممکن است باعث شود رسوبات ناشی از منبع رسوبی که مقاومت مورفولوژیکی پائینی به فرسایش دارد به دلیل مقاومت مکانی و فیلتری بالا، سهم زیادی در رسوبات خروجی از آبخیز نداشته باشد (۲۲). از جمله روش‌های منشایابی رسوبات می‌توان به کاربرد مدل‌های مختلف تجربی و پایه‌فیزیکی[۶] برآورد فرسایش و رسوب، پلات‌های فرسایشی، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از طریق عکس‌ها و مشاهدات صحرایی (۳)، اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیرحوزه‌های اصلی برای تعیین اهمیت نسبی آنها در تولید رسوب (۲۱) اشاره کرد. اما کاربرد بعضی از روش‌ها معمولا با مشکلات نمونه‌گیری مکانی و زمانی و تنگناهای اجرایی مواجه بوده و بعضی از آنها نیز احتیاج به زمان و هزینه نسبتا زیادی دارند (۱۳،۴). لذا محققین مختلف از روش انگشت‌نگاری که متکی بر خصوصیات رسوب است به عنوان جایگزین روش‌های سنتی یاد شده استفاده کردند (۱۵،۲۲،۴، ۱۶،۱۷). والینگ کسب اطلاعات از طریق روش‌های سنتی در مورد سهم هر یک از این منابع رسوب را مشکل ارزیابی نموده و تکنیک انگشت‌نگاری رسوبات را به

1- Walling 2- Source type 3- Spatial location 4- Morphological, locational and filter resistance
5- Sediment mobilization in situ 6- Physically base and empirical models

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

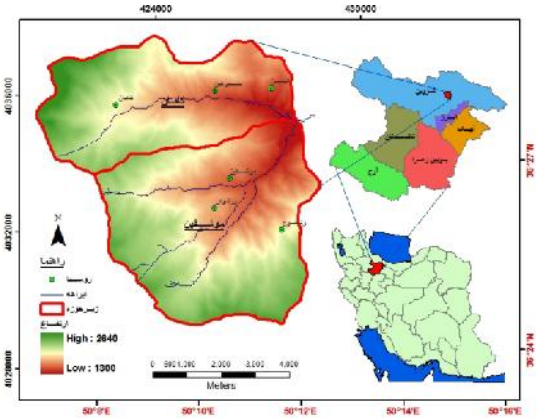
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

عنوان جایگزینی مناسب و باارزش برای روش‌های سنتی معرفی می‌نماید. وی با مروری بر مراحل تکامل این تکنیک و تحقیقات صورت گرفته، در مورد نیاز به توسعه نگرش و پتانسیل افزایش کاربرد آن در آینده بحث نموده است (۲۲). برخلاف روش‌های سنتی منشایابی رسوبات، در روش انگشت‌نگاری با در نظر گرفتن هر دو مفهوم انتقال و تحویل رسوب و بدون نیاز به اطلاعات تکمیلی از روندیابی و تحویل رسوب، به‌طور مستقیم سهم منابع رسوب معلق که معمولا درصد بالایی از کل رسوبات را تشکیل می‌دهند تعیین می‌شود (۳). مهم‌ترین اصل این روش مقایسه خصوصیات مختلف منابع رسوب با رسوبات خروجی از حوزه است و سهم هر یک از منابع رسوب با استفاده از ترکیبی مناسب از ردیاب‌ها، تعیین می‌شود. در واقع نمونه‌های رسوب مخلوطی از خاک‌های منابع مختلف رسوب می‌باشند که هر یک از این منابع دارای ویژگی‌های مربوط به خود بوده و مقدار تفاوت بین‌گروهی در آنها زیاد است درحالی‌که در نمونه‌های رسوب، با تداخل و همپوشانی ویژگی‌های منابع مختلف، تغییرات ویژگی‌ها در نمونه‌های مختلف رسوب تعدیل می‌یابد. در منشأیابی به روش انگشت‌نگاری ترکیبی به‌جای استفاده از یک ردیاب، معمولاً از چند ردیاب یا چند گروه از ردیاب‌ها نظیر عناصر ژئوشیمیایی (۱۴)، فلزات سنگین (۱۲ و ۲۰)، مواد آلی (۹)، ویژگی‌های بیولوژیکی (۱۸)، کانی‌شناسی (۱۱،۲۳)، رنگ (۱،۱۵) و ایزوتوپ‌های پایدار (۹) استفاده می‌شود تا در نهایت ترکیبی کامل از این ردیاب‌ها برای منشأیابی رسوبات حاصل شود (۳). هدف از انجام این مطالعه، انتخاب ترکیب مناسبی از ردیاب‌ها (مواد آلی، عناصر ژئوشیمیایی و کانی‌ها)، و تعیین سهم و اهمیت نسبی هر یک از منابع رسوب (واحدهای زمین‌شناسی آتشفشانی، آهکی، رسوبی) حوزه ورتوان استان قزوین می‌باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش را در مناطق بحرانی متمرکز و کارآیی این اقدامات را افزایش داد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز ورتوان قزوین با مساحت ۴۸۱۱ هکتار، در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شهر قزوین واقع شده است (شکل ۱). حوزه کوهستانی ورتوان از دو زیرحوزه موشقین و کامان با مساحت‌های به ترتیب ۲۸ و ۲۰ کیلومتر مربع و شیب متوسط به ترتیب ۳۲٪ و ۳۳/۱۶٪ تشکیل شده است و جهت عمومی شیب حوزه، شمال شرقی می‌باشد. متوسط بارش منطقه با استفاده از معادله گرادیان بارش طی سالهای ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۹، ۳۷۲ میلی‌متر و رژیم بارش عموماً از تمرکز بارش در فصول به ترتیب زمستان (۳۶٪)، بهار (۳۲٪) و پائیز (۳۰٪)، و خشکی منطبق بر تابستان (۲٪) تبعیت می‌کند. دمای متوسط سالانه ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد (ایستگاه فلار-کامان در مجاورت حوزه)، گرم‌ترین ماه سال تیر با متو سط دمای ۲۵/۴ و سردترین ماه سال دی با متوسط دمای ۰/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده، حوزه ورتوان دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد می‌باشد.




شکل۱- موقعیت آبخیز ورتوان در استان قزوین
Figure1. Location map of Vartavan watershed

### تهیه نقشه سنگ‌شناسی

ابتدا نقشه‌های رقومی زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ مربوط به منطقه تهیه و شناخت کلی از سازندها و واحدهای سنگی موجود در منطقه بدست آمد. در مرحله بعد با به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف سنجش از دور از قبیل تصاویر Google earth و تجزیه و تحلیل تصاویر $ETM^+$ و ساخت ترکیبات مختلف رنگ‌مجازی و کنترل و بازدیدهای گسترده صحرایی مرز واحدهای سنگ‌شناسی تدقیق شد.

### نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی

برای نمونه‌برداری از منابع مختلف رسوب در پاییز ۱۳۹۱، از دامنه‌های هر واحد سنگی حداقل سه نمونه و به مقدار تقریبا سه کیلوگرم با بیلچه استیل ضدزنگ برداشت گردید. برای هر نمونه در حوالی محل نمونه‌گیری تعدادی نمونه از خاک سطحی (عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر) جمع‌آوری و با یکدیگر مخلوط و مقداری از آن به آزمایشگاه منتقل شد. برای نمونه‌برداری از رسوبات انتقالی، از انتهای حوزه اصلی و

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

نیز انتهای هر یک از زیرحوزه‌ها تعداد سه نمونه از رسوبات کف بستر در محل انباشت رسوبات (چالاب‌های موجود در بستر آبراهه) برداشت شد.

در آزمایشگاه پس از خشک کردن نمونه‌ها در هوای آزاد و دمای اتاق، نسبت به دانه‌بندی آنها بر اساس استاندارد بین‌المللی به روش ASTM اقدام گردید. از آنجا که ذرات در حد سیلت و رس بیشترین جذب در سطح ذرات خود را انجام می‌دهند (۲۰) لذا از بخش زیر ۶۳ میکرون برای تجزیه آزمایشگاهی و تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی (Cu، Fe، Cd، Pb، Zn، Ni، Cr، Ag، Se) با استفاده از روش جذب اتمی[1] (AAS) که از دقت مناسبی برخوردار است و در تحقیقات قبل نیز استفاده شده است (۳،۱۲) استفاده گردید. کربن آلی نیز با استفاده از روش والکلی و بلاک[2] با روش کجدال تعیین گردید. کانی‌شناسی نمونه‌ها نیز با استفاده از روش‌های ماکرو (توسط بینوکولر و بر اساس خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی)، میکرو (توسط میکروسکوپ پلاریزان و تهیه مقاطع نازک) و XRD انجام شد و درصد کانی‌های موجود در هر نمونه بدست آمد.

**تهیه نقشه منابع رسوب**

به‌طور کلی، منابع رسوب را می‌توان به دو دسته منابع مکانی (واحدهای زمین‌شناسی حوزه، زیرحوزه‌های یک حوزه) و منابع نوعی (کاربری‌های حوزه، فرسایش‌های مختلف حوزه) تقسیم و سهم هر منبع را در تولید رسوب محاسبه نمود. در مطالعات انگشت‌نگاری هر چند افزایش تعداد منابع باعث ایجاد گروه‌های منحصربفردتر می‌شود اما ذکر این نکته ضروری است که معمولا افزایش تعداد منابع سبب افزایش تعداد توابع تشخیص شده و تفسیر آنها را پیچیده و مشکل می‌کند. لذا در این مقاله از تکنیک تحلیل خوشه‌ای و مقادیر استاندارد شده ویژگی‌های نمونه‌های برداشت شده از واحدهای سنگ‌شناسی برای دسته‌بندی و کاهش تعداد منابع رسوب استفاده شد.

**تعیین ترکیب بهینه ردیاب‌ها**

ترکیب بهینه ردیاب‌ها جهت تفکیک منابع رسوب به روش آزمون آماری دو مرحله‌ای تعیین گردید. ابتدا پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنف، از آزمون‌های پارامتریک تجزیه واریانس و غیرپارامتریک کروسکال‌والیس برای مقایسه میانگین‌ها و معنی‌داربودن تفاوت مقدار ردیاب در بین منابع مختلف رسوب استفاده گردید. در مرحله بعد، به منظور کاهش عناصر و ترکیبات انتخابی، ردیاب‌های خروجی مرحله اول که همگی دارای اختلاف معنی‌دار در بین منابع رسوب بودند بعنوان ورودی برای تحلیل تابع تشخیص چندمتغیره گام‌به‌گام استفاده شدند تا خصوصیاتی که دارای حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک باشند مشخص گردد و بدین ترتیب ترکیب بهینه ردیاب‌ها بطوریکه قادر به تفکیک منابع مختلف رسوب باشند تعیین شد.

**تعیین سهم منابع رسوب (واحدهای سنگ‌شناسی)**

برای تعیین سهم نسبی واحدهای سنگ‌شناسی در رسوبات خروجی حوزه از مدل‌های ترکیبی چندمتغیره ارائه شده توسط کولینز[3] استفاده شد (۲). تخمین سهم نسبی بهینه واحدهای سنگ‌شناسی، با به حداقل رساندن مجموع مربعات خطای نسبی (بهینه‌سازی خطی) از طریق رابطه یک و با استفاده از ابزار Solver در نرم‌افزار Excel محاسبه گردید.

رابطه ۱
$$R_{es} = \sum_{i=1}^{n}\left[\left(C_i - \left(\sum_{s=1}^{m} P_s S_{si} O_s\right)\right)/C_i\right] W_i^2$$

در این معادله Ci: غلظت ردیاب در نمونه رسوب، Ssi: میانگین غلظت ردیاب در منبع رسوب، Ps: سهم بهینه منبع رسوب، m: تعداد منابع، n: تعداد ردیاب، Os: فاکتور اصلاحی محتوای مواد آلی برای منبع رسوب (برابر با محتوای مواد آلی نمونه رسوب به محتوای مواد آلی منبع رسوب) که به دلیل تفاوت در غنی‌شدگی و تاثیر محتوای مواد آلی بر غلظت عناصر وارد مدل شده است (۲). Wi: وزن ویژه است ردیاب که به دلیل اختلاف در دقت اندازه‌گیری میزان ردیاب وارد الگوریتم مدل شده است. برای محاسبه آن، ابتدا مقدار هر ردیاب پنج مرتبه در آزمایشگاه اندازه‌گیری و مقادیر حاصل با تقسیم بر میانگین خود استاندارد شدند. سپس عکس ریشه دوم واریانس داده‌های استاندارد شده بعنوان ضریب وزنی ویژه ردیاب در نظر گرفته شد. Res نیز مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. البته مدل ترکیبی چندمتغیره دارای فاکتور اصلاحی اندازه ذرات برای منبع رسوب برای حذف تاثیر غنی‌شدن رسوبات از ذرات ریزدانه نیز می‌باشد ولی به دلیل همبستگی بالای نقش اندازه ذرات و محتوای مواد آلی در تاثیر بر غلظت عناصر، استفاده همزمان از فاکتورهای اصلاحی آنها می‌تواند سبب تصحیح بیش از حد[4] مقادیر پارامتر ردیاب شود (۲). از طرفی الک کردن نمونه‌ها توزیعی یکنواخت از اندازه ذرات (زیر ۶۳ میکرون) مورد اندازه‌گیری غلظت ردیاب را فراهم می‌کند. بنابراین در این مقاله از فاکتور اصلاحی اندازه ذرات استفاده نشد.

برای تطبیق نتایج حاصل از مدل ترکیبی چندمتغیره رسوب با واقعیت، دو محدودیت مرزی برای حل رابطه یک در نظر گرفته شد. بدین صورت که برای اطمینان از مثبت شدن سهم نسبی هر یک از منابع رسوب از رابطه ۲ و برای اطمینان از اینکه مجموع سهم همه منابع رسوب باید برابر یک شود از رابطه ۳ بعنوان شرایط مرزی استفاده گردید.

رابطه ۲ $0 \le P_s \le 1$

رابطه ۳ $\sum_{s=1}^{n} P_s = 1$

نیکویی برازش حاصل از مدل ترکیبی (سهم‌های تعیین شده برای هر منبع رسوب) از طریق مقایسه مقادیر واقعی غلظت ردیاب‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های رسوب با مقادیر متناظر تخمینی توسط روش بهینه‌سازی ارزیابی گردید. در نهایت نیز از تقسیم سهم هر منبع رسوب به مساحت آن واحد، اهمیت نسبی منابع بدست آمد.

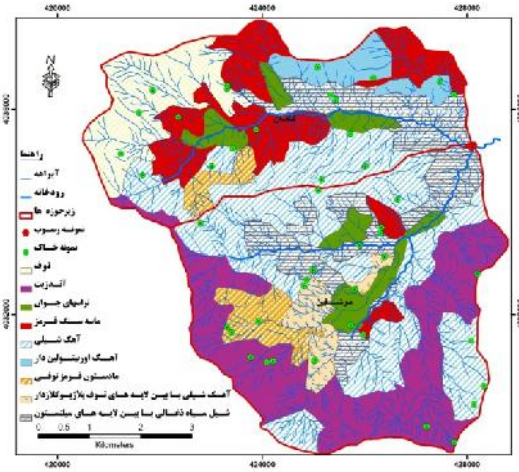
1- Atomic Absorption Spectrometry (AAS) 2- Walkley-black method 3- Collins 4- Over-correction

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

## نتایج و بحث

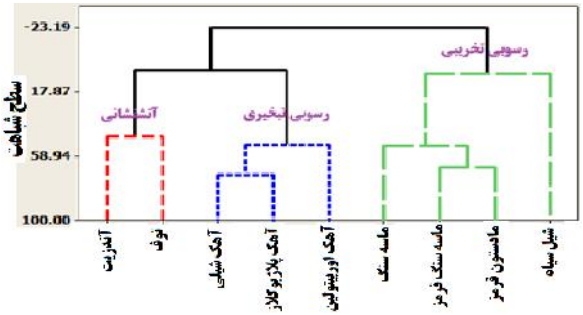
با استفاده از مطالعات صحرایی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نهایت نه واحد سنگ‌شناسی شامل آندزیت، توف تیره، مادستون قرمز، ماسه‌سنگ شمشک، آهک اوربیتولین‌دار، آهک شیلی، شیل ذغالی، ماسه‌سنگ قرمز و آهک شیلی با بین‌لایه‌های توف‌های روشن در حوزه ورتوان شناسایی شد که در شکل ۲ نقشه آنها به همراه نقاط نمونه‌برداری ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه نقاط نمونه‌برداری و واحدهای زمین‌شناسی
Figure 2. Lithology and sampling points map

### تفکیک منابع

به علت تعدد واحدهای سنگ‌شناسی و کافی نبودن ردیاب‌های خروجی تحلیل تشخیص برای تعیین سهم واحدهای ۹گانه سنگ‌شناسی (تنها سه ردیاب)، این واحدها با بکارگیری تکنیک تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی به سه دسته کلی تقسیم شدند (شکل۳). نگاهی به واحدهای سنگ‌شناسی دسته‌ها نشان می‌دهد که خوشه یک از واحدهای سنگی آتشفشانی (توف، آندزیت)، خوشه دو از واحدهای سنگی آهکی (آهک شیلی، آهک اوربیتولین‌دار، آهک شیلی با بین‌لایه‌های توف پلاژیوکلازدار) و خوشه سه از واحدهای سنگی رسوبی تخریبی (ماسه‌سنگ، مادستون قرمز، ماسه‌سنگ قرمز، شیل ذغالی) تشکیل شده‌اند. لذا واحدهای آتشفشانی، رسوبی تبخیری (آهکی) و رسوبی تخریبی به عنوان منابع سه‌گانه رسوب برای ادامه تحقیق در نظر گرفته شد.




شکل ۳- دسته‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی به منابع سه‌گانه رسوب
Figure 3. Classification of lithological units to three Sources

### ترکیب بهینه ردیاب

یکی از فرض‌های تحلیل تشخیص نرمال بودن توزیع متغیرهای مستقل است. نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنوف نشان داد که مقادیر ردیاب‌های آهن، کربن آلی، دولومیت، پیروکسن، هماتیت، مگنتیت، بیوتیت دارای توزیع غیرنرمال بوده و بنابراین نمی‌توانند وارد تحلیل تشخیص شوند (جدول ۱). از فرض‌های دیگر تحلیل تشخیص این است که بین متغیرهای مستقل نباید هم‌خطی وجود داشته باشد. مقادیر عامل تورم واریانس جدول یک نشان می‌دهد که ردیاب‌های کوارتز، کانی‌های رسی، فلدسپات و مواد آلی با دارا بودن بیشترین مقادیر عامل تورم واریانس بیشترین میزان همخطی را با هم دارند. در مطالعات ردیابی رسوبات، متفاوت بودن مقدار ردیاب در بین منابع مختلف رسوب بسیار مهم می‌باشد. آزمون مقایسه میانگین‌ها (تجزیه واریانس) مشخص نمود که میزان ردیاب‌های کادمیوم، کروم، مس، سرب، روی، نیکل، نقره، سلنیم، کوارتز، کلسیت و فلدسپار دارای اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ در بین منابع سه‌گانه رسوب می‌باشند (جدول ۱).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

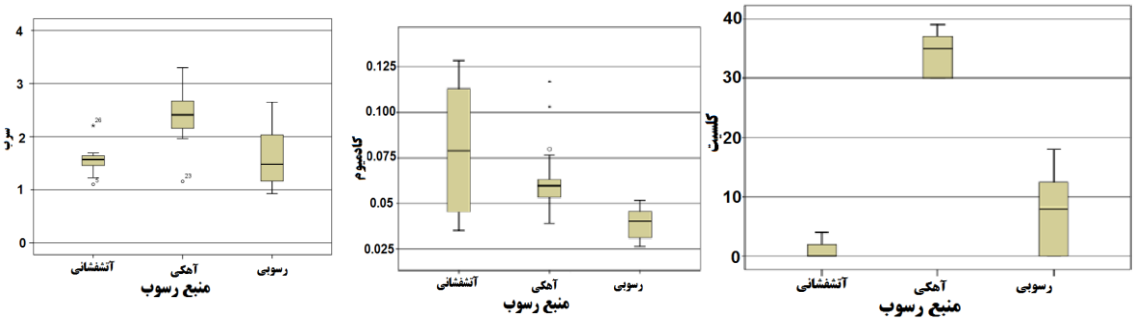
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

جدول ۱- خصوصیات مختلف ردیاب‌های مورد استفاده

Table1. Various properties of used tracer

| ردیاب | آزمون نرمالیته (سطح معنی‌داری) | عامل تورم واریانس | مقایسه میانگین‌ها (سطح معنی‌داری) | ضریب وزنی ویژه (Wi) |
|---|---|---|---|---|
| Cu | ۰/۱۴ | ۱۵/۱۱ | ۰/۴۳ | ۰/۶۵ |
| Fe | ۰/۰۱ | ۵/۳۰ | ۰/۲۷ | ۰/۵۱ |
| OC | ۰ | ۱۸/۷۶ | ۰/۲۷ | ۰/۸۱ |
| Cd | ۰/۰۵ | ۴/۴۱ | ۰/۰۰ | ۰/۱۸ |
| Pb | ۰/۱۲ | ۲/۳۶ | ۰/۰۳ | ۰/۶۷ |
| Zn | ۰/۱۹ | ۲/۲۲ | ۰/۸۴ | ۰/۲۶ |
| Ni | ۰/۱۳ | ۱۱/۲۰ | ۰/۶۱ | ۰/۴۶ |
| Cr | ۰/۹۳ | ۳/۳۴ | ۰/۰۱ | ۰/۵۲ |
| Ag | ۰/۲۱ | ۳/۲۹ | ۰/۱۹ | ۰/۲۴ |
| Se | ۰/۳۹ | ۳/۰۲ | ۰/۲۷ | ۰/۴۵ |
| کوارتز | ۰/۳۶ | ۶۷/۹۰ | ۰ | ۱/۴۸ |
| فلدسپات | ۰/۰۵ | ۱۸/۸۹ | ۰/۷۵ | ۰/۹۴ |
| کلسیت | ۰/۰۹ | ۳/۹۰ | ۰ | ۰/۲۱ |
| دولومیت | ۰ | ۵/۷۰ | ۰ | ۰/۷۶ |
| آمفیبول،پیروکسن | ۰/۰۳ | ۱۱/۰۲ | ۰ | ۰/۸ |
| کانی‌های رسی | ۰/۷۳ | ۳۶/۷۳ | ۰/۰۱ | ۰/۳۵ |
| هماتیت | ۰ | ۱۰/۷۲ | ۰/۳۳ | ۰/۷۸ |
| مگنتیت | ۰ | ۱۰/۹۷ | ۰ | ۰/۷۶ |
| بیوتیت | ۰ | ۱۶/۱۸ | ۰ | ۰/۷۱ |
| لیمونیت | ۰ | ۲/۴۱ | ۰/۰۲ | ۰/۶۸ |

با توجه به جدول ۲ ردیاب‌های کلسیت، کادمیوم و سرب به ترتیب در گام‌های یک تا سه وارد مدل شده و در نتیجه قابلیت تفکیک منابع سه‌گانه رسوب را دارند که نمودار جعبه‌ای این ردیاب‌ها در شکل ۴ ارائه شده است.




شکل ۴- نمودار جعبه‌ای ردیاب‌های منتخب در منابع مختلف رسوب

Figure 4. Box plot of selected tracers in various sediment sources

عدد تحمل کوچک‌تر کادمیوم و سرب نسبت به کلسیت بیانگر تاثیر نسبی کمتر این دو ردیاب در تحلیل است که ماتریس ساختاری و همبستگی‌های درون‌گروهی بین متغیرهای مستقل و توابع تشخیص نیز گویای تاثیر این ردیاب‌ها در دو تابع تشخیص است. با افزایش گام و اضافه شدن ردیاب‌ها مشاهده می‌شود که فاصله ماهالانوبیس افزایش و اختلاف بین‌گروهی منابع مختلف معنی‌دارتر شده است. همچنین آماره ویلکس لامبدا کاهش یافته و در نتیجه درصد طبقه‌بندی درست نمونه‌ها افزایش یافته است و نتیجه کلی اینکه با افزایش گام سطح معنی‌داری بهبود یافته و توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین‌گروهی افزایش یافته است.

جدول ۲- مراحل مختلف ورود عناصر در تحلیل تشخیص و تاثیر آن بر توان جداسازی منابع رسوب

Table 2. Various stages of elements entering in discriminant analysis and its effect on the separation ability of the sediment sources

| گام | ردیاب | عدد تحمل | فاصله ماهالانوبیس | ویلکس لامبدا | گروه‌ها |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | کلسیت | ۱ | | ۰/۱۹۱ | – |
| ۲ | کلسیت | ۰/۹۶۳ | ۰/۴۱۳ | ۰/۱۳۸ | آتشفشانی و آهکی |
| | کادمیوم | ۰/۹۶۳ | ۰/۹۲۸ | | آتشفشانی و رسوبی |
| ۳ | کلسیت | ۰/۹۶۳ | ۰/۷۲۸ | ۰/۱۱۶ | آهکی و رسوبی |
| | کادمیوم | ۰/۷۱۸ | ۱/۱۸۱ | | آتشفشانی و رسوبی |
| | سرب | ۰/۷۳۸ | ۲/۷۱۴ | | آتشفشانی و رسوبی |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

جدول ۳ نشان می‌دهد که تحلیل تشخیص دو تابع تشخیص کانونی را شناسایی نموده که از نظر آماری معنی‌دار می‌باشند. ضرایب این توابع در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار ویژه که یک شاخص نسبی برای بیان قدرت تابع تشخیص است نشان‌دهنده قدرت تفکیک نسبتا بالاتر تابع اول دارد که مقدار همبستگی ساختاری بالاتر تابع اول نیز این موضوع را تایید می‌کند.

جدول ۳- مقدار ویژه و درصد واریانس بیان شده توسط توابع تشخیص

Table 3. Eigen values and the percentage of variance explained by the diagnosis functions

| تابع | مقدار ویژه | درصد واریانس | همبستگی ساختاری | کای اسکوئر | معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۴/۵۵۸ | ۸۹/۱ | ۰/۹۰۶ | ۸۲/۲۹۴ | ۰ |
| ۲ | ۰/۵۵۶ | ۱۰/۹ | ۰/۵۹۸ | ۱۷/۶۸۲ | ۰ |

جدول ۴- ضرایب توابع تحلیل تشخیص برای طبقه‌بندی نمونه‌ها

Table 4. Coefficients of the discriminant analysis functions to classify samples

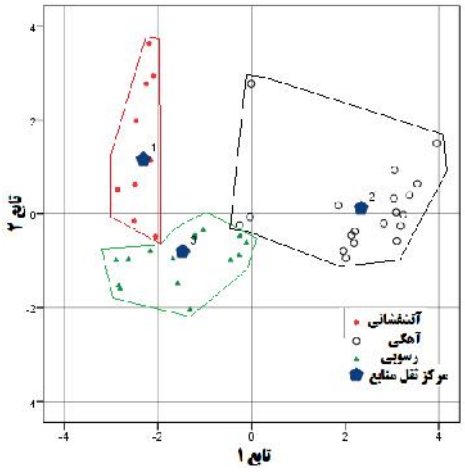
| تابع | ثابت | کادمیوم | سرب | کلسیت |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | -۳/۲۲۳ | ۵/۸۵ | ۰/۱۸۲ | ۰/۱۵۳ |
| ۲ | -۱/۵۷۸ | ۴۹/۶۶۷ | -۰/۷۴ | ۰/۰۱۱ |

جدول ۵ درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در هر یک از گروه‌های ۳ گانه منابع رسوب را نشان می‌دهد و بطور کلی ۸۴/۱ درصد از نمونه‌ها به طرز صحیحی در گروه اصلی خود طبقه‌بندی شده‌اند. در شکل ۵ نیز اختلاف بین‌گروهی توسط نمایش دوبعدی مقادیر نمرات تشخیص و مراکز ثقل گروهی در یک فضای دو بعدی ارائه شده است. در شکل ۵ بوضوح مشاهده می‌شود که دو تابع تشخیص تا حد قابل قبولی توانسته‌اند نمونه‌ها را بطور صحیحی در گروه‌های ۳گانه منابع رسوب به عضویت درآورند. با این حال نمونه‌های پرت معدودی نسبت به مرکز ثقل هر مجموعه وجود دارد، ولی از آنجا که مقادیر ویژه دو تابع تشخیص در حد قابل قبولی می‌باشد لذا خطای اجتناب‌ناپذیر این نمونه‌ها نیز بالطبع قابل اغماض خواهد بود.

جدول ۵- درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها در هر یک از گروه‌های ۳ گانه منابع رسوب

Table 5. Correct classification of samples (%) in each group of sediment sources

| منبع رسوب | درصد عضویت گروه برآوردی (درصد) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | آتشفشانی | آهکی | رسوبی | مجموع |
| آتشفشانی | ۵۵/۶ | ۰ | ۴۴/۴ | |
| آهکی | ۵/۳ | ۸۴/۲ | ۱۰/۵ | ۸۴/۱ |
| رسوبی | ۰ | ۰ | ۱۰۰ | |




شکل ۵ – نمودار دوبعدی توابع تشخیص کانونی و مقادیر نمرات تشخیص و مراکز ثقل گروهی

Figure 5. Two-dimensional graph of canonical discriminate functions and discriminate scores and centers of gravity of the groups

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

با استفاده از ردیاب‌های منتخب و بکارگیری مدل‌های ترکیبی چندمتغیره، درصد سهم هر منبع رسوب در رسوبات خروجی از زیرحوزه‌های کامان، موشقین و کل حوزه محاسبه گردید که مقادیر آن به همراه درصد خطای نسبی مدل در جدول ۶ ارائه شده است.

برای تعیین اهمیت نسبی هر یک از منابع، درصد سهم هرمنبع بر درصد مساحت آن در هر زیرحوضه تقسیم شد. بدیهی است منابعی که درصد سهم بالاتری از درصد مساحت داشته باشند دارای اهمیت بیشتر از متوسط و برعکس منابعی که درصد سهم پائین‌تری از درصد مساحت داشته باشند دارای اهمیت کمتر از متوسط می‌باشند.

جدول ۶– درصد سهم منابع مختلف رسوب در رسوبات خروجی

Table6. Percent of contribution deposits in the sediment output sources

| واحد | واحد آتشفشانی | | | واحد آهکی | | | واحد رسوبی | | | خطای نسبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مساحت (٪) | سهم (٪) | اهمیت | مساحت (٪) | سهم (٪) | اهمیت | مساحت (٪) | سهم (٪) | اهمیت | |
| زیرحوزه کامان | ۲۴/۴ | ۸/۲ | ۰/۴۴ | ۲۹/۵ | ۲۵/۸ | ۰/۸۸ | ۴۶/۱ | ۶۶ | ۱/۴۶ | ۱۱/۴ |
| زیرحوزه موشقین | ۳۶/۹ | ۱۵/۲ | ۰/۴۸ | ۴۰/۲ | ۴۶/۲ | ۱/۱۴ | ۲۳/۰ | ۳۸/۷ | ۱/۳۷ | ۱۰/۸ |
| کل حوزه ورتوان | ۳۱/۷ | ۱۳ | ۰/۴۸ | ۳۵/۸ | ۲۴/۷ | ۱/۰۴ | ۳۲/۶ | ۶۲/۳ | ۱/۵۸ | ۹/۶ |

در این مطالعه برای تفسیر راحت‌تر توابع تحلیل تشخیص، واحدهای ۹گانه سنگ‌شناسی حوضه ورتوان به سه منبع اصلی رسوبی تخریبی، رسوبی تبخیری (آهکی) و آتشفشانی دسته‌بندی شد که محققین قبلی نیز نسبت به انجام دسته‌بندی منابع رسوب برای تعیین سهم آنها اقدام کرده‌اند (۸).

سه ردیاب کلسیت، کادمیوم و سرب به عنوان ترکیب بهینه برای تفکیک منابع رسوب شناسایی شدند که ردیاب سرب در سایر تحقیقات نیز در ترکیب بهینه ردیاب‌ها قرار گرفته است (۵،۹).

با توجه به نتایج طبقه‌بندی و صحت پیش‌بینی، دو تابع تشخیص حاصل شد و صحت پیش‌بینی ردیاب‌های منتخب مورد بررسی قرار گرفت که کمترین طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها (۵۵،۶٪) مربوط به واحد آتشفشانی و بیشترین طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها (۱۰۰٪) مربوط به واحد رسوبی تخریبی است. از دلایل عدم طبقه‌بندی صحیح کامل برای واحدهای آتشفشانی و رسوبی تبخیری، می‌توان به وجود واحد آهک شیلی با بین‌لایه‌های توف روشن اشاره کرد که اگر چه در گروه رسوبی تبخیری دسته‌بندی شده است ولی دارای خصوصیات هر دو واحد آتشفشانی و رسوبی تبخیری است. این موضوع به نوعی باعث ایجاد خطا در برآوردهای توابع تشخیص شده و محدودیت‌هایی را در کاربرد تکنیک انگشت نگاری برای مناطق دارای اینگونه واحدها ایجاد خواهد کرد. نمودار دوبعدی توابع تشخیص کانونی نشان داد که موقعیت نمرات تشخیص نمونه‌های منابع مختلف با فاصله نسبتا مناسبی از هم قرار گرفته‌اند و در نتیجه ردیاب‌های منتخب توانایی تفکیک منابع رسوب را داشته و می‌توان سهم و اهمیت نسبی هر یک از منابع را برآورد نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که مساحت، سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب در رسوبات خروجی از حوضه متفاوت است. سهم بالاتر یک منبع رسوب می‌تواند به دلیل مساحت بیشتر، حساسیت بیشتر به فرسایش و یا نسبت تحویل رسوب بیشتر مربوط به آن منبع باشد. لذا درصد سهم منابع بر درصد مساحت آنها تقسیم و نوعی استانداردسازی صورت گرفت و شاخص اهمیت نسبی هر منبع که تاثیر عامل مساحت از آن حذف شده است محاسبه شد.

هر چه عدد اهمیت نسبی از یک بزرگ‌تر شود نشان‌دهنده فرسایش و نسبت تحویل رسوب (SDR) نسبی بیشتر آن منبع در حوضه و برعکس هرچه مقدار این شاخص از یک کوچک‌تر شود بیانگر فرسایش و SDR نسبی کمتر آن منبع در حوضه و نزدیک شدن این شاخص به عدد یک نیز نشانه فرسایش و SDR نسبتا متوسط آن منبع در حوضه است.

در زیرحوضه موشقین با وجود درصد سهم کمتر واحد رسوبی نسبت به واحد آهکی، اهمیت نسبی واحد رسوبی بیشتر از واحد آهکی است که دلیل آنرا باید در حساسیت به فرسایش بیشتر و یا SDR بیشتر این واحد جستجو نمود. اما در همین زیرحوضه، برعکس زیرحوضه کامان و کل حوضه، عدد اهمیت نسبی منبع آهکی از یک بزرگ‌تر است و در شکل ۵ نیز درصد سهم منبع آهکی از درصد مساحت آن بالاتر قرار گرفته که دلیل آن وجود واحد آهک با بین‌لایه‌های توف پلاژیوکلازدار است که سبب حساسیت بیشتر آن نسبت به فرسایش می‌شود. سایر تحقیقات نیز در مورد حساسیت بسیار زیاد این واحد سنگی نسبت به فرسایش در مقایسه به سایر واحدهای سنگی موجود در حوزه ورتوان به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (۱۴). اما بطور کلی منبع آهکی با قرارگیری در محدوده‌های میان‌بند حوضه (SDR متوسط) و حساسیت نسبتا متوسط به فرسایش، اهمیت نسبی متوسطی نیز دارد. از آنجاکه واحدهای سنگ‌شناسی آتشفشانی (توف، آندزیت) در بخش‌های بالادست و انتهایی حوضه قرار گرفته‌اند (SDR کمتر) و از طرفی واحد آتشفشانی معمولا از مقاومت خوبی نسبت به فرسایش برخوردار است (۶،۱۴،۲۴) لذا اهمیت نسبی این منبع در رسوبات خروجی زیاد نیست. منبع رسوبی نیز که دارای واحدهای سنگی بسیار حساس به فرسایش نظیر شیل ذغالی و مادستون قرمز است (۱۴) و از طرفی منبع رسوبی در فاصله کمتری نسبت به خروجی قرار گرفته (SDR بیشتر)، لذا سهم و اهمیت نسبی این منبع بالاست.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از آقای مهندس کاظم میردهقان، مسئول آزمایشگاه کانی‌شناسی نوری دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه یزد و آقای مهندس مهدی حاجی‌نوروزی، سرپرست آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی قدردانی می‌نمایند.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

## منابع


1. Carreras, N.M., T. Udelhoven Krein, A. Gallart, F. Iffly, J.F. Ziebel, J. Hoffman, L. Pfister and D.E. Walling. 2010. The use of sediment coulor measured by reflectance spectrometry to determine sediment source: application to the Attert river catchment (Luxembourg). Journal of Hydrology, 382: 49-63.
2. Collins, A.L., D.E. Walling and G.J.L. Leeks. 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. CATENA, 29(1): 1-27.
3. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. Journal of Hydrology, 261: 218-244.
4. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography, 28: 159-196.
5. Collins, A.L. and D.E. Walling. 2007. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Geomorphology, 88(1): 120-138.
6. Fathizad, H., H. Karimi and M. Tavakoli. 2016. Role of sensitivity of erosion the geological formations at erosion rate and sediment yield (Case study: sub-basins of Doviraj river, Ilam province). Journal of Watershed Management Research 7(13): 193-208 (In Persian).
7. Feiznia, S., A. Mohammadi, M. Mohseni Saravi and F. Ghadimi Aross Mahalleh. 2007. Investigating effect of land use changes and geological formations sensibility to water erosion and sediment yield (Case study: Daryacheh-e- Namak). Journal of the Iranian Natural Resourses, 60(3): 811-828 (In Persian).
8. Hakimkhani, Sh. and H. Ahmadi. 2008. Determining subbasins contributions to sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Margan basin, Pouldasht). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15: 181-191 (In Persian).
9. Hakimkhani, Sh., H. Ahmadi and J. Ghayoumian. 2009. Determining erosion types contributions to the sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Margan watershed). Iranian Journal of Soil and Waters Sciences, 19(1): 83-94 (In Persian).
10. Homauonfar, V., A. Khaledi Darvishan, S.H.R. Sadeghi. 2016. Effects of soil preparation for laboratorial erosion studies on surface runoff. Journal of Watershed Management Research 7(14): 60-68 (In Persian).
11. 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.
12. Kouhpeima, A., S. Feiznia, H. Ahmadi and S.A.A. Hashemi. 2011. Determining the ability of acid extractable metals as a fingerprint in sediment source discrimination. International Journal of Natural Resources and Marine Sciences, 1(2): 93-99.
13. Loughran, R.J. and B.L. Campbell. 1995. The identification of catchment sediment sources. In: Foster, I.D.L., Gumell, A.M, B.W. Webb (Eds.). Sediment and Water Quality in River Catchments. Wiley, Chichester, 189-205.
14. Mosaffaie J., M.R. Ekhtesasi, M.T. Dastorani, H.R. Azimzadeh and M.A. Zare Chahuki. 2014. Temporal and spatial variation of the water erosion rate. Arabian journal of Geosciences. DOI: 10.1007/s12517-014-1628-z.
15. Mosaffaie, J. and M.R. Ekhtesasi. 2016. Comparison of the relative sediment yield potential of lithological units using sediment grain color. Iran-watershed management science & engineering 10 (32): 51-58 (In Persian).
16. Mosaffaie, J. and M.R. Ekhtesasi, (In press). Comparison of direct and indirect methods for sediment source tracing. Iran-watershed management science & engineering. (In Persian)
17. Nazari Samani, A., R.J. Wasson and A. Malekian. 2011. Application of multiple sediment fingerprinting techniques to determine the sediment source contribution of gully erosion: Review and case study from Boushehr province southwestern, Iran. Progress in Physical Geography, 35(3): 75-391.
18. Nosrati, K., G. Govers, H. Ahmadi, F. Sharifi, M.A. Amoozegar, R. Merckx and M. Vanmaercke. 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints? International Journal of Sediment Research, 26, 136-151.
19. Peart, M.R. and D.E. Walling. 1988. Techniques for establishing suspended sediment sources in two drainage basins in Devon, UK: a comparative assessment. Sediment budgets: IAHS Publication No. 174: 269-279 (Wallingford).
20. Sadeghi, S.H.R., M. Kiani Harchegani and H.A. Younesi. 2012. Suspended sediment concentration and particle size distribution and their relationship with heavy metals contents. Journal of Earth System Science, 121(1): 63-71.
21. Walling, D.E. and J.C. Woodward. 1995. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Culm, Devon, UK. Marine and Freshwater Research, 46: 327-336.
22. Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. Science of the Total Environment, 344: 159-184.
23. Wood, P.A. 1978. Fine-sediment mineralogy of source rocks and suspended sediment, rother catchment, West Sussex. Earth Surface Processes, 3(3): 255-263.
24. Yamani, M. and N. Ebrahimkhani. 2010. Erosion vulnerability assessment through sedimentation alluvium formation of index case study: haji Arab basin (Qazvin province). Geography, 8(24): 69-86.


[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]

# Sediment Source Ascription in Vartavan Catchment using Composite Fingerprint Technique

**Jamal Mosaffaie[1], Mohammad Reza Ekhtesasi[2], Amin Salehpour Jam[3] and Mohammad Rasoul Rajabi[4]**

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
(Corresponding author: jamalmosaffaie@yahoo.com)
2- Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University
3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4- M.Sc. In Watershed Management, Natural Resources and Watershed Management Organization of Noshahr
Received: 27 April, 2015 Accepted: 1 may, 2016

## Abstract

Determining the relative contribution of sediment sources is the first step in planning for soil conservation programs. Due to many problems of traditional methods for determining the contribution of sediment sources, fingerprinting technique have attracted the researchers as an appropriate alternative. The main purpose of this study was to determine the relative contribution and importance of sediment sources of Vartavan catchment using composite fingerprinting technique. Therefore, after preparing the precise lithological map of catchment, 66 samples of sediment sources and 9 samples of sediments were collected. Particle size distribution, mineral and element content of samples were determined. Then nine lithological units were classified to three sediment sources (volcanic, calcareous and clastics) using cluster analysis. Three tracer including Cd, Pb and calcite were determined as the optimum tracers combination using discriminant function analysis. The output of multivariate mixing model showed that the contribution of sedimentary (red mudstone, red sandstone, black shale), calcareous (shale limestone, orbitolina limestone and plagioclase limestone) and volcanic sources (dark tuff, andesite) in Kaman subcatchment were 63.4, 25.8 and 10.8 percent and in Mushaghin subcatchment were 36.2, 45.9 and 17.9 percent, and in whole output were equal to 47.6, 37.4 and 15.1 percent respectively. But the relative importance of sediment sources that is an index that the effect of source area is removed, is as sedimentary > calcareous > volcanic in subcatchments and final outlet.

**Keywords:** Discriminant analysis, cluster analysis, lithology, relative importance, Vartavan

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.123 ]