

مقدمه

رویکرد توسعه پایدار با حفظ و مدیریت منابع سه گانه آب، خاک و پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز ممکن می‌شود [۱۴، ۱۷، ۱۹]. پدیده فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن مانعی اساسی در برابر توسعه کشور محسوب می‌شود [۱۵]. نخستین گام برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در داخل حوزه آبخیز می‌باشد. لذا نیاز مبرم به وجود تکنیک‌هایی است که اهمیت نسبی منابع رسوب را با دقت مناسب و هزینه مقرون به صرفه مشخص نمایند. با تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب، می‌توان اقدامات حفاظت خاک و کنترل رسوب را در مناطق بحرانی و حساس به فرسایش متمرکز نمود. والینگ منابع رسوب معلق را به دو دسته منابع نوعی^۳ (فرسایش سطحی در برابر فرسایش زیرسطحی، کاربری‌های مختلف اراضی) و منابع مکانی^۴ (زیرحوزه‌های مختلف یک حوزه، واحدهای مختلف زمین‌شناسی) تقسیم می‌نماید [۲۹].

روش‌های مختلف تعیین سهم منابع مختلف رسوب را نیز می‌توان به دو روش کلی مستقیم و غیر مستقیم تقسیم نمود [۲۹]. روش غیرمستقیم مشتمل بر تکنیک‌هایی است که جابجایی خاک را اندازه‌گیری یا ارزیابی می‌کنند. در این روش‌ها اگرچه پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی در پیمایش، سنجش از دور و فتوگرامتری باعث بهبود تفکیک مکانی و زمانی الگوهای فرسایش در حوزه‌های آبخیز شده است اما با این حال این روش‌ها اتصال منبع رسوب به رودخانه و عدم قطعیت ناشی از روندیابی رسوب را در نظر نمی‌گیرند لذا نتایج این روش‌ها مادامی که اطلاعاتی در مورد میزان تحویل رسوب^۵ وجود نداشته باشد محدود به فرسایش خاک منابع مختلف رسوب بوده و نمی‌توان نتایج این روش‌ها را برای تعیین سهم منابع رسوب تعمیم داد. بنابراین روش‌هایی از قبیل پلات‌ها و میخ‌های فرسایش اگرچه از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری فرسایش محسوب می‌شوند ولی از منظر منشایابی رسوبات جزو روش‌های غیرمستقیم قلمداد می‌شوند زیرا سهم منابع تولید رسوب را بطور مستقیم محاسبه نکرده و بر اساس میزان فرسایش و نسبت تحویل رسوب واحدها، برآوردهایی را از سهم واحدهای مختلف در رسوبات خروجی حوزه خواهند داشت. از جمله روش‌های غیرمستقیم می‌توان به

مقایسه عملکرد روش انگشت‌نگاری و اندازه‌گیری
صحرای فرسایش در منشایابی رسوبات آبی

جمال مصفایی^۱، محمدرضا اختصاصی^۲ و امین صالح پورجم^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۷

چکیده:

نخستین گام برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در داخل حوزه آبخیز می‌باشد. هدف این تحقیق مقایسه نتایج روش انگشت‌نگاری رسوبات و اندازه‌گیری صحرای فرسایش برای منشایابی رسوبات آبی در آبخیز ورتوان می‌باشد. بدین منظور از تحلیل تشخیص برای تعیین ترکیب بهینه ردیاب و از مدل‌های چندمتغیره ترکیبی برای تعیین سهم منابع رسوب استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان فرسایش واحدهای سنگ‌شناسی نیز از تله‌های رسوب‌گیر استفاده شد. نتایج نشان داد سهم واحدهای رسوبی، آهکی و آتشفشانی در رسوبات خروجی حوزه به ترتیب برابر ۴۷/۶، ۳۷/۴ و ۱۵/۱ درصد و اهمیت نسبی این منابع از نظر رسوب ویژه به ترتیب برابر ۱/۵۸، ۱/۰۴ و ۰/۴۸ است. هم‌چنین میانگین حداقل و حداکثر وزن رسوبات تجمع یافته در تله‌های رسوب‌گیر به ترتیب برابر ۱۳/۲ و ۲۲۱/۶ گرم برای واحدهای آهک اوریتولین‌دار و پلاژیوکلازدار بود. در کل نتایج و کارایی روش انگشت‌نگاری، توسط اندازه‌گیری‌های میدانی مورد تایید قرار گرفت. هم‌چنین اختلافات نتایج دو روش مورد استفاده را می‌توان حاصل اختلاف مساحت واحدها و نیز عدم لحاظ نسبت تحویل رسوب مقاومت‌های مکانی و سپری در روش اندازه‌گیری صحرای دانست.

کلید واژه‌ها: تحلیل تشخیص، مدل ترکیبی چندمتغیره، سهم

منابع رسوب

۱-۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران
۲- نویسنده مسئول و استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه یزد، پست الکترونیک: mr_ekhtesasi@Yazd.ac.ir

3- Source type

4- Spatial location

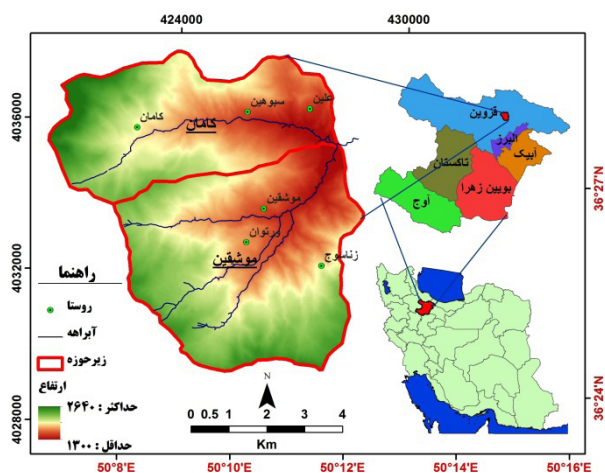
5- Sediment Delivery Ratio (SDR)

انگشت‌نگاری رسوبات و اندازه‌گیری صحرایی فرسایش از طریق نصب تله‌های رسوب‌گیر و میخ‌های فرسایش در حوزه ورتوان استان قزوین می‌باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق علاوه بر اجرای کارآ و هدفمند برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش می‌توان به درک بهتری از مقاومت‌های مورفولوژیکی، مکانی و سپری بر فرآیندهای حاکم بر فرسایش و رسیدن رسوبات به خروجی حوضه دست یافت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز ورتوان با مساحتی معادل ۴۸۱۱ هکتار، در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شهر قزوین واقع شده است (شکل ۱). تیپ اراضی سطح حوضه عمدتاً کوهستانی بوده، شیب متوسط حوضه ۲۲ درجه (۴۰ درصد) و جهت عمومی شیب، شمال شرقی می‌باشد. متوسط بارش منطقه ۳۷۲ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی دوارتن اصلاح شده، حوزه ورتوان دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد می‌باشد. همچنین بازدیدهای صحرایی، بیان‌گر شدت فرسایش و تنوع واحدهای سنگ‌شناسی در سطح حوضه است.



شکل ۱- نقشه موقعیت آبخیز ورتوان در استان قزوین و کشور
Figure 1. Location map of Vartavan watershed

تهیه نقشه سنگ‌شناسی ابتدا نقشه‌های رقومی زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ مربوط به منطقه (ورقه قزوین) 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.

کاربرد مدل‌های مختلف تجربی و پایه‌فیزیکی برآورد فرسایش و رسوب، پلات‌های فرسایشی، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از طریق عکس‌ها و مشاهدات صحرایی [۳]، اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیرحوضه‌های اصلی [۲۸] اشاره کرد که کاربرد بعضی از آنها معمولاً با مشکلات نمونه‌گیری مکانی و زمانی و تنگناهای اجرایی مواجه بوده و بعضی از آنها نیز احتیاج به زمان و هزینه نسبتاً زیادی دارند [۴، ۱۳].

روش‌های مستقیم از جمله روش انگشت‌نگاری رسوب، به نحوی منابع رسوب و شار رسوبات را به هم مربوط می‌کنند که نیاز به اطلاعات تکمیلی در مورد نرخ تحویل رسوب ندارند. مهم‌ترین اصل روش انگشت‌نگاری، مقایسه خصوصیات مختلف منابع رسوب با رسوبات خروجی از حوزه است و سهم هر یک از منابع رسوب با ترکیبی مناسب از ردیاب‌ها، تعیین می‌شود [۲۷]. در منشأیابی به روش انگشت‌نگاری ترکیبی به‌جای استفاده از یک ردیاب، معمولاً از چند ردیاب یا چند گروه از ردیاب‌ها نظیر عناصر ژئوشیمیایی [۲۱، ۲۳]، فلزات سنگین [۱۲، ۲۴]، مواد آلی [۸، ۲۶]، ویژگی‌های بیولوژیکی [۲۲]، کانی‌شناسی [۱۰، ۲۸]، رنگ [۱۸، ۱۹] و ایزوتوپ‌های پایدار [۸] استفاده می‌شود تا در نهایت ترکیبی کامل از این ردیاب‌ها برای منشأیابی رسوبات حاصل شود [۳]. انگشت‌نگاری ترکیبی اگرچه اطلاعات علمی و مفیدی را برای کنترل فرسایش و رسوب در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار می‌دهد، اما تحلیل‌های عدم قطعیت نشان می‌دهد که نتایج این روش‌ها ممکن است همیشه از دقت کافی برخوردار نباشد [۲۳].

ممکن است نتایج روش‌های مستقیم و غیرمستقیم به چند دلیل با هم متفاوت باشد زیرا سهم منابع رسوب مختلف یک حوزه در رسوبات خروجی از آن، توسط فعل و انفعال پیچیده سه نوع مقاومت ۱- مورفولوژیکی (میزان حساسیت به فرسایش)، ۲- مکانی (مجاورت منبع رسوب به رودخانه)، ۳- سپری^۱ (تراکم جاده‌ها، مسیرها، زهکش‌های مزارع، و نیز چیرها دارد که نقش زیادی در تحویل رسوب از منابع رسوب دوردست به شبکه آبراهه دارند) کنترل می‌شود. فعل و انفعال با هم این سه مقاومت ممکن است باعث شود رسوبات ناشی از منبع رسوبی که مقاومت مورفولوژیکی پائینی به فرسایش داشته باشد به دلیل مقاومت مکانی و سپری بالا، سهم زیادی در رسوبات خروجی از آبخیز نداشته باشد [۲۹]. نجفی و صادقی پس از ارزیابی تطبیقی نتایج دو روش انگشت‌نگاری و اندازه‌گیری میدانی و تهیه نقشه سیمای فرسایش در تعیین سهم منابع تولید رسوب، اختلاف نتایج این روش‌ها را به رویکرد کمی و یا کیفی بررسی وضعیت فرسایش در روش‌های مذکور و نیز عدم لحاظ نسبت تحویل رسوب و سایر فرآیندهای حاکم بر انتقال رسوب نسبت داده و بر استفاده همزمان و ترکیبی آنها برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد تاکید می‌نمایند [۲۰، ۲۶].

هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی و مقایسه نتایج روش

1- Filter resistance

از ابزار Solver در نرم افزار Excel محاسبه شد.

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

در این معادله C_i غلظت ردیاب در نمونه رسوب، S_{si} میانگین غلظت ردیاب در منبع رسوب، P_s سهم بهینه منبع رسوب، m : تعداد منابع، n تعداد ردیاب، O_s عامل اصلاحی محتوای مواد آلی برای منبع رسوب (برابر با محتوای مواد آلی نمونه رسوب به محتوای مواد آلی منبع رسوب) که به دلیل تاثیر محتوای مواد آلی بر غلظت عناصر وارد مدل شده است. که در آن W_i وزن ویژه ردیاب که به دلیل اختلاف در دقت اندازه گیری میزان ردیاب وارد الگوریتم مدل شده است و برای محاسبه آن، ابتدا مقدار هر ردیاب پنج مرتبه در آزمایشگاه اندازه گیری و مقادیر حاصل با تقسیم بر میانگین خود استاندارد شدند. سپس عکس ریشه دوم واریانس داده های استاندارد شده بعنوان ضریب وزنی ویژه ردیاب در نظر گرفته شد. R_{es} مجموع مربعات باقیمانده می باشد. البته مدل ترکیبی چندمتغیره دارای عامل اصلاحی اندازه ذرات برای حذف تاثیر غنی شدن رسوبات از ذرات ریزدانه نیز می باشد ولی استفاده همزمان از این دو عامل اصلاحی، به دلیل همبستگی بالای نقش اندازه ذرات و محتوای مواد آلی، می تواند باعث بروز خطا به دلیل تصحیح بیش از حد^۳ مقادیر پارامتر ردیاب شود [۲]. از طرفی الگوریتم کردن نمونه ها توزیعی یکنواخت از اندازه ذرات (زیر ۶۳ میکرون) مورد اندازه گیری غلظت ردیاب را فراهم می کند. بنابراین در این مقاله از عامل اصلاحی اندازه ذرات استفاده نشد.

هم چنین از دو محدودیت مرزی در ابزار Solver نرم افزار Excel برای تطبیق نتایج با واقعیت، یکی اطمینان از مثبت شدن سهم نسبی هر یک از منابع رسوب و دیگری اطمینان از اینکه مجموع سهم همه منابع رسوب باید برابر یک شود استفاده شد.

نیکویی برازش حاصل از مدل ترکیبی (سهم های تعیین شده برای هر منبع رسوب) از طریق مقایسه مقادیر واقعی غلظت ردیاب های اندازه گیری شده در نمونه های رسوب با مقادیر متناظر تخمینی توسط روش بهینه سازی ارزیابی شد.

تعیین اهمیت نسبی منابع در رسوبات خروجی سهم بالاتر یک منبع رسوب می تواند به دلیل مساحت بیش تر، حساسیت بیش تر به فرسایش و یا نسبت تحویل رسوب بیش تر 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 بزرگ تر شود نشان دهنده فرسایش و SDR نسبی بیش تر آن منبع و برعکس هر چه مقدار این شاخص از یک کوچک تر شود بیانگر فرسایش و SDR نسبی کم تر آن منبع و نزدیک شدن این شاخص به عدد یک نیز نشانه فرسایش

3- Over-correction

انگشت نگاری رسوبات

نمونه برداری و تجزیه آزمایشگاهی

برای نمونه برداری از منابع مختلف رسوب از دامنه های هر واحد سنگ حداقل سه نمونه و به مقدار تقریباً سه کیلوگرم با بیلچه استیل ضدزنگ برداشت شد. برای هر نمونه در حوالی محل نمونه گیری تعدادی نمونه از خاک سطحی (عمق صفر تا ۵ سانتیمتر) جمع آوری و باهم مخلوط و مقداری از آن به آزمایشگاه منتقل شد. برای نمونه برداری از رسوبات انتقالی، از انتهای حوزه اصلی و نیز انتهای هر یک از زیرحوزه ها تعداد سه نمونه از رسوبات کف بستر در محل انباشت رسوبات (چالاب های موجود در بستر آبراهه) برداشت شد. از آنجا که ذرات در حد سیلت و رس بیش ترین جذب در سطح ذرات خود را انجام می دهند [۲۵] لذا از بخش زیر ۶۳ میکرون برای تجزیه آزمایشگاهی و تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی (Cd, Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Ag, Se) با استفاده از روش جذب اتمی^۱ (AAS) استفاده شد [۱۲]. کربن آلی نیز با استفاده از روش والکلی و بلاک محاسبه شد [۸، ۹]. کانی شناسی نمونه ها نیز با استفاده از روش های ماکرو (توسط بینوکولر و بر اساس خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی)، میکرو (توسط میکروسکوپ پلاریزان و تهیه مقاطع نازک) و پراش اشعه ایکس^۲ (XRD) انجام شد و درصد کانی های موجود در هر نمونه بدست آمد.

دسته بندی واحدهای سنگ شناسی

در مطالعات انگشت نگاری هر چند افزایش تعداد منابع باعث ایجاد گروه های منحصر بفردتر می شود اما معمولاً افزایش تعداد منابع سبب افزایش تعداد توابع تشخیص شده و تفسیر آنها را پیچیده و مشکل می کند. لذا در این تحقیق از تکنیک تحلیل خوشه ای و مقادیر استاندارد شده ویژگی های نمونه های برداشت شده از واحدهای سنگ شناسی برای دسته بندی و کاهش تعداد منابع رسوب استفاده شد.

تعیین ترکیب بهینه ردیاب ها

ترکیب بهینه ردیاب ها جهت تفکیک منابع رسوب به روش آزمون آماری دو مرحله ای تعیین شد [۹، ۲۲]. پس از بررسی نرمال بودن داده ها، از آزمون تجزیه واریانس برای معنی دار بودن تفاوت مقدار ردیاب در بین منابع مختلف رسوب استفاده شد. به منظور کاهش خصوصیات انتخابی، ردیاب های خروجی مرحله اول بعنوان ورودی برای تحلیل تابع تشخیص چندمتغیره گام به گام استفاده شدند تا خصوصیتی که دارای حداکثر توان تفکیک باشند مشخص شود.

تعیین سهم منابع در رسوبات خروجی

برای تعیین سهم نسبی منابع در رسوبات خروجی حوضه از مدل های ترکیبی چندمتغیره ارائه شده توسط کولینز استفاده شد [۲]. تخمین سهم نسبی بهینه واحدهای سنگ شناسی، با به حداقل رساندن مجموع مربعات خطای نسبی از طریق رابطه یک و با استفاده

1- Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

2- X ray diffraction (XRD)

و SDR نسبتاً متوسط آن منبع در حوضه است.

$$D_{wj} = \sum_{i=1}^n (d_i * w_i / n) \quad , \quad w_i = a_i / \sum_{i=1}^n a_i / n \quad (2)$$

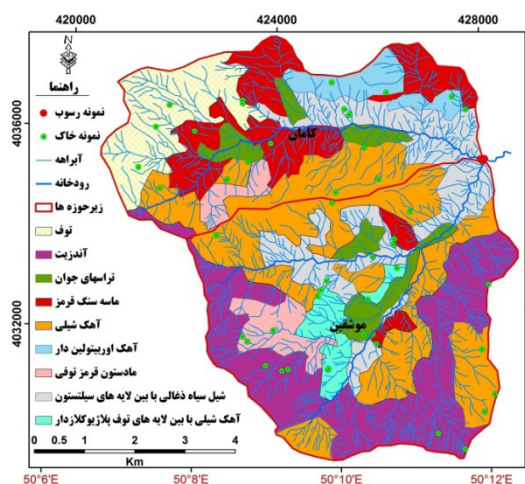
اندازه‌گیری صحرائی فرسایش

برای تعیین حساسیت نسبی واحدهای سنگ‌شناسی به فرسایش، در هر واحد سنگ‌شناسی سه عدد تله رسوب‌گیر با زاویه عمود بر دامنه در شیب ۲۲ درجه (شیب مد منطقه) به گونه‌ای نصب شد که حداقل طول شیب بالادست ۲۲ متر باشد تا روان آب دامنه به حداکثر سرعت لازم برای برداشت و حمل ذرات خاک برسد [۱۶]. میزان رسوبات جمع شده در این تله‌ها در انتهای هر فصل، برداشت و پس از خشک کردن در هوای آزاد با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۱ گرم توزین شد. برای تهیه تله‌ها از ظروف شیشه‌ای با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و قطر دهانه شش سانتی‌متر استفاده شد. درب تمامی این ظروف به ابعاد نیم در پنج سانتی‌متر برش داده شد و مطابق با شکل دو روی خاک‌های حاصل از هر واحد سنگ‌شناسی نصب شد. برای جلوگیری از مسدود شدن دهانه ورودی تله رسوب‌گیر توسط بقایای گیاهی و خاشاک، یک شبکه توری مکعبی (۱۰*۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع یک سانتی‌متر) از جنس گالوانیزه با ابعاد شبکه ۰/۸*۰/۸ سانتی‌متر روی هر یک از تله‌ها قرار داده شد و نهایتاً نیز یک قطعه سنگ روی توری مکعبی قرار گرفت تا باعث مخفی ماندن توری و تله از دید افراد و توجه احشام شود.

که در آن D_{wj} فاصله متوسط وزنی منبع زام، d_i فاصله مرکز ثقل پلی‌گون زام تا خروجی، w_i وزن پلی‌گون زام، n تعداد پلی‌گون‌های منبع زام و a_i مساحت پلی‌گون زام می‌باشد.

نتایج

با استفاده از 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 سه نقشه آنها به همراه نقاط نمونه‌برداری (مجموعاً ۲۷ نمونه) ارائه شده است.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری و تله‌گذاری

Figure3. Lithology and sampling points map



شکل ۲-نمایی از تله‌های رسوب‌گیر مورد استفاده

Figure2. A view of the used sediment trappers

انگشت‌نگاری رسوبات تفکیک منابع

واحدهای نه‌گانه سنگ‌شناسی بر اساس مقادیر استاندارد شده ویژگی‌های نمونه‌های برداشت شده و با بکارگیری تکنیک تحلیل خوشه‌ای به سه دسته کلی تقسیم شدند 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 (شکل ۴).

فاصله منابع رسوب از خروجی (مقاومت مکانی)

مقاومت مکانی بیانگر مجاورت منبع رسوب به رودخانه یا خروجی حوضه است و بر این اساس واحدهایی که فاصله کم‌تری تا خروجی حوضه دارند سهم بیشتری در تولید رسوبات خروجی نسبت به واحدهایی دارند که فاصله آنها تا خروجی حوضه بیشتر است. برای مقایسه مقاومت مکانی واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله متوسط وزنی هر واحد از خروجی حوضه از طریق رابطه دو محاسبه شد. بر اساس این رابطه پلی‌گون‌های دارای مساحت بیشتر دارای وزن بیشتری نیز برای محاسبه فاصله متوسط خواهند داشت.

جدول ۱- مراحل مختلف ورود عناصر در تحلیل تشخیص و تاثیر آن بر توان جداسازی منابع رسوب

Table1. Various stages of elements entering to discriminant analysis and its effect on the ability of sediment sources differentiation

گام	ردیاب	سطح معنی داری آزمون نرمالیت	تورم واریانس	عدد تحمل	فاصله ماهالانوبیس	ویلکس لامبدا	ضریب وزنی ویژه
Step	Tracer	The significant level of normality test	Variance inflation	Bearing number	Mahalanobis distance	Wilks' Lambda	Weighted specific coefficient
1	Calcite	0.05	4.41	0.963	0.728	0.191	0.18
2	Cadmium	0.118	2.36	0.718	1.181	0.138	0.67
3	Lead	0.089	3.9	0.738	2.714	0.116	0.21

جدول ۲- مقدار ویژه و درصد واریانس بیان شده توسط توابع تشخیص

Table2. Eigen values and the percentage of variance explained by the diagnosis function

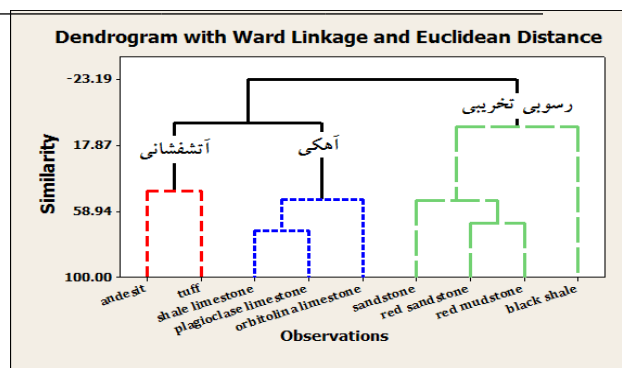
تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	همبستگی ساختاری	کای اسکوئر	سطح معنی داری
Function	Eigen values	Variance	Structural correlation	Chi-Square	Significant level
1	4.558	89.1	0.906	82.294	0
2	0.556	10.9	0.598	17.682	0

بین منابع سه گانه رسوب می باشند.

با توجه به جدول یک ردیاب های کلسیت، کادمیوم و سرب به ترتیب در گام های یک تا سه وارد مدل شده و در نتیجه قابلیت تفکیک منابع سه گانه رسوب را دارند.

عدد تحمل کوچک تر کادمیوم و سرب نسبت به کلسیت بیانگر تاثیر نسبی کم تر این دو ردیاب در تحلیل است که ماتریس ساختاری و همبستگی های درون گروهی بین متغیرهای مستقل و تابع تشخیص نیز گویای تاثیر این ردیاب ها در دو تابع تشخیص است. با افزایش گام و اضافه شدن ردیاب ها مشاهده می شود که فاصله ماهالانوبیس^۱ افزایش و اختلاف بین گروهی منابع معنی دارتر شده است. همچنین آماره ویلکس لامبدا^۲ کاهش یافته و در نتیجه درصد طبقه بندی درست نمونه ها افزایش یافته است و نتیجه کلی این که با افزایش گام سطح معنی داری بهبود یافته و توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروهی افزایش یافته است.

تحلیل تشخیص دو تابع تشخیص کانونی را شناسایی نمود که از نظر آماری نیز معنی دار می باشند (جدول ۲). مقادیر ویژه دو تابع نشان از قدرت تفکیک نسبتا بالاتر تابع اول دارد که مقدار همبستگی ساختاری بالاتر تابع اول نیز این موضوع را تایید می کند. با استفاده از ردیاب های منتخب و دو تابع تشخیص، بطور کلی ۸۴/۱ درصد از نمونه ها به طرز صحیحی در گروه اصلی خود طبقه بندی می شوند. با استفاده از ردیاب های منتخب و بکارگیری مدل های ترکیبی



شکل ۴- دسته بندی واحدهای سنگ شناسی به منابع سه گانه

Figure4. Classification of lithological units to three sources

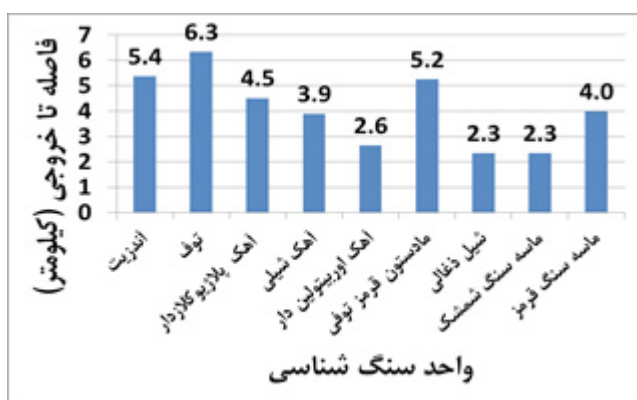
ترکیب بهینه ردیاب نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که مقادیر ردیاب های آهن، کربن آلی، دولومیت، پیروکسن، هماتیت، مگنتیت، بیوتیت دارای توزیع غیرنرمال بوده و بنابراین نمی توانند وارد تحلیل تشخیص شوند. از فرض های دیگر تحلیل تشخیص این است که بین متغیرهای مستقل نباید هم خطی وجود داشته باشد. مقادیر عامل تورم واریانس نشان داد که ردیاب های کوارتز، کانی های رسی، فلدسپات و مواد آلی با دارا بودن بیشترین مقادیر عامل تورم واریانس بیشترین میزان هم خطی را با هم دارند. آزمون مقایسه میانگین ها (تجزیه واریانس) نیز مشخص نمود که میزان ردیاب های کادمیوم، کروم، مس، سرب، روی، نیکل، نقره، سلنیم، کوارتز، کلسیت و فلدسپات دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد در

1- Mahalanobis distance

2- Wilks' Lambda

جدول ۳- درصد سهم منابع مختلف رسوب در رسوبات خروجی
Table3. Percent contribution deposits in the sediment output sources

واحد (Unit)	آتشفشانی (Volcanic)			آهکی (Calcareous)			رسوبی (Sedimentary)			خطا نسبی (Relative error)
	مساحت (%) (Area %)	سهم (%) (Portion %)	اهمیت (Importance)	مساحت (%) (Area %)	سهم (%) (Portion %)	اهمیت (Importance)	مساحت (%) (Area %)	سهم (%) (Portion %)	اهمیت (Importance)	
زیرحوزه کامان	24.4	8.2	0.44	29.5	25.8	0.88	46.1	66	1.46	11.4
زیرحوزه موشقین	36.9	15.2	0.48	40.2	46.2	1.14	23	38.7	1.37	10.8
کل حوزه ورتوان	31.7	15.1	0.48	35.8	24.7	1.04	32.6	47.6	1.58	9.6



شکل ۶- فاصله متوسط وزنی واحدهای سنگ شناسی تا خروجی حوضه

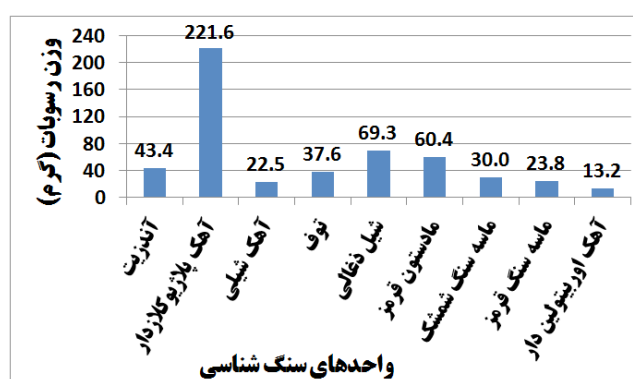
Figure6. Average weighted distance of lithological units to the outlet

نیز بالاست. اما در واحدهای آندزیت، توف، ماسه سنگ و آهک شیلی میانگین وزن رسوبات کاهش یافته و نهایتاً کمترین مقدار رسوبات در تله های واحد آهک اوریتولین دار تجمع یافته است که بیانگر نرخ کم فرسایش پذیری این واحد می باشد.

فاصله متوسط هر یک از واحدهای سنگ شناسی تا خروجی حوضه که به نوعی بیانگر مقاومت مکانی هر یک از منابع رسوب می باشد نیز در شکل ۶ ارائه شده است. فاصله متوسط منبع آهکی تا خروجی حوضه ۲/۷۷، منبع آتشفشانی ۵/۴۹ و منبع رسوبی ۳/۶۲ کیلومتر می باشد.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه نتایج روش های انگشت نگاری رسوبات و اندازه گیری صحرائی حساسیت واحدهای سنگ شناسی به فرسایش برای منشایابی رسوبات آبی با هم مقایسه شد. برای تفسیر راحت تر توابع تحلیل تشخیص، واحدهای نه گانه سنگ شناسی حوضه ورتوان



شکل ۵- نمودار مجموع وزن رسوبات تجمع یافته در تله های رسوب گیر

Figure5. Diagram of the total weight of sediments accumulated in trappers

چندمتغیره، درصد سهم هر منبع رسوب در رسوبات خروجی از زیرحوزه های کامان، موشقین و کل حوزه محاسبه شد که مقادیر آن به همراه درصد خطای نسبی مدل در جدول سه ارائه شده است.

اندازه گیری صحرائی فرسایش

نمودار مجموع وزن رسوبات تجمع یافته در تله های رسوب گیر به تفکیک هر یک از واحدهای سنگ شناسی در شکل پنج ارائه شده است. میانگین وزن رسوبات در واحد آهک پلاژیوکلازدار بسیار بالاتر از سایر واحدها می باشد که دلیل آن رسوبات تجمع یافته در تله های شماره چهار و پنج در فصل پاییز است که یک ناهنجاری را نیز در نمودار ایجاد نموده است. این ناهنجاری به دلیل ایجاد فرسایش شدید شیاری حاصل از رگبار شدید باران پاییزی بر روی دامنه های این واحد و بخصوص محل نصب این تله ها است که آثار فرسایش شدید در هنگام بازدید از منطقه نیز بخوبی مشهود بود. میانگین وزن رسوبات موجود در تله واحدهای شیل ذغالی و مادستون قرمز نیز تقریباً زیاد و در نتیجه فرسایش پذیری این واحدها

آتشفشانی به نتایج مشابهی دست یافته‌اند [۶، ۱۰، ۳۱]. منبع رسوبی نیز که دارای واحدهای سنگی بسیار حساس به فرسایش نظیر شیل ذغالی و مادستون قرمز است و از طرفی در فاصله کم‌تری نسبت به خروجی قرار گرفته (مقاومت مکانی کم تا متوسط و SDR بیش‌تر)، لذا سهم و اهمیت نسبی این منبع بالاست. منبع آهکی نیز به جز واحد پلاژیوکلازدار، به دلیل مقاومت مکانی و حساسیت به فرسایش متوسط، تأثیر متوسطی در رسوب‌دهی حوضه دارد.

با توجه به موارد بالا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در کل نتایج حاصل از روش انگشت‌نگاری، توسط اندازه‌گیری‌های میدانی مورد تایید قرار می‌گیرد لذا کارایی روش انگشت‌نگاری رسوب در حوضه ورتوان نیز قابل تایید است که با نتایج بسیاری از تحقیقات گذشته موافق است [۲، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۲۰، ۲۲، ۲۶، ۲۸، ۲۹]. البته باید اذعان نمود که هر چند روش انگشت‌نگاری با در نظر گرفتن هر دو مفهوم انتقال و تحویل رسوب و بدون نیاز به اطلاعات تکمیلی روندیابی و تحویل رسوب، به‌طور مستقیم سهم منابع رسوب را در زمان کوتاه‌تری تعیین می‌کند اما این سهم، وسعت منابع رسوب را در نظر نگرفته و لذا برای پی بردن به اهمیت نسبی منابع رسوب، باید درصد سهم منبع را بر درصد مساحت آن تقسیم نمود. در مجموع، اختلافات موجود در نتایج حاصل از دو روش مورد استفاده، علاوه بر اختلاف مساحت واحدها، به دلیل عدم لحاظ مقاومت‌های مکانی و سپری (نسبت تحویل رسوب) در روش اندازه‌گیری صحرائی فرسایش است که تحقیقات قبل نیز عدم لحاظ نسبت تحویل رسوب و سایر فرآیندهای حاکم بر انتقال رسوب را از دلایل اختلاف در نتایج این روش‌ها عنوان کرده‌اند [۲۰]. نتایج روش انگشت‌نگاری همچنین به دلیل برهم کنش سه مقاومت مورفولوژیکی، مکانی و سپری، اطلاعات چندانی را برای رتبه‌بندی درجه حساسیت به فرسایش منابع مختلف ارائه نمی‌دهد و لذا در شرایطی که هدف شناسایی مناطق بحرانی در داخل حوزه آبخیز و برنامه‌ریزی برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک می‌باشد، روش‌های تعیین شدت فرسایش، بخصوص از نوع کم‌هزینه‌تر، و روش‌هایی که از نظر زمانی سریع‌تر به نتیجه می‌رسند، از اولویت بیش‌تری برخوردارند. نتیجه کلی این‌که اگرچه روش انگشت‌نگاری با در نظر گرفتن مفاهیم انتقال و تحویل رسوب به‌طور مستقیم سهم منابع رسوب را تعیین می‌کند ولی روش اندازه‌گیری صحرائی فرسایش نیز اطلاعات ارزشمندی از حساسیت به فرسایش منابع رسوب ارائه می‌کند که برای شناسایی مناطق بحرانی و برنامه‌ریزی اجرای برنامه‌های حفاظت خاک ضروری است.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از خانم زهرا فریدکیا که در تمامی مراحل انجام تحقیق به‌خصوص جمع‌آوری نمونه‌ها، آقای مهندس کاظم میردهقان، مسئول آزمایشگاه کانی‌شناسی نوری دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه یزد و آقای مهندس مهدی حاجی‌نوروزی، سرپرست آزمایشگاه

به سه منبع اصلی رسوبی، آهکی و آتشفشانی دسته‌بندی شد که محققین قبلی نیز نسبت به انجام دسته‌بندی منابع رسوب برای تعیین سهم آنها اقدام کرده بودند [۷]. 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، ۸].

نتایج این تحقیق نشان داد که مساحت، سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب در رسوبات خروجی حوضه متفاوت 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 آن یا حساسیت به فرسایش بیش‌تر و یا مقاومت مکانی کم‌تر این واحد است. با توجه به شکل ۳ واحدهای رسوبی این زیرحوضه را عمدتاً شیل ذغالی و مادستون قرمز و ماسه‌سنگ تشکیل داده‌اند که بر اساس نتایج اندازه‌گیری صحرائی فرسایش (شکل ۴) شیل ذغالی و مادستون قرمز حساسیت بالایی به فرسایش دارند و از طرفی بر اساس شکل پنج، شیل ذغالی مقاومت مکانی کمی داشته ولی مادستون قرمز از مقاومت مکانی نسبتاً بالایی برخوردار است. اما در همین زیرحوضه، برخلاف زیرحوضه کامان و کل حوضه عدد اهمیت نسبی منبع آهکی از یک بزرگ‌تر است که دلیل آن حساسیت بسیار زیاد واحد آهک با بین‌لایه‌های توف پلاژیوکلازدار به فرسایش است که از مقاومت مکانی متوسطی نیز برخوردار است و لذا در این زیرحوضه بیش‌ترین سهم در رسوبات خروجی متعلق به واحدهای شیل ذغالی و آهک پلاژیوکلازدار و تا حدودی مادستون قرمز است. واحد آندزیتی که تنها منبع آتشفشانی این زیرحوضه است، حساسیت متوسطی به فرسایش دارد ولی به دلیل مقاومت مکانی بالا، این واحد کم‌ترین تأثیر را در رسوبات خروجی از این زیرحوضه دارد. در زیرحوضه کامان منبع آتشفشانی عمدتاً از توف تشکیل شده که حساسیت متوسطی به فرسایش دارد ولی به دلیل مقاومت مکانی بسیار بالا، این واحد کم‌ترین سهم را در رسوبات خروجی دارد. در این زیرحوضه آهک اوربیتولین‌دار مقاومت مکانی کم و کم‌ترین میزان حساسیت به فرسایش را نیز دارد. دیگر واحد آهکی این زیرحوضه آهک شیلی است که مقاومت مکانی متوسط و حساسیت کمی به فرسایش دارد. بنابراین، بطور کلی منبع آهکی سهم متوسطی در رسوب‌دهی این زیرحوضه دارد. از واحدهای رسوبی این زیرحوضه نیز واحدهای ماسه‌سنگی به دلیل مقاومت متوسط مکانی و حساسیت نسبتاً کم به فرسایش تأثیر متوسطی در رسوبات خروجی دارند ولی واحد شیل ذغالی به دلیل مقاومت مکانی کم و حساسیت زیاد نسبت به فرسایش سهم زیادی در رسوب‌دهی این زیرحوضه دارد. بطور کلی در خروجی کل حوضه، واحدهای آتشفشانی (توف، آندزیت) به دلیل قرارگیری در بخش‌های بالادست و انتهایی حوضه (مقاومت مکانی بالا و SDR پایین) و حساسیت نسبتاً کم به فرسایش، سهم چندانی در رسوب‌دهی حوضه ورتوان ندارند که محققین قبل نیز در خصوص مقاومت سنگ‌های

منابع:

- importance of erosion types in sediment yield (Case study: Ghara-aghaj watershed, Makoo). *Journal of Range and Watershed Management* 63(1), 13-27. (In Persian)
10. Ighrakpata, F.C., Molua, O.C., Igherighe, E.C. and Idialu, J.O. 2012. Comparison of the strength of two different rock samples. *The Pacific Journal of Science and Technology* 13 (2) 384-390.
11. Klages, M.G. and Hsieh, Y.P. 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., Feiznia, S., Ahmadi, H. and Hashemi, S.A.A. 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 Campbell, B.L. 1995. The identification of catchment sediment sources. In: Foster, I.D.L., Gumell, A.M, Webb, B.W. (Eds.). *Sediment and Water Quality in River Catchments*. Wiley, Chichester 189-205.
14. Mosaffaie, J., Ownegh, M., Mesdaghi, M., Shariat Jafari, M. 2009. Comparing the efficiency of statistical and empirical landslide hazard zonation models in Alamout watershed. *Journal of Water and Soil Conservation* 16 (4) 43-61. (In Persian)
15. Mosaffaie, J., Talebi, A. 2014. A statistical view to the water erosion in Iran. *Extension and Development of Watershed Management* 2 (5), 9-17. (In Persian)
16. Mosaffaie, J., Ekhtesasi, M. R., Dastorani, M. T., Azimzadeh, H. R., Zare Chahuki, M. A. 2015. Temporal and spatial variation of the water erosion rate. *Arabian Journal of Geosciences* 8: 5971-5979.
17. Mosaffaie, J. 2015. Comparison of two methods of regional flood frequency analysis by using L-moments. *Water Resources*. 42 (3): 313-321.
18. Mosaffaie, J., Ekhtesasi, M. R. 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)
19. Mosaffaie, J. 2016. Application of artificial
1. Carreras, N.M., Udelhoven, T., Krein, A., Gallart, F., Iffly, J.F., Ziebel, J., Hoffman, L., Pfister, L. and Walling D.E. 2010. The use of sediment color 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., 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.
3. Collins, A.L. and Walling, D.E. 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *Journal of Hydrology* 261, 218-244.
4. Collins, A.L. and Walling, D.E. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography* 28, 159-196.
5. Collins, A. L. and Walling, D. E. 2007. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *Geomorphology* 88(1), 120-138.
6. Feiznia, S., Mohammadi, A., Mohseni Saravi, M. and Ghadimi Aross Mahalleh, F. 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 Resources* 60(3), 811-828. (In Persian)
7. Hakimkhani, Sh., Ahmadi, H. 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)
8. Hakimkhani, Sh., Ahmadi, H. and Ghayoumian, J. 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)
9. Hakimkhani, Sh. 2010. Assessing relative

26. Sadeghi, S. H. R., Najafi, S., Riyahi Bakhtiari, A. R., Abdi, P. 2014. Ascribing soil erosion types for sediment yield using composite fingerprinting technique. *Hydrological Sciences Journal* 59 (9), 1752-1762.
27. Sadeghi, S. H. R., Najafi, S. 2014. Sediment fingerprinting of water in watersheds (concepts, methods and technologies). Iranian Student Book Agency. 256 pp. (In Persian)
28. Walling, D.E. and Woodward, J.C. 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.
29. Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment* 344, 159-184.
30. Wood, P.A. 1978. Fine-sediment mineralogy of source rocks and suspended sediment, Rother catchment, West sussex. *Earth Surface Processes* 3(3) 255-263.
31. Yamani, M. and Ebrahimkhani, N. 2010. Erosion vulnerability assessment through sedimentation alluvium formation of index case study: haji arab basin (Qazvin province). *Geography* 8(24), 69-86. (In Persian)
- neural network, multiple-regression and index-flood techniques in regional flood frequency estimation. *International Journal of Water*. 10 (4): 328-342.
20. Najafi, S. Sadeghi, S. H. R. 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 Persian)
21. Nazari Samani, A., Wasson, R.J. and Malekian, A. 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.
22. 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, 136-151.
23. Nosrati, K., Govers, G., Semmens, B. X., Ward, E. J. 2014. A mixing model to incorporate uncertainty in sediment fingerprinting. *Geoderma* 217, 173-180.
24. Peart, M.R. and Walling, D.E. 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).
25. Sadeghi, S.H.R., Kiani Harchegani, M., Younesi, H.A. 2012. Suspended sediment concentration and particle size distribution and their relationship with heavy metals contents. *Journal of Earth System Science* 121(1), 63-71.

*Abstract*

Comparison of Fingerprinting & Field Measurement of Erosion in Water Sediment Source Tracing

J. Mosaffaie¹, M.R. Ekhtesasi² and A. Salehpour Jam³

Received: 2014/08/06

Accepted : 2017/10/07

Determining the relative contribution of sediment sources is the first step in planning for soil conservation programs. This study aimed to compare two methods of water sediment source tracing (including fingerprint technique and field measurements of erosion) in Vartavan catchment. Discriminant analysis and multivariate mixing model were used for determining the optimum combination of tracers and contribution of sediment sources. Sediment trapper was also used for measuring the erosion of various lithological units. The result showed that the contributions of sedimentary, calcareous and volcanic sources in the outlet sediments were equal to 47.6, 37.4 and 15.1 % respectively and the relative importance of these sources (in terms of specific sediment) were equal to 1.58, 1.04 and 0.48, respectively. The average of minimum and maximum weight of accumulated sediments in trappers were also 2/13 and 6/221 gr for orbitolina and plagioclase limestone, respectively. In total, the results and efficacy of fingerprinting, was approved by field measurements. As well, differences between the results of direct and indirect methods are due to the differences in the area of units and the lack of spatial and filtering resistances in the indirect methods.

Keywords: *Discriminant analysis, Multivariate mixing model, Sediment source contribution, Vartavan.*

1,3. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2. Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University. Corresponding Author Email: mr_ekhtesasi@Yazd.ac.ir