

تعیین سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب با استفاده از روش منشأیابی (مطالعه موردی: حوضه مرگن پلدشت، ماکو)

*شاهرخ حکیم‌خانی^۱ و حسن احمدی^۲

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه ارومیه، ^۱استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۶/۷/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۲

چکیده

به دلیل وجود مشکلات زیاد در کاربرد روش‌های سنتی، روش انگشت‌نگاری، ردیابی یا به عبارتی منشأیابی به عنوان روش جایگزین و مناسب برای تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. در این روش، خصوصیات فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش یاد شده با استفاده از ترکیبی مناسب از خصوصیات جدا کننده منابع رسوب، سهم منابع رسوب در تولید رسوب تعیین می‌شود. در این تحقیق، سعی شده است با بهره‌گیری از ترکیبی مناسب از عناصر ژئوشیمیایی، رادیوکتیو، کربن آلی، نیتروژن و فسفر که قادر به جداسازی زیرحوضه‌های حوضه مرگن پلدشت واقع در شهرستان ماکو از استان آذربایجان غربی هستند سهم زیرحوضه‌های یاد شده تعیین شود. این حوضه دارای ۶ زیرحوضه اصلی است. بعد از برداشت ۵ نمونه رسوب از بستر آبراهه اصلی هر زیرحوضه و ۵ نمونه از بستر آبراهه اصلی بعد از تلاقی زیرحوضه‌ها، نسبت به تجزیه ردیاب‌های یاد شده اقدام شد. با بهره‌گیری از روش تحلیل تشخیص، ۲ عنصر تالیم (Tl) و سربیم (Ce) برای زیرحوضه‌های یک و دو، سه عنصر سرب (Pb)، وانادیم (V) و تنگستن (W) برای زیرحوضه‌های سه و چهار و ۳ عنصر (Ni, Mn, Ce) برای زیرحوضه‌های پنج و شش از ردیاب‌های مورد استفاده به عنوان ترکیب مناسب انتخاب شدند. در آخر با استفاده از ترکیب یاد شده و مدل‌های چند متغیره ترکیبی سهم ۶ زیرحوضه از یک تا ۶ به ترتیب برابر با ۱۰/۸۶، ۲۰/۸۶، ۷۹/۱۴، ۶۷/۱۰ و ۳۲/۹۰ درصد به دست آمد. میانگین خطای نسبی تقریباً برابر با ۱۱ درصد و متوسط ضریب کارایی مدل حدود ۰/۹۹ است و در ضمن نتایج با مشاهدات صحرائی همخوانی دارد. روش منشأیابی رسوب، روشی با ارزش برای کسب اطلاعات از نقش زیرحوضه‌ها در تولید رسوب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: ردیاب‌ها، منابع رسوب، زیرحوضه‌ها، تحلیل تشخیص، منشأیابی، پلدشت

مقدمه

سهم آنها در تولید رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی در داخل آبخیز است. از روش‌های معمولی جمع‌آوری اطلاعات یاد شده در زمینه منابع رسوب می‌توان به پین‌ها و پلات‌های فرسایشی، بررسی‌های

لازمه اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب، کسب اطلاعات از اهمیت نسبی منابع رسوب و

سرعت زیاد و اقتصادی بودن آن اشاره کرد، یعنی این روش تنها نیاز به جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل نمونه‌های رسوب و خاک منابع مختلف به جای پایش درازمدت و گران‌قیمت فرسایش و حمل رسوب دارد.

مرور مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که برای تعیین سهم و اهمیت نسبی نوع منابع رسوب از جمله انواع کاربری‌ها، فرسایش‌های سطحی و زیر سطحی (مانند رودخانه‌ای و خندقی) (والدن و همکاران، ۱۹۹۷؛ راسل و همکاران، ۲۰۰۱)، منابع مکانی از جمله واحدهای سنگ‌شناسی (کولینز و همکاران، ۱۹۹۸؛ والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ امیری، ۲۰۰۲) یا زیرحوضه‌ها (بوتریل و همکاران، ۲۰۰۰؛ والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ عطاپور و حکیم‌خانی، ۲۰۰۳) و ترکیبی از تمام منابع (والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ کولینز و همکاران، ۱۹۹۷) به‌کار رفته است.

به‌رغم توسعه مطلوب روش منشأیابی رسوب در طول بیش از دو دهه گذشته و پتانسیل‌های بالای آن در تعیین منابع رسوب، هنوز عدم قطعیت‌هایی نیز در روش تحقیق آن وجود دارد. از این عدم قطعیت‌ها می‌توان به نبود یک دستورالعمل مناسب برای انتخاب مناسب‌ترین ترکیب از ردیاب‌ها جهت تفکیک منابع رسوب در حوضه‌ها و مناطق مختلف اشاره کرد (فوستر و لیز، ۲۰۰۰؛ کولینز و والینگ، ۲۰۰۲). با اینکه مطالعاتی وجود دارند (والینگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ راسل و همکاران، ۲۰۰۱؛ کولینز و همکاران، ۱۹۹۸) که نشان می‌دهند عناصر ژئوشیمیایی و خواص مغناطیسی برای جداسازی منابع مکانی نظیر واحدهای سنگ‌شناسی و عناصر آلی (کربن، نیتروژن و فسفر آلی) و رادیواکتیو ریزشی (به‌خصوص ^{137}Cs ، ^{210}Pb حمایت نشده و ^7Be) برای جداسازی نوع منابع رسوب مانند انواع فرسایش‌ها و کاربری‌های اراضی مناسب هستند، ولی با این حال تا به امروز اطلاعات کافی در مورد خصوصیتی منفرد یا ترکیبی از خصوصیات ردیاب که به‌عنوان منشأیاب قابلیت کاربرد جهانی داشته باشند به‌دست نیامده است (فوستر و لیز، ۲۰۰۰؛ کولینز و

چشمی منابع رسوب از طریق عکس‌ها و مشاهدات صحرائی (کولینز و والینگ، ۲۰۰۲)، اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیرحوضه‌های آبخیز اصلی برای تعیین اهمیت نسبی آنها در تولید رسوب (والینگ و وودوارد، ۱۹۹۵) اشاره کرد، اما کاربرد این روش‌ها معمولاً با مشکلات نمونه‌گیری مکانی و زمانی و تنگناهای اجرایی مواجه بوده و بعضی از آنها به زمان و هزینه زیادی نیاز دارند (کولینز و والینگ، ۲۰۰۴؛ لوگران و کمپبل، ۱۹۹۵). از آنجا که این روش‌ها بیشتر برای اندازه‌گیری فرسایش ارائه شده‌اند، در نتیجه امکان مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و تولید رسوب انتهای حوضه را فراهم نمی‌کنند (کولینز و والینگ، ۲۰۰۴).

به‌دلیل وجود مشکلات یاد شده در کاربرد روش‌های سنتی، روش انگشت‌نگاری^۱ یا ردیابی یا به‌طور ساده‌تر منشأیابی که بر استفاده از خصوصیات رسوب متکی است به‌عنوان روشی جایگزین برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آنها مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است (پیرت و والینگ، ۱۹۸۸؛ کولینز و والینگ، ۲۰۰۴؛ والینگ، ۲۰۰۵). این روش برخلاف روش‌های سنتی با مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و تولید رسوب، به‌طور مستقیم سهم منابع رسوب را تعیین می‌کنند. در طول بیش از دو دهه گذشته و از زمان کارهای اولیه نظیر تحقیقات وال و ویلدینگ (۱۹۷۶)، اولدفیلد و همکاران (۱۹۷۹) و والینگ و همکاران (۱۹۷۹) کارآیی روش منشأیابی یا انگشت‌نگاری به‌عنوان روشی موفق و مؤثر برای تعیین منابع رسوب به اثبات رسیده است. مهمترین اصل این روش این است که منابع مختلف رسوب با استفاده از تعدادی از خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و آلی قابل شناسایی و تشخیص بوده و با مقایسه این خصوصیات با همان خصوصیات در نمونه‌های رسوب می‌توان سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب را در تولید رسوب به‌دست آورد. این روش فاقد بسیاری از مشکلات روش‌های سنتی می‌باشد. از مهمترین این مزایا می‌توان به

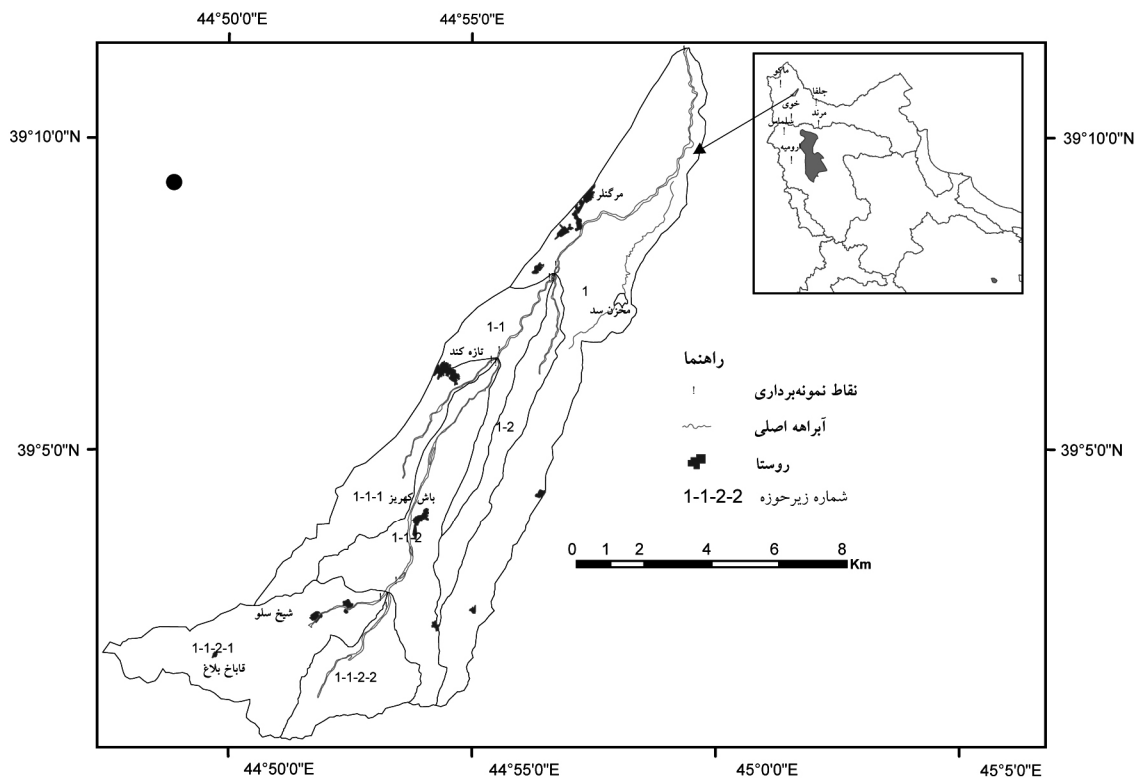
اصلی حدود ۶ زیرحوضه مهم که دو به دو تقریباً به موازات هم قرار دارند جدا شدند. نقشه این شش زیرحوضه در شکل ۱ مشاهده می‌شود. در شکل یاد شده، کدهای زیرحوضه‌ها برای نشان دادن ارتباط آنها با یکدیگر و با حوضه اصلی تعریف شده‌اند و در ادامه برای راحتی کاربرد، به جای کدهای یاد شده یعنی ۱-۱، ۱-۲، ۱-۱-۱، ۱-۱-۲، ۱-۱-۲-۱، ۱-۱-۲-۲ و ۱-۱-۲-۲-۱ به ترتیب از شماره‌های یک تا شش استفاده شد. در ضمن نقاط نمونه‌برداری از انتهای زیرحوضه‌ها نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی: نمونه‌ها از بستر رودخانه‌ها یا دشت‌های سیلابی واقع در انتهای حوضه اصلی، بعد از محل تلاقی زیرحوضه‌ها و انتهای هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از بیلچه استیل و به مقدار کافی (تقریباً دو کیلوگرم) برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل شد. محل نمونه‌برداری بعد از تلاقی زیرحوضه‌ها طوری تعیین شده‌است که امکان ترکیب کامل رسوبات خروجی از هر دو زیر حوضه فراهم باشد. در امتداد رودخانه اصلی ۶ زیرحوضه مهم که دو به دو تقریباً باهم موازی هستند تشخیص داده شده‌اند. تعداد نمونه‌های برداشت شده از انتهای زیر حوضه‌ها و مکان‌های بعد از تلاقی زیرحوضه‌ها هر کدام ۵ نمونه است که روی هم رفته برابر با ۴۵ نمونه شدند. در این جا منابع فعلی رسوب مدنظر است. از این رو نمونه‌ها از رسوباتی که در چند سال اخیر رسوبگذاری (روش تشخیص از روی تازه بودن و رنگ روشن رسوبات) کرده‌اند، برداشت شدند و عمق نمونه‌برداری ۱۵ سانتی‌متر بود. در آزمایشگاه پس از خشک کردن نمونه‌ها در هوای آزاد و دمای اتاق، نسبت به الک کردن نمونه‌ها و جدا کردن بخش زیر ۶۳ میکرون اقدام شد و از این بخش برای اندازه‌گیری ردیاب‌های انتخابی استفاده شد.

والینگ، ۲۰۰۲) و این مسئله یکی از چالش‌های اصلی تحقیقات جدید در مورد منشأیابی رسوب می‌باشد. با توجه به موارد فوق ضرورت انجام تحقیقات بیشتر در مورد منشأیابی احساس می‌شود، به‌خصوص اینکه در ایران تحقیقی در خصوص روش جدید انجام نشده و کارایی آن در تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب بررسی نشده‌است. در این مطالعه با توجه به اهمیت نقش زیرحوضه‌ها در تولید رسوب، با انتخاب ترکیب مناسبی از ردیاب‌ها و بررسی کارایی روش منشأیابی، نقش و اهمیت انواع زیرحوضه‌های حوضه مرگن پلدشت واقع در شهرستان ماکو از استان آذربایجان غربی در تولید رسوب تعیین شده‌است. خصوصیات ردیاب مورد استفاده شامل عناصر رادیواکتیو ^{137}Cs و ^{232}Th ، ژئوشیمیایی، کربن آلی (OC) و نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) می‌باشند.

مواد و روش‌ها

مشخصات حوضه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه از حوزه‌های آبخیز سد ارس و در جنوب بخش پلدشت از توابع شهرستان ماکو در استان آذربایجان غربی قرار دارد. این حوضه به مرگن معروف بوده و یکی از دو زیرحوضه ایستگاه پخش سیلاب پلدشت و در محدوده $44^{\circ} 24' 47''$ تا $44^{\circ} 51' 59''$ طول شرقی $39^{\circ} 21' 00''$ تا $39^{\circ} 27' 11''$ عرض شمالی واقع شده‌است. چینه‌شناسی حوضه از دوره تریاس تا عهد حاضر را در بر می‌گیرد و شامل واحدهای سنگ‌شناسی رسوبات کواترنری (مخروط افکنه‌ها، رسوبات رودخانه‌ای جدید و تراس‌های آبرفتی قدیم)، کنگلومرا، مارن الیگومیوسن (سازند قرمز فوقانی)، آهک الیگومیوسن، آهک و دولومیت، و شیل و اسلیت تریاس است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۳۳۵ میلی‌متر است. ارتفاع حداقل، حداکثر و متوسط وزنی حوضه به ترتیب برابر با ۸۹۹، ۲۲۹۲/۵ و ۱۲۸۹/۶۵ متر است. مساحت حوضه تقریباً ۹۷ کیلومتر مربع است. در طول رودخانه



شکل ۱- نقشه زیرحوضه‌های حوضه مرگن و نقاط نمونه‌برداری.

است. در ضمن عناصر رادیواکتیو به روش گاما اسپکترومتری اندازه‌گیری شده‌اند.

روش منشأیابی رسوبات آبی: این روش دارای دو مرحله به شرح زیر می‌باشد.

انتخاب ترکیبی بهینه از ردیاب‌هایی که قادر به تفکیک منابع رسوب (زیرحوضه‌ها) باشد: در این تحقیق برای انتخاب ترکیبی مناسب از ردیاب‌ها که به‌طور جمعی قادر به تفکیک منابع رسوب باشند از روش تحلیل تشخیص گام به گام و برای انتخاب متغیرهای مستقل از روش مربع فاصله ماهالانویس استفاده شده‌است (هایر و همکاران، ۱۹۹۸). سطح معنی‌داری آماره F برای ورود و حذف متغیر نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۱ در نظر گرفته شد. برای نشان دادن توان جداسازی یا طبقه‌بندی تحلیل تشخیص، معنی‌داری توابع، اختلاف گروه‌ها و ماتریس طبقه‌بندی بررسی شده‌است. درصد طبقه‌بندی صحیح مهمترین معیار بررسی توان طبقه‌بندی تحلیل تشخیص می‌باشد که برای تعیین آن از ماتریس طبقه‌بندی استفاده شده‌است. در ضمن به‌منظور ارزیابی نتایج تحلیل

در این مطالعه ۳۶ ردیاب شامل عناصر رادیواکتیو ^{137}Cs و ^{232}Th ، عناصر ژئوشیمیایی Cs ، Ce ، Bi ، Be ، Zn ، Sn ، Pb ، Ni ، Cu ، Cr ، Co ، Cd ، Nb ، La ، In ، Ti ، Te ، Ta ، W ، V ، Ge ، Ga ، Y ، Mn ، Al ، Fe و کربن آلی (OC) و نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) که در مطالعات گذشته به‌عنوان ردیاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند انتخاب شده‌اند. تجزیه آزمایشگاهی و تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از ترکیبی از دو روش ICP-MS^۱ و ICP-AES^۲ و هضم توسط چهار اسید (HF، HNO_3 ، HClO_3 و HCl)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و به طریق طیف‌سنجی UV/Visible، کربن آلی به روش والکلی و بلاک و نیتروژن کل به روش کجدال (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۹۹۳) انجام شده

1- Inductively coupled plasma mass spectrometry
2- Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry

تشخیص از روش ارزیابی متقابل استفاده به عمل آمده است. ترکیب مناسب به دست آمده از ردیاب‌ها در این مرحله برای تعیین سهم منابع رسوب (در اینجا زیرحوضه‌ها) در مرحله بعد استفاده می‌شود.

یکی از پیش فرض‌های روش تحلیل تشخیص، نبود هم‌خطی چندگانه قوی بین متغیرها می‌باشد. برای تشخیص هم‌خطی چندگانه از عدد تحمل و عکس آن (عامل تورم واریانس) استفاده شده است (هایر و همکاران، ۱۹۹۸). عدد تحمل برابر یا کوچک‌تر از ۰/۱ و عامل تورم واریانس برابر یا بزرگتر از ۱۰ بیانگر هم‌خطی قوی بین متغیرها است برای مقابله با مشکلات ناشی از هم‌خطی چندگانه قوی، ترکیب‌هایی از عناصر طوری انتخاب شدند که کمترین هم‌خطی در بین آنها (عامل تورم واریانس حداکثر ۱۰) وجود داشته باشد.

تعیین سهم زیرحوضه‌ها (منابع رسوب) در تولید رسوب: روش مدل‌های ترکیبی چند متغیره بیش از سایر روش‌ها برای تعیین سهم منابع رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد (برای مثال والینگ، ۲۰۰۵؛ کولینز و همکاران ۱۹۹۸؛ والدنو و همکاران، ۱۹۹۷). در مدل‌های یاد شده از برنامه نویسی خطی برای حل تعدادی از معادلات استفاده می‌شود (روان و همکاران، ۲۰۰۰؛ فوستر و لیز، ۲۰۰۰). در این مدل‌ها فرض بر این است که ترکیب و مخروط شدن ردیاب‌ها از منابع (منشأهای) مختلف به صورت خطی است. از این رو مدل یا معادله ترکیبی برای هر یک از ردیاب‌ها به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$\hat{X}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j \quad (1)$$

در این معادله \hat{X}_i ؛ برابر با مقدار برآوردی ردیاب i ام (m و ... و ۲ و ۱)؛ a_{ij} ؛ مقدار میانگین ردیاب i ام در زیرحوضه j ام (n و ... و ۲ و ۱)؛ b_j ؛ سهم زیرحوضه j ام، n ؛ تعداد زیرحوضه‌ها و m ؛ تعداد خصوصیات ردیاب است.

برای هر یک از ردیاب‌ها، معادله ۱ تکرار می‌شود و بنابراین به تعداد ردیاب، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادلات می‌توان سهم هر یک از

زیرحوضه‌ها را به دست آورد، چون مجموعه معادلات یاد شده دارای مجهولات زیادی بوده و راه‌حل‌های متنوعی می‌تواند داشته باشد از این رو برای به دست آوردن نتایج بهینه در تعیین سهم منابع رسوب و به جای حل مستقیم از روش‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود (والینگ و کولینز، ۲۰۰۰). در این تحقیق از روش حداقل مجموع مربعات باقیمانده برای به دست آوردن نتایج یا سهم بهینه زیرحوضه‌ها به صورت زیر استفاده شد:

$$R = \sum_{i=1}^m \left(\frac{X_i - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j \right)}{X_i} \right)^2 w_i \quad (2)$$

R ؛ مجموع مربعات باقی‌مانده و X_i ؛ مقدار اندازه‌گیری شده ردیاب i ام در نمونه رسوب، w_i ؛ ضریب وزنی ویژه ردیاب i ام، z_j ؛ ضریب اصلاحی اندازه ذرات برای زیرحوضه j ام می‌باشند. طرز محاسبه ضریب اصلاحی اندازه ذرات و ضریب وزنی ویژه به ترتیب در توضیح داده شده است.

جواب‌های بهینه برای سهم زیرحوضه‌ها به روش بهینه‌سازی خطی و با حداقل کردن معادله ۲ با استفاده از عملیات تکرار و با در نظر گرفتن دو شرط زیر به دست آمد. با به حداقل رسیدن R معادلات حل شده و سهم هر کدام از زیرحوضه‌ها برای نمونه رسوب مورد نظر به دست آمد. این کار را برای تمام نمونه‌های رسوب انجام داده و از مقادیر سهم هریک از زیرحوضه‌ها برای به دست آوردن سهم متوسط میانگین‌گیری شد. ردیاب‌های مورد استفاده در این مرحله ترکیب به دست آمده در مرحله یک می‌باشند.

الف- مقادیر ضریب سهم هر یک از زیرحوضه‌ها باید بین صفر و یک باشد

$$0 \leq b_j \leq 1 \quad (3)$$

ب- مجموع ضرائب سهم هر یک از زیرحوضه‌ها باید برابر با یک باشد:

$$\sum_{j=1}^n b_j = 1 \quad (4)$$

معادله ۲ با در گرفتن دو شرط فوق به روش بهینه‌سازی خطی و با استفاده از نرم‌افزار **Whats Best!** حل شد.

تعیین ضریب تصحیح اندازه ذرات (Z_j): طبیعت انتخابی فرآیندهای فرسایش و انتقال رسوب باعث غنی شدن یا تهی شدن رسوب از نظر بعضی از اندازه‌ها می‌شود. در اثر این فرآیند، توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رسوب و خاک منشأ متفاوت خواهد بود. بنابراین مقایسه بین خصوصیات خاک منابع رسوب و نمونه‌های رسوب که از نظر اندازه ذرات اختلاف دارند، صحیح نخواهد بود. جهت رفع این عیب و فراهم آوردن امکان مقایسه مستقیم بین نمونه‌های رسوب و نمونه‌های خاک باید از روش‌های اصلاحی استفاده شود. در این تحقیق با این فرض که خصوصیات منشأیاب به یک اندازه تحت تأثیر فرآیند غنی شدن یا تهی شدن قرار می‌گیرند و به دلیل نقش زیاد پارامتر سطح ویژه در میزان خصوصیات منشأیاب (ردیاب‌ها) و انعکاس ترکیب اندازه ذرات، از نسبت سطح ویژه هر یک از نمونه‌های رسوب به متوسط سطح ویژه نمونه‌های خاک هر یک از منابع رسوب برای اصلاح خصوصیات منشأیاب منابع رسوب استفاده شد (کولینز و همکاران، ۱۹۹۷؛ ۱۹۹۸؛ والینگ، ۲۰۰۵؛ اونز و همکاران، ۲۰۰۰).

سطح ویژه متوسط نمونه‌های خاک و رسوب از روی ترکیب اندازه ذرات برآورد شد. برای ذرات سیلت با فرض کروی بودن دانه‌ها و برای رس با فرض صفحه‌ای و پولکی بودن دانه‌ها، سطح ویژه به ترتیب از نسبت‌های $\frac{6}{\rho_p d}$ و $\frac{(\varepsilon + 2d/h)}{\rho_p d}$ تعیین شد (اسکوپ، ۲۰۰۰). پارامترهای ρ_p ، d و h به ترتیب برابر با وزن مخصوص حقیقی (۲/۶۵ سانتی‌مترمربع بر گرم)، قطر ذرات و ضخامت ذره رس می‌باشند.

اندازه‌گیری ضریب وزنی ویژه هر یک از ردیاب‌ها (W_i): ردیاب‌هایی که دقت اندازه‌گیری آنها بالا است باید تأثیر بیشتری در برآورد مدل‌های ترکیبی چند متغیره داشته باشند. برای وزن دادن به ردیاب‌ها براساس دقت اندازه‌گیری آنها، از یک ضریب وزنی ویژه (W_i) استفاده شد (کولینز و همکاران، ۲۰۰۱؛ والینگ، ۲۰۰۵). برای

محاسبه آن، ابتدا هر یک از ردیاب‌ها با پنج تکرار در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده و مقادیر حاصل با تقسیم شدن بر میانگین خود استاندارد شدند. سپس ضریب وزنی ویژه (W_i) هر یک از ردیاب‌ها با محاسبه عکس ریشه دوم واریانس داده‌های استاندارد شده همان ردیاب‌ها به دست آمد.

ارزیابی نتایج مدل چند متغیره ترکیبی: از معیارهای خطای نسبی (والینگ و وودوارد، ۱۹۹۵؛ کولینز و همکاران، ۲۰۰۱)، ضریب کارایی مدل (والینگ و وودوارد، ۱۹۹۵؛ روان و همکاران، ۲۰۰۰) و روش‌های غیرمستقیم و مشاهدات صحرایی (کولینز و همکاران، ۱۹۹۸؛ روان و همکاران، ۲۰۰۰) می‌توان برای ارزیابی نتایج مدل‌های چند متغیره ترکیبی استفاده کرد. در این تحقیق نتایج به روش‌های یاد شده ارزیابی شد. معیارهای خطای نسبی را می‌توان برای هر ردیاب، ترکیب ردیاب‌ها برای هر یک از نمونه‌های رسوب و کل نمونه‌ها با استفاده از مقادیر برآورد ردیاب‌های یاد شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده آنها در نمونه‌های رسوب محاسبه کرد. ضریب کارایی مدل را نیز با استفاده از روش ناش و سوتکلیف (۱۹۷۰) محاسبه شد.

نتایج و بحث

وجود هم‌خطی چندگانه قوی باعث مشکلاتی در تفسیر اهمیت هر یک از متغیرها و ناپایداری نتایج طبقه‌بندی تحلیل تشخیص می‌شود (ناس و مویک، ۲۰۰۱؛ هاینر و همکاران، ۱۹۹۸). در جدول ۱ معیارهای عدد تحمل و عامل تورم واریانس برای ردیاب‌های مختلف ارائه شده است. با توجه به این جدول بیشتر عناصر با داشتن عامل تورم واریانس بیش از ۱۰ دارای هم‌خطی قوی بین خود و سایر عناصر می‌باشند. عناصر Nb ، Ni ، Hf ، Fe ، Cs ، Ti و Zr به ترتیب با داشتن عامل تورم واریانس برابر با ۲۶۷/۰۵، ۲۸۶/۸۹، ۳۱۴/۶۹، ۳۵۲/۳۰، ۲۶۹/۲۴ و ۲۷۱/۵۲ بیشترین هم‌خطی چندگانه را با یکدیگر و با عناصر دیگر دارند. در این مطالعه برای مقابله با مسئله هم‌خطی چندگانه قوی بین ردیاب‌ها، ترکیب‌هایی از عناصر برای تحلیل تشخیص طوری

انتخاب شدند که دارای کمترین هم‌خطی و حداکثر با عامل تورم واریانس برابر یا کوچک‌تر از ۱۰ باشند.

توان عناصر (Fe, Cu, Cr, Nb, La, Cs, Ce, Be), عناصر (OC و Tl, Ti, Ta, Y, Mn, Ce, Be, Al), عناصر (N و Tl, Ta, Sn, Y, Pb, Nb, In, Ge, La, Cs, Ge, Cr, Al), عنصر مورد استفاده به غیر از عناصر (P و N, OC, Th^{۲۳۲}, Te, V, In, Fe) به‌ترتیب در جداسازی زیرحوضه‌های یک و دو، سه و چهار و پنج و

شش از نظر آزمون کراسکال - والیس و در سطح کمتر از ۵ درصد معنی‌دار بوده و این عناصر به‌عنوان ردیاب قادر به جداسازی زیرحوضه‌های یاد شده هستند. آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نیز نتایج آزمون کراسکال - والیس را تقریباً تأیید می‌کند. به‌علت زیاد بودن تعداد ردیاب‌ها نتایج مقایسه میانگین‌ها تنها برای زیرحوضه‌های یک و دو در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- آزمون‌های بررسی توان ردیاب‌ها در جداسازی زیرحوضه‌های یک و دو، معیارهای تشخیص هم‌خطی و ضریب وزنی ویژه.

ردیاب	آزمون‌های آماری بررسی توان جداسازی						
	معیارهای تشخیص هم‌خطی چندگانه		کراسکال- والیس				
	ضریب وزنی ویژه (W _i)	عامل تورم واریانس	عدد تحمل	سطح معنی‌داری	آماره H	تجزیه واریانس یک‌طرفه	
Al	۰/۳۱۲	۴۴/۴۰	۰/۰۲۳	۰/۱۷۵	۱/۸۴	۰/۲۴۵	۱/۵۸
Be	۰/۰۹۴	۳۶/۹۲	۰/۰۲۷	۰/۰۱۲	۶/۳۲	۰/۰۰۴	۱۵/۷۲
Bi	۰/۰۶۷	۳۰/۷۹	۰/۰۳۲	۰/۳۲۹	۰/۹۵	۰/۳۳۲	۱/۰۷
Cd	۰/۲۴۵	۱۱/۲۷	۰/۰۸۹	۰/۱۰۰	۲/۷۰	۰/۰۹۵	۳/۵۷
Ce	۰/۶۹۸	۱۰۸/۴۲	۰/۰۰۹	۰/۰۴۷	۳/۹۴	۰/۰۴۲	۵/۸۷
Co	۰/۱۱۹	۱۷۷/۰۵	۰/۰۰۶	۰/۸۳۲	۰/۰۴	۰/۷۷۴	۰/۰۹
Cr	۰/۱۳۰	۹۵/۵۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶	۵/۷۷	۰/۰۰۴	۱۶/۲۸
Cs	۰/۵۷۵	۲۶۹/۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۶/۸۲	۰/۰۰۲	۲۰/۸۲
Cu	۰/۱۹۶	۴۱/۵۷	۰/۰۲۴	۰/۰۰۹	۶/۸۲	۰/۰۰۳	۱۷/۳۲
Fe	۰/۳۶۱	۳۵۲/۳۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸	۴/۸۱	۰/۰۲۳	۷/۸۰
Ga	۰/۲۰۶	۱۴۲/۸۱	۰/۰۰۷	۰/۱۴۲	۲/۱۵	۰/۱۲۹	۲/۸۷
Ge	۰/۰۷۸	۱۱/۹۹	۰/۰۸۳	۰/۳۹۶	۰/۷۲	۰/۵۱۸	۰/۴۶
Hf	۰/۰۹۳	۳۱۴/۶۹	۰/۰۰۳	۰/۱۶۴	۱/۹۴	۰/۲۷۳	۱/۳۸
In	۰/۲۱۰	۲۴/۷۵	۰/۰۴۰	۰/۴۰۱	۰/۷۱	۰/۲۶۳	۱/۴۵
La	۰/۵۵۳	۲۰۹/۲۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶	۵/۷۷	۰/۰۱۵	۹/۵۳
Mn	۰/۲۶۰	۱۴۳/۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۶/۸۲	۰/۰۰۳	۱۸/۷۰
Nb	۰/۲۲۱	۲۸۶/۸۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶	۵/۷۷	۰/۰۰۶	۱۳/۷۷
Ni	۰/۳۰۵	۲۶۷/۰۵	۰/۰۰۴	۰/۶۰۲	۰/۲۷	۰/۸۰۶	۰/۰۶
Pb	۰/۱۷۵	۹۴/۲۰	۰/۰۱۱	۰/۰۷۵	۳/۱۷	۰/۰۶۳	۴/۶۶
Se	۰/۰۴۰	۴/۹۸	۰/۲۰۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
Sn	۰/۰۹۵	۱۷/۰۰	۰/۰۵۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
Ta	۰/۳۱۶	۱۹۹/۶۳	۰/۰۰۵	۰/۰۳۶	۴/۴۲	۰/۰۱۴	۹/۷۲
Te	۱	۲/۴۳	۰/۴۱۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
Th	۰/۱۶۲	۶۶/۷۱	۰/۰۱۵	۰/۵۳۰	۰/۴۰	۰/۵۸۳	۰/۳۳
Ti	۰/۳۰۵	۲۷۱/۵۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۶/۸۲	۰/۰۰۱	۳۱/۳۲
Tl	۰/۱۲۹	۲۹/۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۰۸	۶/۹۴	۰/۰۰۰	۳۸/۶۳
V	۰/۲۵۲	۲۱۴/۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۶/۸۲	۰/۰۰۰	۳۲/۳۰
W	۰/۱۷۲	۷۱/۳۱	۰/۰۱۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
Y	۰/۳۳۴	۱۲۷/۴۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۵/۸۱	۰/۰۱۲	۱۰/۵۷
Zn	۰/۲۷۶	۱۴۴/۱۱	۰/۰۰۷	۰/۱۷۳	۱/۸۵	۰/۱۱۳	۳/۱۸
Zr	۰/۱۵۱	۲۶۱/۴۰	۰/۰۰۴	۰/۷۵۱	۰/۱۰	۰/۸۳۸	۰/۰۴
Cs ^{۱۳۷}	۰/۰۷۹	۶/۵۱	۰/۱۵۴	۰/۰۷۶	۳/۱۵	۰/۰۵۶	۴/۹۸
Th ^{۲۳۲}	۰/۱۷۰	۲/۶۱	۰/۳۸۳	۰/۶۰۲	۰/۲۷	۰/۴۳۹	۰/۶۶
N	۰/۰۳۸	۶/۷۰	۰/۱۴۹	۰/۱۰۱	۲/۶۸	۰/۱۱۱	۳/۲۰
OC	۰/۰۹۶	۶/۷۷	۰/۱۴۸	۰/۰۰۹	۶/۸۶	۰/۰۰۱	۳۱/۰۶
P	۰/۰۴۰	۴/۱۱	۰/۲۴۳	۰/۰۷۶	۳/۱۵	۰/۰۷۹	۴/۰۴

نتایج مقایسه میانگین‌ها برای زیرحوضه‌های یک- دو و سه- چهار به غیر از چند عنصر تقریباً یکسان هستند. علت زیاد بودن تعداد عناصر دارای توان تفکیک زیرحوضه‌های پنج و شش نسبت به زیرحوضه‌های یک و دو و سه و چهار، به تفاوت زیاد سنگ‌شناسی دو زیرحوضه پنج و شش بر می‌گردد. زیرحوضه پنج از واحدهای سنگ‌شناسی آهک و دولومیت، شیل و اسلیت، مارن و کنگلومرا تشکیل شده و دو نوع سنگ‌شناسی اول غالبیت دارند. در حالی که سنگ‌شناسی زیرحوضه شش تقریباً از مارن و کنگلومرا تشکیل شده است. این تفاوت‌ها باعث شده تا غلظت تعداد بیشتری از عناصر در دو زیرحوضه یاد شده، اختلاف نشان دهند. ولی در کل نباید انتظار داشت که نتایج مقایسه میانگین‌ها برای تمام زیرحوضه‌ها یکسان باشد و به احتمال زیاد نتایج یاد شده بسته به ویژگی‌های زیرحوضه‌های مورد مطالعه متفاوت خواهد بود.

همان‌طور که قبلاً گفته شد برای انتخاب ترکیب مناسبی از عناصر به منظور جداسازی زیرحوضه‌ها، از نمونه‌های رسوب برداشت شده از خروجی آنها استفاده شده است. با توجه به شکل ۱ و توضیحات مربوطه در حوضه مورد مطالعه سه جفت زیرحوضه (یک و دو، سه و چهار، پنج و شش) مهم به موازات هم وجود دارند و در اینجا هدف تعیین ترکیب مناسبی از عناصر به منظور جداسازی اعضاء جفت زیرحوضه‌های یاد شده از یکدیگر می‌باشد. ترکیب با کمترین هم‌خطی و بیشترین درصد طبقه‌بندی درست که در آن عناصر Co , N , Zn , Be , Cu و Ge به علت داشتن همبستگی زیاد با سایر عناصر حذف شده‌اند، برای همه زیرحوضه‌ها (یک و دو، سه و چهار و پنج و شش) یکسان به دست آمد. لذا ترکیب‌های نهایی برای هر سه تحلیل تشخیص به روش گام به گام از ترکیب یاد شده انتخاب شد. جدول ۲ مراحل مختلف اضافه شدن عناصر ردیاب در تابع تشخیص به روش گام به گام و تأثیر آنها بر توان تفکیک

تحلیل تشخیص به ترتیب برای زیرحوضه‌های یک و دو، سه و چهار و پنج و شش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول یاد شده ملاحظه می‌شود با اضافه شدن هر عنصر مقدار مربع فاصله ماهالانویس افزایش، ویکس لامبدا کاهش و درصد تجمعی طبقه‌بندی درست نمونه‌ها افزایش یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است. ترکیب‌های مناسب برای زیرحوضه‌های یک و دو، سه و چهار و پنج و شش به ترتیب دارای دو، سه و سه عنصر هستند. برای زیرحوضه‌های یک و دو، سه و چهار و پنج و شش به ترتیب Pb ، Ni اولین و Ce ، W و Ce آخرین متغیرهای ورودی هستند. عناصر Pb و Ni بیشترین درصد طبقه‌بندی صحیح (به ترتیب ۱۰۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد) را به خود اختصاص داده و عناصر W و Ce با این‌که سهمی در افزایش درصد طبقه‌بندی صحیح ندارند ولی با توجه به زیاد کردن فاصله ماهالانویس و کاهش ویکس لامبدا، موجب افزایش اختلاف گروه‌ها (زیرحوضه‌ها) شده‌اند. در ضمن عامل تورم واریانس برای عناصر ترکیب‌های یاد شده، حداکثر ۱۰ است. بقیه عناصر به دلیل داشتن آماره F برای ورود بیش از ۵ درصد و نداشتن توان جداسازی کافی در هر سه تحلیل تشخیص حذف شده‌اند. با توجه به جدول ۲، درصد طبقه‌بندی درست برای هر سه تحلیل برابر با ۱۰۰ است. از این رو، توان طبقه‌بندی و جداسازی توابع تحلیل تشخیص بسیار بالا بوده و نیازی به بررسی بیشتر آن نیست.

ضرایب وزنی ویژه عناصر انتخابی در جدول ۱ مشاهده می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، ضریب وزنی ویژه (W_i) جهت لحاظ دقت اندازه‌گیری‌های هر یک از ردیاب‌ها در برآورد سهم منابع رسوب محاسبه می‌شود و مقادیر بزرگتر بیانگر دقت بیشتری است. مقادیر ضرایب در جدول یاد شده از ۰/۳۸ (N) تا ۱ (Te) متغیر هستند.

جدول ۲- گام‌های مختلف ورود عناصر به مدل و تأثیر آنها بر توان جداسازی تحلیل تشخیص برای زیرحوضه‌ها.

گام	اضافه شدن عنصر ردیاب	حداقل مربع فاصله ماهالانویس	ویلکس لامبدا معنی داری F	سطح درصد تجمعی طبقه‌بندی درست نمونه‌ها	عامل تورم واریانس
زیرحوضه‌های ۱ و ۲					
۱	Tl	۱۵/۴۵	۰/۱۷۲	۱۰۰	۱/۷۲۶
۲	Ce	۴۴/۲۰	۰/۰۶۸	۱۰۰	۱/۷۲۶
زیرحوضه‌های ۳ و ۴					
۱	Pb	۶/۲۴۳	۰/۳۳۹	۹۰	۱۰
۲	V	۳۸/۹۶۳	۰/۰۷۶	۱۰۰	۹/۲۹
۳	W	۱۸۸/۸۵	۰/۰۱۷	۱۰۰	۴/۸۶
زیرحوضه‌های ۵ و ۶					
۱	Ni	۲۰۷/۳۱	۰/۰۱۵	۱۰۰	۴/۳۳
۲	Mn	۹۷۳/۱۹	۰/۰۰۳	۱۰۰	۱۰
۳	Ce	۲۶۹۲/۸۴	۰/۰۰۱	۱۰۰	۴/۵۸

خطای نسبی مدل چند متغیره مورد استفاده برای تمام زیرحوضه‌ها، برای هر یک از نمونه‌های رسوب و زیرحوضه‌ها از ۱/۵ تا ۱۸ درصد و برای تمام نمونه‌ها ۱/۱۱ تا ۱۵ درصد متغیر است و میانگین خطای نسبی برای تمام نمونه‌ها و تمام زیرحوضه‌ها تقریباً برابر با ۱۱ درصد به دست آمد. متوسط ضریب کارایی مدل نیز برای تمام زیرحوضه‌ها حدود ۰/۹۹ است.

خطای نسبی کم و ضریب کارایی بالای مدل بیانگر صحت و کارایی مناسب آن در برآورد سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب است. مشاهدات صحرائی نیز نتایج به دست آمده و صحت و عملکرد مناسب مدل را تأیید می‌کند. زیر حوضه یک نسبت به زیرحوضه دو دارای شیب بیشتر (۱۷/۳۶ درصد در مقابل ۶ درصد) و سنگ‌شناسی حساس‌تر به فرسایش (زیرحوضه دو تقریباً فاقد مارن و شیل و اسلیت است) است.

متوسط مقادیر ضرایب تصحیح اندازه ذرات (Zj) برای زیرحوضه‌های یک تا شش به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۰/۶۰، ۱/۰۴، ۱/۱۸، ۱/۳۹ و ۱/۳۲ می‌باشند. مقادیر Zj برای زیر حوضه‌های یک و دو نشان دهنده غنی شدن ذرات رسوب از نظر ذرات درشت‌تر و تهی شدن از نظر ذرات ریزتر است. در حالی که برای سایر زیرحوضه‌ها، عکس این مطلب صادق است و مقادیر بیانگر غنی شدن ذرات رسوب از نظر ذرات ریزتر و تهی شدن از نظر ذرات درشت‌تر است.

جدول ۳، سهم زیرحوضه‌ها را در تولید رسوب نشان می‌دهد. طبق ستون سوم جدول یاد شده، زیرحوضه‌های یک، چهار و پنج به ترتیب با داشتن سهم برابر با ۹۰، ۷۰/۲۹ و ۶۶/۳۰ درصد، بیشترین نقش را در تولید رسوب دارند. با در نظر گرفتن حوضه بالادست محل تلاقی زیرحوضه‌های ۱ و ۲ به عنوان حوضه اصلی، دو زیرحوضه ۵ و ۶ بیش از ۶۳ درصد (ستون سوم جدول ۳) از رسوب حوضه اصلی را تولید می‌کنند.

جدول ۳- سهم و اهمیت نسبی زیرحوضه‌ها در تولید رسوب.

زیرحوضه‌ها	درصد مساحت تحت پوشش	سهم به ازاء هر جفت زیرحوضه (درصد)	سهم کل (درصد)
۱	۸۹/۱۴	۹۰	۹۰
۲	۱۰/۸۶	۱۰	۱۰
۳	۲۰/۸۶	۲۹/۷۱	۲۶/۷۴
۴	۷۹/۱۴	۷۰/۲۹	۶۳/۲۶
۵	۶۷/۱۰	۶۶/۳۰	۴۱/۹۴
۶	۳۲/۹۰	۳۳/۷۰	۲۱/۳۲

به‌رغم اینکه زیرحوضه سه نسبت به زیرحوضه چهار از شیب کمتری (۱۲/۶۵ در مقابل ۲۱/۴ درصد) برخوردار است، ولی درصد مارن بیشتری دارد. زیرحوضه شش نسبت به زیرحوضه پنج نیز شیب کمتر (۲۱/۴۱ در مقابل ۲۸/۵۴ درصد) ولی سنگ‌شناسی حساس‌تری دارد. کل زیر حوضه شش از کنگلومرا تشکیل شده‌است. در ضمن درصد قابل توجهی از اراضی کشاورزی موجود بر روی کنگلومرا در حوضه یاد شده دارای شیب زیاد و شخم در جهت شیب است. بنابراین زیرحوضه‌های یک، سه و شش به‌ترتیب نسبت به زیرحوضه‌های دو، چهار، تأثیر و نقش بیشتری در تولید رسوب دارند. ولی در کل اختلاف‌ها قابل ملاحظه نیست.

مناسب‌ترین ترکیب‌ها از ۳۶ عنصر مورد مطالعه نیز که بیشترین قدرت تفکیک را دارا هستند حاوی دو عنصر Tl و Ce برای زیرحوضه‌های یک و دو، سه عنصر V, Pb و W برای زیرحوضه‌های سه و چهار و سه عنصر Ni, Mn و Ce برای زیرحوضه‌های پنج و شش می‌باشند. بنابراین می‌توان از ترکیب‌های یاد شده برای تعیین سهم موجود در حوضه مورد مطالعه و حوضه‌های مشابه در تولید رسوب استفاده کرد. البته چون هر حوضه‌ای ویژگی‌های خود را دارد توصیه می‌شود در هر مطالعه‌ای و برای هر حوضه‌ای به منظور اطمینان بیشتر، ترکیب مناسبی از عناصر که قادر به جداسازی زیرحوضه‌های مختلف باشد تعیین شود. تفاوت در ترکیب‌های مناسب به‌دست آمده برای زیرحوضه‌ها نیز موید این مطلب است. عناصر موجود در این سه ترکیب، جزء عناصر ژئوشیمیایی هستند، در نتیجه برای مطالعات منشأیابی و تعیین سهم زیرحوضه‌ها می‌توان تنها از این عناصر استفاده کرد و نیازی به سایر عناصر مورد استفاده در این تحقیق نیست. این نتیجه با مطالعه والینگ و همکاران (۱۹۹۹) مطابقت می‌کند.

زیرحوضه‌های یک، چهار و پنج به‌ترتیب با داشتن سهم کل برابر با ۹۰، ۷۰/۲۹ و ۶۶/۳۰ درصد، بیشترین نقش را در تولید رسوب دارند. با در نظر گرفتن حوضه بالادست محل تلاقی زیرحوضه‌های ۱ و ۲ به‌عنوان حوضه اصلی، دو زیرحوضه ۵ و ۶ بیش از ۶۳ درصد (ستون سوم جدول ۳) از رسوب حوضه اصلی را تولید می‌کنند. بنابراین با هدایت برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب به این دو زیرحوضه می‌توان حدود ۶۳ درصد از تولید رسوب حوضه اصلی کاست. در اینجا نیز خطای نسبی پائین و ضریب کارایی بالای روش، مشاهدات صحرائی و خصوصیات حوضه‌ها دال بر موفقیت و کارایی بالای روش منشأیابی در برآورد سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب هستند.

در کل روش منشأیابی رسوبات آبی قادر به تعیین و تفکیک مناسب سهم زیرحوضه‌ها در حوضه مرگن است و نشان داده شد کارایی بالایی در این زمینه دارد. این روش مزایای زیادی نسبت به سایر روش‌های مستقیم و غیرمستقیم دارد که از مهمترین این مزایا می‌توان به سرعت زیاد و اقتصادی بودن آن اشاره کرد. یعنی این روش تنها نیاز به جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل نمونه‌های رسوب و خاک منابع مختلف به جای پایش دراز مدت و گرانیقیمت فرسایش و حمل رسوب دارد. برای دست‌یابی به سهم منابع یاد شده در تولید رسوب از روش‌های دیگر، نیاز به سال‌ها اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده با هزینه زیاد می‌باشد. ضمن آنکه ممکن است ارتباط فرسایش بالادست با فرآیندهای رسوبگذاری و حمل رسوب نیز برقرار نشود. بنابراین توصیه می‌شود برای کسب اطلاعات از اهمیت نسبی منابع رسوب و در نتیجه شناسایی مناطق بحرانی و حساس به فرسایش در داخل آبخیز به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب، از این روش استفاده شود.

منابع

1. Aliehyai, M., and Behbahanizade, A.A. 1993. Methods of cChemical analysis of soil. Institute of soil and water research, Bulletin no. 893.
2. Amiri, M. 2002. Sourcing colloids (clays) and silts of Water spreading station of Kaboodrahang. Soil and Watershed management Research Center, final report of the project, 101p.

3. Atapoor, A., and Hakimkhani, S. 2003. Determining subbasins contributions Chandab basin to sediment yield using clay minerals. Proceedings of third conference of Aquifer management, Urmia, 25- 26 August, 2003, Pp. 74- 82.
4. Bottrill, L.J., Walling, D.E., and Leeks, G.J.L. 2000. Using recent overbank deposits to investigate contemporary sediment sources in larger river basins. In: Foster, I. D. L. (Ed.). Tracers in Geomorphology. Wiley, Chichester, Pp. 369-387.
5. Collins, A.L., and Walling, D.E. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography 28: 159–196.
6. 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.
7. 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: 1–27.
8. Collins, A.L., Walling, D.E., and Leeks, G.J.L. 1998. Use of composite fingerprints to determine the spatial provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. Earth Surface Processes and Landforms 23: 31–52.
9. Collins, A.L., Walling, D.E., Sickingabula, H.M., and Leeks, G.J.L. 2001. Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. Applied Geography 21: 387-412.
10. Foster, I.D.L., and Lees, J.A. 2000. Tracers in geomorphology. In: Foster, I.D.L. (Ed.). Tracers in Geomorphology. Wiley, Chichester, Pp. 3-20.
11. Hair, J.F., Andersen, R.E., Tatham, R.L., and Black, W.C. 1998. Multivariate Data Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
12. 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, Pp. 189-205.
13. Nas, T., and Mevic, B.H. 2001. Understanding the collinearity problem in regression and discriminant analysis. J. Chemometrics 15: 413–426.
14. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.E. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles. Journal of Hydrology 10: 282-290.
15. Oldfield, F., Rummery, T.A., Thompson, R., and Walling, D.E. 1979. Identification of suspended sediment sources by means of mineral magnetic measurements: some preliminary results. Water Resources Research 15: 211-219.
16. Owens, P.N., Walling, D.E., and Leeks, G.J.L. 2000. Tracing fluvial suspended sediment sources in the catchment of the River Tweed, Scotland, using composite fingerprints and a numerical mixing model. In: Foster, I.D.L. (Ed.). Tracers in geomorphology. John Wiley, Chichester, Pp. 291-308.
17. Peart, M.R., and Walling, D.E. 1988. Techniques for establishing suspended sediment sources in two drainage basins in Devon, UK: a comparative assessment. In: Bordas, M.P. and Walling, D.E., Sediment budgets: IAHS Publication No. 174: 269–279 (Wallingford).
18. Rowan, J.S., Goodwill, P., and Franks, S.W. 2000. Uncertainty estimation in fingerprinting suspended sediment sources. In: Foster, I.D L (Ed.). Tracers in Geomorphology. John Wiley, Chichester, 279-290.
19. Russell, M.A., Walling, D.E., and Hodgkinson, R.A. 2001. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK. Journal of Hydrology 252: 1-24.
20. Skopp, J.M. 2000. Physical properties of primary particles. In: Samner ME (Ed.). Handbook of soil science, CRC press, B3-B24.
21. Walden, J., Slattery, M.C., and Burt, T.P. 1997. Use of mineral magnetic measurements to fingerprint suspended sediment sources: approaches and techniques for data analysis. J. of Hydrology 202: 353–372.
22. Wall, G.J., and Wilding, L.P. 1976. Mineralogy and related parameters of fluvial suspended sediments in Northwestern Ohio. Journal of Environmental Quality 5: 168-173.
23. Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. Science of the Total Environment 344: 159-184.
24. 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.
25. Walling, D.E., Owens, P.N., and Leeks, G.J.L. 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. Hydrological Processes 13: 955–975.
26. Walling, D.E., Peart, M.R., Oldfield, F., and Thompson, R. 1979. Suspended sediment sources identified by magnetic measurements. Nature 281: 110–113.

Determining subbasins contributions to sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Margan basin, Pouldasht, Makoo)

***SH. Hakim Khani¹ and H. Ahmadi²**

¹Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Urmia University, Iran, ²Full Prof., Dept. of Range and Watershed Management, University of Tehran, Iran

Abstract

Because of many problems associated with traditional procedures for identifying sediment sources, fingerprinting techniques, based on physical, chemical and organic properties of sediment and source materials, are increasingly being used as a valuable and effective alternative approach to assembling such information. In this method, a suitable composite (set) of diagnostic properties and a multivariate mixing model are employed to estimate the relative contribution of sediment sources to sediments transported to basin outlet. In this study, using suitable composites of geochemical elements, radionuclides, organic Carbon, Nitrogen and Phosphorous, capable of discriminating subbasins of the study basin, and a multivariate mixing model were used to determine contributions of that subbasins to sediment yield. The suitable composite fingerprints (elements) were obtained using discriminant analysis. The study basin is known as Margan, located in Pouldasht district, Makoo Township, Western Azarbaijan province. This basin has six subbasins. The suitable composite fingerprints having capability to distinguish the above mentioned subbasins include: Tl and Ce for the subbasins of 1 and 2, W, V, and Pb for the subbasins of 3 and 4, and Ni, Mn and Ce for the subbasins of 5 and 6. Mean contributions from the subbasins of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 were to be estimated as 89.14, 10.86, 20.86, 79.14, 67.10 and 32.90% respectively. Low mean absolute errors (less than 11%) show high degree of correspondence between measured and predicted properties. High model efficiencies (greater than 0.99) confirm the goodness of fit of the mixing models. Also it is argued that fingerprinting estimates for sediment sources are consistent with field observations. Then although a number of limitations must be recognized, the fingerprinting approach to source ascription has high efficiency to determine relative importance of sediment sources (subbasins) in the study basin.

Keywords: Tracers; Erosion types; Sediment sources fingerprinting; Discriminant analysis; Multivariate mixing model; Pouldasht