

## ارزیابی اهمیت نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب (بررسی موردی: حوضه قره آغاج، ماکو)

شاهرخ حکیم‌خانی\*

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۰، تاریخ تصویب: ۸۹/۱/۲۱)

### چکیده

با تعیین سهم و اهمیت نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب، مناطق بحرانی و حساس به فرسایش در درون حوضه مشخص شده و برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب در مناطق یاد شده متمرکز خواهد شد. به دلیل وجود دشواری‌های زیاد در کاربرد روش‌های سنتی (مانند میخ‌ها و کرت‌های فرسایشی)، روش منشاء‌یابی به عنوان روشی جایگزین و مناسب برای تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. در این روش ویژگی‌های فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آنها مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در روش یاد شده با بهره‌گیری از ترکیبی مناسب از ویژگی‌های 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، رادیو اکتیو، کربن آلی، نیتروژن و فسفر در حوضه قره آغاج واقع در شهرستان ماکو در استان آذربایجان غربی، سهم گروه فرسایش‌های سطحی و شیبی و گروه فرسایش‌های خندقی، آبراه‌ای و رودخانه‌ای در تولید رسوب تعیین شود. پس از برداشت ۴۵ نمونه معرف از خاک‌های سطحی و زیر سطحی و ۵ نمونه رسوب از انتهای حوضه نسبت به اندازه‌گیری ردیاب‌های یاد شده اقدام شد. با بهره‌گیری از روش تجزیه تابع تشخیص، ۳ ردیاب سزیم  $^{137}\text{Cs}$ ، کربن آلی (OC) و نیوبیم (Nb) به عنوان ترکیب مناسب گزینش شدند. در پایان با بهره‌گیری از ترکیب یاد شده و مدل‌های چند متغیره ترکیبی سهم گروه فرسایش‌های سطحی و شیبی و گروه فرسایش‌های خندقی، آبراه‌ای و رودخانه‌ای در تولید رسوب به ترتیب برابر با  $۳۴/۶$  و  $۶۵/۴$  درصد بدست آمد. میانگین خطای نسبی نزدیک به ۱۲ درصد و میانگین ضریب کارایی مدل حدود  $۰/۹۹$  است و در ضمن نتایج با دیده‌های صحرایی همخوانی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** انواع فرسایش، تجزیه تابع تشخیص، ردیاب، روش منشاء‌یابی رسوب، منابع رسوب

## مقدمه

( Collins & Walling, 2004 )، به دلیل وجود دشواری‌های یاد شده در کاربرد روش‌های سنتی، روش انگشت نگاری<sup>۱</sup>، ردیابی یا به عبارتی منشاء‌یابی به عنوان روشی جایگزین و مناسب مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. در این روش، ویژگی‌های فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و اهمیت نسبی آنها مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد ( Walling, 1988؛ Collins & Walling, 2004؛ Walling, 2005 ). این روش برخلاف روش‌های سنتی با مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و تولید رسوب، به طور مستقیم سهم منابع رسوب را تعیین می‌کند. در طول بیش از دو دهه گذشته و از زمان کارهای اولیه مانند رسوب، به طور مستقیم سهم منابع رسوب را تعیین می‌کنند. در طول بیش از دو دهه گذشته و از زمان کارهای اولیه مانند تحقیقات Oldfield, Wall, & Wilding, 1976؛ Walling, et al., 1979؛ Walling, et al., 1979) کارآیی روش منشاء‌یابی به عنوان روشی موفق و موثر برای تعیین منابع رسوب به اثبات رسیده است. این روش بر این فرض استوار است که منابع مختلف رسوب با بهره‌گیری از شماری از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و آلی قابل شناسایی بوده و با مقایسه این ویژگی‌ها با همان ویژگی‌ها در نمونه‌های رسوب می‌توان سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب در تولید رسوب را به دست آورد. از مهم‌ترین برتری‌های این روش می‌توان به سرعت زیاد و اقتصادی بودن آن اشاره کرد. یعنی روش یاد شده تنها نیاز به جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل نمونه‌های رسوب و خاک منابع مختلف رسوب دارد. روش یاد شده در تعیین سهم و اهمیت نسبی انواع کاربری (Collins & Walling, 2007؛ Minella, et al., 2008؛ Hakimkhani et al., 2008؛ Walden, et al., 1997؛ Walling, et al., 2008؛ Wallbrink et al., 1997؛ Zhang & Walling, Collins et al., 1997؛ 1998

تعیین سهم و اهمیت نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب حوزه‌های آبخیز هدف اصلی بسیاری از محققان (مانند Rijsdijk, et al., 2007؛ Hughes, et al., 2009؛ Zhang & Walling, 2005) است. برای مثال در یک حوزه آبخیز، فرسایش‌های خندقی، آبراه‌های و رودخانه‌ای رسوب بیشتری تولید می‌کنند تا فرسایش‌های سطحی و شیاری، لذا انواع فرسایش از منابع عمده تولید کننده رسوب بشمار می‌آیند. با تعیین سهم و اهمیت نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب، مناطق بحرانی و حساس به فرسایش در درون حوضه مشخص شده و برنامه‌های حفاظت خاک و کنترل رسوب در مناطق یاد شده متمرکز خواهد شد. به طور کلی روش‌های کسب داده‌ها از اهمیت نسبی منابع رسوب و تعیین سهم آنها در تولید رسوب را می‌توان به دو گروه یعنی روش‌های سنتی و روش منشاء‌یابی تقسیم کرد. از روش‌های سنتی می‌توان به میخ‌ها و کرت‌های فرسایشی، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از راه عکس‌ها و دیده‌های صحرایی (Collins & Walling, 2002)، اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیر حوزه‌های آبخیز اصلی برای تعیین اهمیت نسبی آنها در تولید رسوب (Walling & Woodward, 1995) اشاره کرد. اما کاربرد این روش‌ها به‌طور معمول با دشواری‌های نمونه‌گیری چه از پس مکانی و چه از پس زمانی و نیز تنگناهای اجرایی مواجه بوده و بعضی از آنها به زمان و هزینه زیادی نیاز دارند (Collins & Walling, 2004؛ Loughran & Campbell, 1995)، از سویی این روش‌ها به‌طور عمده برای اندازه‌گیری فرسایش ارائه شده‌اند و نمی‌توانند تولید رسوب (بخشی از فرسایش خام که به انتهای حوضه می‌رسد) را برآورد کنند و اگر هم بتوانند این کار را انجام دهند نمی‌توانند رسوبات حمل شده به انتهای حوضه را به مناطق اصلی تولید کننده (منشاءها) ربط دهند. لذا روش‌های سنتی امکان مرتبط کردن منابع رسوب به رودخانه و تولید رسوب انتهای حوضه را فراهم نمی‌کنند

۱- Fingerprinting Techniques

۱۹۹۷؛ Russell, et al., 2001) حکایت از این دارد که عناصر آلی (کربن، نیتروژن و فسفر آلی) و رادیو اکتیو ریزشی (بویژه  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{210}\text{Pb}$  حمایت نشده و  $^7\text{Be}$ ) برای جداسازی انواع فرسایش مناسب تر هستند، ولی با این وجود هنوز برای رسیدن به یک ترکیب مناسبی از ردیاب‌های مختلف که قادر به جداسازی انواع فرسایش بوده و قابلیت کاربرد جهانی داشته باشد نیاز به تحقیقات زیادتری دارد (Collins et al. 2002؛ Foster & Lees, 2000). در ضمن در ایران، کارایی روش منشاء‌یابی در تعیین سهم انواع فرسایش در تولید رسوب (مرحله دوم) بررسی نشده است. با توجه به موارد یاد شده، ضرورت انجام تحقیقات بیشتر در مورد منشاء‌یابی احساس می‌شود. در این تحقیق، با گزینش ترکیبی مناسبی از عناصر ژئوشیمیایی، آلی و رادیواکتیو نسبت به تعیین انواع فرسایش در تولید رسوب حوضه قره آغاج واقع در شهرستان ماکو از استان آذربایجان غربی اقدام شده است.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات حوضه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی از حوزه‌های آبخیز مشرف به سد ارس و در جنوب بخش پلدشت از توابع شهرستان ماکو در استان آذربایجان غربی قرار داشته و به قره آغاج معروف است. این حوضه در محدوده  $31^{\circ}$ ،  $54^{\circ}$ ،  $44^{\circ}$  تا  $08^{\circ}$ ،  $02^{\circ}$ ،  $45^{\circ}$  طول شرقی  $55^{\circ}$ ،  $00^{\circ}$ ،  $39^{\circ}$  تا  $32^{\circ}$ ،  $10^{\circ}$ ،  $39^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده است. گستره حوضه نزدیک به  $6956$  هکتار و شیب میانگین آن نزدیک به  $9$  درصد است. کاربری‌های اصلی در منطقه شامل مرتع و زراعت دیم می‌باشند. میانگین بارندگی سالانه منطقه  $223$  میلیمتر است. بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که واحدهای سنگ‌شناسی حوضه قره آغاج مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی (دوره‌های ترشیری و کواترنری) بوده و شامل واحدهای رسوبات کواترنری، کنگلومرا و مارن می‌باشند.

Walling et al., 2005)، واحدهای سنگ‌شناسی ( Bottrill et al., 2000)، زیرحوضه‌ها (Hakimkhani & Ahmadi, 2008) و ترکیبی از همه منابع (Walling et al., 1999) موفقیت‌های زیادی داشته است.

امروزه در بررسی‌ها از روش منشاء‌یابی مرکب و کمی بهره‌گیری می‌شود. به این گونه که در مرحله اول ترکیبی بهینه از ردیاب‌ها که قادر به جداسازی منابع رسوب (برای مثال واحدهای سنگ‌شناسی) باشند گزینش می‌شود. در مرحله دوم ترکیب یاد شده برای تعیین سهم نسبی هر یک از منابع رسوب با بهره‌گیری از مدل‌های ترکیبی چند متغیره بکار برده می‌آیند.

تاکنون ویژگی‌هایی مانند کانی شناسی ( Garrad & Atapoor؛ Wall & Wilding, 1976؛ Hey, 1989؛ Hakimkhani, 2003)، رنگ خاک و رسوب (Grimshaw & Lewin, 1980)، ویژگی‌های مغناطیسی (Yu & Oldfield, 1993؛ Oldfield, et al. 1979)؛ Walden, et al., 1997)، عناصر ژئوشیمیایی (Wall & Wilding, 1976؛ Amiri, Walling et al., 2008)؛ Zhang & Walling, 2005؛ et al., 1997)؛ Walling et al., 2008؛ Part & Walling, 1988)؛ عناصر رادیواکتیو (Hakimkhani, et al., 2007؛ Wallbrink et al.؛ Walling & Woodward, 1995)؛ اندازه ذرات (Hakimkhani, et al., 2007)؛ Stone & Saunderson, 1992)، واحدهای سنگ‌شناسی (Walling et al., 1999)، زیرحوضه‌ها (Hakimkhani & Ahmadi, Bottrill et al., 2000) و ترکیبی از همه منابع (Walling et al., 1999) در منشاء‌یابی رسوبات بکار رفته‌اند و موفقیت‌های زیادی داشته است.

نتایج بررسی‌هایی مانند (Walling et al., 1999, 2008)؛ Collins et al., Walling & Woodward, 1995

### نقشه انواع فرسایش در حوضه

برای تهیه نقشه انواع فرسایش، از تصاویر ماهواره‌ای  $ETM^+$ ، عکس‌های هوایی  $\left(\frac{1}{40000}\right)$  و بازدیدهای صحرایی بهره‌گیری شد. برای تشخیص این نوع عارضه‌ها با پردازش تصاویر ماهواره‌ای روش‌های بازسازی مانند ترکیب رنگ‌ها، ادغام<sup>۱</sup> دیگر باندها با باند ۸ و تجزیه به مولفه‌های اصلی (Olsen, 2007) بهره‌گیری شد. روش منشاء‌یابی قادر به جداسازی گروه فرسایش‌های سطحی و شیاری و گروه فرسایش‌های خندقی، آبراه‌ای، خندقی و رودخانه از همدیگر را ندارد (Walling & Woodward, 1995). لذا با توجه به این مسئله و با عنایت به اینکه رسوبات انتقالی به انتهای حوضه یا هر نقطه‌ای روی آبراهه اصلی به‌طور معمول با فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی، آبراه‌ای و رودخانه‌ای صورت می‌گیرد، انواع فرسایش در دو گروه یاد شده تقسیم‌بندی شدند. گستره رخساره‌های حرکت‌های توده‌ای (مانند زمین لغزش و واریزه) در حوضه بسیار کوچک و قابل اغماض است. از اینرو این دو گروه (گروه فرسایش‌های سطحی و شیاری و گروه فرسایش‌های خندقی، آبراه‌ای و رودخانه‌ای) به عنوان منابع رسوب در نظر گرفته شدند. شکل (۱) نقشه انواع فرسایش حوضه قره آغاج را نشان می‌دهد.

### نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ردیاب‌ها

از خاک تحت طبقه فرسایش سطحی و شیاری، نمونه‌های خاک از عمق ۵-۰ سانتیمتری و از خاک تحت طبقه فرسایش‌های خندقی، رودخانه‌ای و آبراه‌ای، از دیواره‌ها به میزان کافی (تقریباً دو کیلوگرم) و بوسیله یک بیلچه استیل (Walling et al., 1999) برداشت شد. نمونه‌ها طوری برداشت شده‌اند که معرف تغییرات کاربری‌های اراضی، واحدهای سنگ‌شناسی، شیب و پوشش گیاهی باشند. شمار نمونه‌ها از خاک‌های گروه فرسایش‌های سطحی و شیاری و

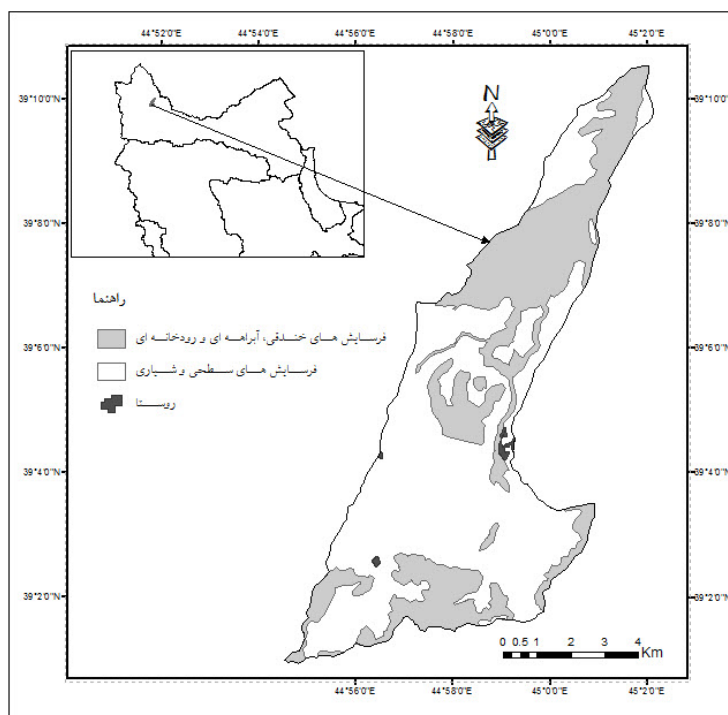
گروه فرسایش‌های خندقی، آبراه‌ای و رودخانه‌ای به ترتیب ۲۸ و ۱۷ و کل نمونه‌ها، ۴۵ عدد بود. شمار ۵ نمونه نیز از رسوبات نهشته شده در بستر رودخانه در خروجی حوضه برداشت شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد و دمای اتاق، با یک هاون کوبیده شده و برای جدا کردن بخش زیر ۶۳ میکرون از الک گذرانده شد. از ذرات رد شده از الک برای اندازه‌گیری ردیاب‌های گزینشی در مرحله پس بهره‌گیری شد (Collins et al., 1997; Walling et al., 1999).

در این بررسی ۳۶ ردیاب شامل عناصر رادیو اکتیو  $^{137}Cs$  و  $^{132}Th$ ، عناصر ژئوشیمیایی  $La, Cd, In, Cs, Ce, Bi, Be, Nb, Se, Zr, Hf, Th, Tl, Ti, Te, Ta, W, V, Ge, Ga, Y, Mn, Al, Fe, Zn, Sn, Pb, Ni, Cu, Cr, Co$  و کربن آلی (OC) و نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) با توجه به بررسی‌های گذشته (مانند Collins & Walling, 1999; Walling et al., 1999) تجزیه آزمایشگاهی و تعیین غلظت عناصر ژئوشیمیایی با بهره‌گیری از ترکیبی از دو روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی ( $ICP - MS^2$ ) و طیف سنجی اتمی پلاسمای جفت شده القایی ( $ICP - AES$ )<sup>۲</sup> و هضم توسط چهار اسید  $HNO_3, HF, HClO_3$  و HCL (Hill, et al., 2004)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و به راه طیف سنجی UV/Visible، کربن آلی به روش والکلی و بلاک و نیتروژن کل به روش کجدال انجام شده است (Behbahani, 1993). در ضمن عناصر رادیو اکتیو به روش گاما اسپکترومتری (Walling & Collins, 2000) اندازه‌گیری شده‌اند.

۲- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

۳- Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

۱- Fusion



شکل ۱- نقشه انواع فرسایش در حوضه قره آغاج

### روش منشاء‌یابی مرکب و کمی

این روش در دو مرحله به شرح زیر انجام شد:

### - تعیین ترکیب بهینه از ردیاب‌ها که قادر به جداسازی انواع فرسایش باشد

یک روش آماری دو مرحله‌ای برای گزینش ترکیب بهینه از ردیاب‌ها به کار رفت. در مرحله اول به منظور بررسی بیشتر و نیز تأیید مرحله دوم از آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها، برای بررسی توان هر یک از ردیاب‌ها در جداسازی انواع فرسایش بهره‌گیری شد. در این تحقیق از آزمون غیر مشخصه‌ای Kruskal - Wallis H بهره‌گیری شد (Collins & Walling, 2007). در منشاء‌یابی مرکب و کمی، بهتر است برای کاهش شمار ویژگی‌های ترکیب برگزیده کاهش یابد (Foster & Lees, 2000; Rowan, et al., 2000). لذا

این کار در مرحله دوم، با بهره‌گیری از تجزیه تابع تشخیص<sup>۱</sup> گام به گام و با بکارگیری همه ردیاب‌ها انجام شد و ترکیبی مناسب از ردیاب‌ها که به طور جمعی قادر به جداسازی انواع فرسایش باشند گزینش شد. برای گزینش متغیرهای مستقل از روش مربع فاصله ماهالانوبیس<sup>۲</sup> (Hair, et al., 1998) بهره‌گیری شد. سطح معنی‌داری آماره F برای ورود و حذف متغیر نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۱ (Hair, et al., 1998) در نظر گرفته شد. برای نشان دادن توان جداسازی یا طبقه‌بندی تجزیه تابع تشخیص، معنی‌داری توابع، اختلاف گروه‌ها و ماتریس طبقه‌بندی بررسی شده است. درصد طبقه‌بندی بهینه مهم‌ترین معیار بررسی توان طبقه‌بندی تجزیه تابع تشخیص می‌باشد که برای تعیین آن از ماتریس

۱- Discriminant Function Analysis

۲- Squared Mahalanobis Distance

برای هر یک از ردیاب‌ها، معادله‌ها، معادله ۱ تکرار می‌شود و بنابراین به شمار ردیاب، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره ترکیبی با شماری معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادله‌ها سهم هر یک از فرسایش‌ها بدست آمد. چون مجموعه معادله‌های یاد شده دارای مجهولات زیادی بوده و راه حل‌های متنوعی می‌تواند داشته باشد از این رو برای بدست آوردن نتایج بهینه در تعیین سهم منابع رسوب و به جای حل مستقیم از روش‌های بهینه‌سازی بهره‌گیری می‌شود (Walling & Collins, 2000)، در این تحقیق از روش کمینه کردن مجموع مربعات باقی مانده برای بدست آوردن نتایج یا سهم بهینه انواع فرسایش به صورت زیر بهره‌گیری 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  $X_i$  و میزان اندازه‌گیری شده ردیاب  $i$  ام در نمونه رسوب،  $w_i$  ضریب وزنی ویژه ردیاب  $i$  ام،  $Z_j$  ضریب اصلاحی اندازه ذرات برای فرسایش  $j$  ام می‌باشند. طرز محاسبه ضریب وزنی ویژه به ترتیب در زیر توضیح داده شده است.

پاسخ‌های بهینه برای سهم انواع فرسایشی به روش بهینه سازی خطی و با کمینه کردن معادله ۲ با بهره‌گیری از عملیات تکرار با در نظر گرفتن دو شرط زیر بدست آمد. با به کمینه رسیدن R معادله‌های حل شده و سهم هر کدام از فرسایش‌ها برای نمونه رسوب مورد نظر بدست می‌آید. این کار را برای همه نمونه‌های رسوب انجام داده و از میزان‌های سهم هر یک از فرسایش‌ها برای بدست آوردن سهم میانگین میانگین‌گیری شد. ردیاب‌های مورد بهره‌گیری در این مرحله ترکیب بدست آمده در مرحله یک می‌باشند.

- میزان ضریب سهم هر یک از فرسایش‌ها باید بین صفر و یک باشد.

طبقه‌بندی بهره‌گیری شد. در ضمن به منظور ارزیابی نتایج تحلیل تشخیص از روش ارزیابی متقابل (Hair, et al., 1998) بهره‌گیری به عمل آمده است. ترکیب مناسب بدست آمده از ردیاب‌ها در این مرحله برای تعیین سهم انواع فرسایش در تولید رسوب بهره‌گیری شد.

یکی از پیش فرض‌های روش تجزیه تابع تشخیص، نبود هم خطی چندگانه قوی بین متغیرها می‌باشد (Hair, et al., 1998). برای تشخیص هم خطی چندگانه از عدد تحمل<sup>۱</sup> و عکس آن (عامل تورم واریانس<sup>۲</sup>) بهره‌گیری شد (Hair, et al., 1998). عدد تحمل برابر یا کوچکتر از ۰/۱ و عامل تورم واریانس برابر یا بزرگتر از ۱۰ بیانگر هم خطی قوی بین متغیرها است (Hair, et al., 1998). برای رویارویی با دشواری‌های ناشی از هم خطی چندگانه قوی، ترکیب‌هایی از عناصر طوری گزینش شدند که کمترین هم خطی در بین آنها وجود داشته باشد.

#### - تعیین سهم انواع فرسایش

مدل‌های ترکیبی چند متغیره بیش از دیگر روش‌ها برای تعیین سهم منابع رسوب مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد (برای مثال Walling et al., 2008؛ Collins & Walling, 2007؛ Walden, et al., 1997)، در این تحقیق نیز از مدل‌های یاد شده بهره‌گیری شد. مدل ترکیبی برای یک ردیاب به صورت زیر است:

$$\hat{X} = \sum a_{ij} \quad (1)$$

در این معادله  $\hat{X}_i$  میزان بر آوردی ردیاب  $i$  ام (m و ... و ۲ و ۱).  $a_{ij}$  میزان میانگین ردیاب  $i$  ام در فرسایش  $j$  ام (n و ... و ۲ و ۱)،  $b_j$  سهم فرسایش  $j$  ام، n شمار گروه فرسایشی و m شمار ردیاب است.

۱- Tolerance

۲- Variance Inflation Factor

آنها، از یک ضریب وزنی ویژه ( $w_i$ ) بهره‌گیری شد (Collins & Walling, 2005; Walling, 2007). برای محاسبه آن، در آغاز برای یک نمونه، هر یک از ردیاب‌ها پنج مرتبه در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده و میزان‌های بدست آمده 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 بدست آمد.

#### ارزیابی نتایج مدل چند متغیره ترکیبی

از معیارهای خطاهای نسبی (Collins & Walling, 2008; Walling & Woodward, 1995; Rowan, et al., 2000) و روش‌های غیر مستقیم و دیده‌های صحرایی (Collins et al., 1998; Rowan, et al., 2000) می‌توان برای ارزیابی نتایج مدل‌های چند متغیره ترکیبی بهره‌گیری 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 بهره‌گیری از میزان‌های برآورد ردیاب‌های یاد شده توسط مدل و میزان‌های اندازه‌گیری شده آنها در نمونه‌های رسوب محاسبه کرد. ضریب کارایی مدل را نیز با بهره‌گیری از روش Nash & Sutcliffe, 1970 محاسبه شد.

#### نتایج

همان‌طور که گفته شد مرحله اول روش منشاء‌یابی مرکب و کمی، بررسی توان ردیاب‌ها را در جداسازی منابع رسوب و گزینش ترکیب مناسبی از ردیاب‌ها است. جدول (۱) نتایج آزمون‌های آماری بررسی می‌توان عناصر را در جداسازی انواع فرسایش نشان می‌دهد. با توجه به جدول یاد شده، اختلاف میانگین‌های تنها سه عنصر ( $^{137}\text{Cs}$ ، OC و W) در فرسایش‌های مختلف از نظر آزمون Kruskal – Wallis در سطح کمتر از ۵ درصد معنی‌دار هستند. این مطلب بیانگر این

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

- مجموع ضریب‌های سهم هر یک از فرسایش‌ها باید برابر با یک باشد:

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

معادله ۲ با در نظر گرفتن دو شرط فوق به روش بهینه‌سازی خطی و با بهره‌گیری از نرم افزار MATLAB حل شد.

#### تعیین ضریب اصلاحی اندازه ذرات ( $Z_j$ )

برای رفع عیب غنی شدن یا تهی شدن رسوب از نظر بعضی از اندازه‌ها و فراهم آوردن امکان مقایسه مستقیم بین نمونه‌های رسوب و نمونه‌های خاک باید روش‌های اصلاحی را به کار برد. در این تحقیق با این فرض که ردیاب‌ها به یک اندازه تحت تاثیر فرآیند غنی شدن یا تهی شدن قرار می‌گیرند و به دلیل نقش زیاد مشخصه سطح ویژه در میزان ردیاب‌ها و انعکاس ترکیب اندازه ردیاب‌های برگزیده (گزینش شده با بهره‌گیری از تجزیه تابع تشخیص) به کار برده شد (Collins et al., 1998; Walling, 2005; Owens, et al., 2000).

سطح ویژه میانگین 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  $\frac{4+2d/h}{\rho_p d}$  تعیین شد (اسکوپ، ۲۰۰۰). مشخصه‌های  $d$ ،  $p_p$  و  $h$  به ترتیب برابر با وزن مخصوص حقیقی (۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب)، قطر ذرات و ضخامت ذره رس می‌باشند.

#### اندازه‌گیری ضریب وزنی ویژه ردیاب‌ها ( $w_i$ )

ردیاب‌هایی که دقت اندازه‌گیری آنها بالاست باید تاثیر بیشتری در برآورد مدل‌های ترکیبی چند متغیره داشته باشند. برای وزن دادن به ردیاب‌ها بر پایه دقت اندازه‌گیری

جدول (۱) معیارهای عدد تحمل و عامل تورم واریانس برای ردیاب‌های مختلف ارائه شده است. با توجه به این جدول، تنها شش عنصر دارای عامل تورم واریانس کمتر از ۱۰ هستند. عناصر Nb, Ta, La, Th و Ce به ترتیب با داشتن عامل تورم واریانس برابر با ۸۰۱/۴۲، ۵۰۴/۰۵، ۴۶۶/۹۴، ۲۴۹/۵۵، ۲۳۸/۵۱ و ۲۰۳/۵۱ بیشترین هم خطی چندگانه را با یکدیگر و با عناصر دیگر دارند. در این بررسی برای رویارویی با مسئله هم خطی چندگانه قوی بین ردیاب‌ها، ترکیب‌هایی از عناصر برای تجزیه تابع تشخیص طوری گزینش شدند که دارای کمترین هم خطی و بیشترین عامل تورم واریانس برابر یا کوچکتر از ۱۰ باشند.

است که عناصر یاد شده دارای توان جداسازی انواع فرسایش می‌باشند. به عبارت دیگر، میانگین غلظت هر یک از عناصر یاد شده دست‌کم در یکی از فرسایش‌ها (گروه‌ها) متفاوت از فرسایش‌های دیگر است. چهار عنصر Cs, Cd, Be, Cs و N نیز به ترتیب در سطح‌های ۷/۹، ۵/۳، ۸/۱ و ۸/۲ درصد معنی‌دار هستند.

یکی از فرض‌های تجزیه تابع تشخیص، نبود هم خطی چندگانه قوی بین متغیرها است. وجود هم خطی چندگانه قوی باعث بروز دشواری‌هایی در تفسیر اهمیت هر یک از متغیرها، جلوگیری از ورود بعضی از متغیرها در مدل و ناپایداری نتایج طبقه‌بندی تجزیه تابع تشخیص می‌شود (Hair, et al., 1998; Naes & Mevic, 2001). در

جدول ۱- آزمون بررسی توان ردیاب‌ها در جداسازی انواع فرسایش، معیارهای تشخیص هم خطی و ضریب وزنی ویژه

Kruskal - Wallis					
معیارهای تشخیص هم خطی چندگانه					
ردیاب	آماره H	سطح معنی‌داری	عدد تحمل	عامل تورم واریانس	ضریب وزنی ویژه (wi)
Al	۱/۶۰	۰/۲۰۶	۰/۰۱۵	۶۸/۴۹	۰/۳۱۲
Be	۳/۰۹	۰/۰۷۹	۰/۰۲۱	۴۸/۳۵	۰/۰۹۴
Bi	۰/۰۰	۰/۹۶۲	۰/۰۲۶	۳۸/۹۸	۰/۰۶۷
Cd	۳/۷۴	۰/۰۵۳	۰/۰۷۹	۱۲/۶۲	۰/۲۴۵
Ce	۱/۸۴	۰/۱۷۴	۰/۰۰۵	۲۰۳/۵۱	۰/۶۹۸
Co	۱/۳۷	۰/۲۴۲	۰/۰۱۹	۵۴/۰۰	۰/۱۱۹
Cr	۱/۲۱	۰/۲۷۱	۰/۰۲۹	۳۴/۹۷	۰/۱۳۰
Cs	۳/۰۴	۰/۰۸۱	۰/۰۰۱	۸۰۱/۴۲	۰/۵۷۵
Cu	۰/۲۹	۰/۵۹۰	۰/۰۲۶	۳۸/۵۸	۰/۱۹۶
Fe	۰/۵۶	۰/۴۵۴	۰/۰۱۰	۹۷/۸۶	۰/۳۶۱
Ga	۲/۵۰	۰/۱۱۴	۰/۰۰۵	۱۹۰/۶۳	۰/۲۰۶
Ge	۱/۶۲	۰/۲۰۳	۰/۲۲۴	۴/۴۶	۰/۰۷۸
Hf	۱/۸۴	۰/۱۷۵	۰/۰۰۷	۱۵۰/۸۴	۰/۰۹۳
In	۰/۵۷	۰/۴۵۲	۰/۱۱۰	۹/۱۰	۰/۲۱۰



ادامه جدول ۱- آزمون بررسی توان ردیابها در جداسازی انواع فرسایش، معیارهای تشخیص هم خطی و ضریب وزنی ویژه

Kruskal - Wallis معیارهای تشخیص هم خطی چندگانه					
ردیاب	آماره H	سطح معنی داری	عدد تحمل	عامل تورم واریانس	ضریب وزنی ویژه (wi)
La	۱/۱۴	۰/۲۸۷	۰/۰۰۴	۲۴۹/۵۵	۰/۵۵۳
Mn	۰/۱۸	۰/۶۷۳	۰/۰۳۴	۲۹/۷۱	۰/۲۶۰
Nb	۰/۵۶	۰/۴۵۲	۰/۰۰۲	۵۰۴/۰۵	۰/۲۲۱
Ni	۰/۴۵	۰/۵۰۵	۰/۰۲۹	۳۴/۰۱	۰/۳۰۵
Pb	۰/۳۹	۰/۵۳۵	۰/۰۳۰	۳۳/۱۲	۰/۱۷۵
Se	۰/۵۳	۰/۴۶۵	۰/۲۷۵	۳/۶۴	۰/۰۴۰
Sn	۰/۹۳	۰/۳۳۴	۰/۰۱۵	۶۷/۸۲	۰/۰۹۵
Ta	۰/۶۵	۰/۴۱۹	۰/۰۰۲	۴۶۶/۹۴	۰/۳۱۶
Te	۰/۵۳	۰/۴۶۹	۰/۲۸۴	۳/۵۲	۱
Th	۲/۴۰	۰/۱۲۲	۰/۰۰۴	۲۳۸/۵۱	۰/۱۶۲
Ti	۰/۰۰	۰/۹۹۱	۰/۰۰۶	۱۶۷/۱۱	۰/۳۰۵
Tl	۰/۸۸	۰/۳۴۸	۰/۰۱۹	۵۲/۰۴	۰/۱۲۹
V	۰/۰۱	۰/۹۰۷	۰/۰۱۸	۵۴/۶۲	۰/۲۵۲
W	۴/۷۴	۰/۰۳۰	۰/۰۱۴	۶۸/۹۸	۰/۱۷۲
Y	۰/۱۲	۰/۷۳۴	۰/۰۱۴	۷۲/۱۸	۰/۳۳۴
Zn	۱/۴۳	۰/۲۳۲	۰/۰۰۹	۱۱۳/۱۲	۰/۲۷۶
Zr	۱/۶۳	۰/۲۰۲	۰/۰۱۰	۹۷/۳۸	۰/۱۵۱
<sup>۱۳۷</sup> Cs	۲۷/۴۳	۰/۰۰۰	۰/۰۵۲	۱۹/۳۷	۰/۰۷۹
<sup>۲۳۲</sup> Th	۰/۰۱	۰/۹۲۵	۰/۲۵۸	۳/۸۷	۰/۱۷۰
N	۳/۰۲	۰/۰۸۲	۰/۰۴۸	۲۰/۹۴	۰/۰۳۸
OC	۱۸/۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۳۸	۲۶/۲۹	۰/۰۹۶
P	۱/۳۷	۰/۲۴۲	۰/۱۹۳	۵/۱۷	۰/۰۴۰

جدول (۲) مراحل مختلف اضافه شدن عناصر ردیاب در توابع تشخیص به روش گام به گام و تاثیر آنها بر توان جداسازی تحلیل تشخیص برای انواع فرسایش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول یاد شده ملاحظه می‌شود با اضافه شدن هر عنصر میزان مربع فاصله ماهالانویسی افزایش و

ترکیبی که در آن عناصر Ta و Co , W , Zn , Bi (به علت داشتن همبستگی زیاد با دیگر عناصر موجود نیست) کمترین هم خطی و بیشترین درصد طبقه‌بندی درست را برای انواع فرسایش نسبت به دیگر ترکیبها نشان داد. ترکیب نهایی به روش گام به گام از ترکیب یاد شده گزینش شد.

کردن فاصله ماهالانوبیس (جدول ۲) موجب افزایش اختلاف گروهها (انواع فرسایش) شده است. در نتیجه ترکیب مناسبی از عناصر که قادر به جداسازی انواع فرسایش باشند شامل ۳ عنصر موجود در جدول (۲) هستند. در ضمن عامل تورم واریانس برای عناصر ترکیب یاد شده، بسیار کمتر از ۱۰ است. بقیه عناصر به دلیل داشتن آماره F برای ورود بیش از ۵ درصد و نداشتن توان جداسازی کافی حذف شده‌اند.

درصد تجمعی طبقه‌بندی درست نمونه‌ها افزایش یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و در نتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان جداسازی بین گروهها افزایش یافته است. عنصر  $^{137}\text{Cs}$  نخستین و آخرین متغیرهای ورودی هستند. عنصر  $^{137}\text{Cs}$  بیشترین درصد طبقه‌بندی بهینه (۸۴/۴) را به خود اختصاص داده و عنصر OC با اینکه سهمی در افزایش درصد طبقه‌بندی بهینه ندارد ولی با توجه به زیاد

جدول ۲- گام های مختلف ورود عناصر به مدل و تاثیر آنها بر توان جداسازی تحلیل تشخیص برای انواع فرسایش

گام	افزافه شدن عنصر ردیاب	فاصله مربع کمترین ماهالانوبیس	سطح معنی‌داری F	درصد تجمعی طبقه‌بندی درست نمونه‌ها	تورم عامل واریانس
۱	$^{137}\text{Cs}$	۳/۱۶	۰/۰۰۰	۸۴/۴	۱/۲۳
۲	OC	۳/۷۷	۰/۰۰۰	۸۴/۴	۱/۲۰
۳	Nb	۴/۴۰	۰/۰۰۰	۹۳/۳	۰/۰۶

جدول (۳)، سهم انواع فرسایش را در تولید رسوب نشان می‌دهد. بنا به ستون سوم جدول یاد شده، فرسایش‌های آبراهه‌ای، خندقی و رودخانه‌ای با ۶۵/۴ درصد بیشترین و فرسایش‌های سطحی و شیاری با ۳۴/۶ درصد کمترین سهم را در تولید رسوب حوضه دارند. برای بررسی اهمیت نسبی انواع فرسایش و فراهم آوردن امکان مقایسه آنها، در جدول یاد شده (جدول ۳) سهم کل (ستون سوم) بر درصد گستره تحت پوشش (ستون دوم) تقسیم شده است. بر پایه ستون یاد شده فرسایش‌های آبراهه‌ای، خندقی و رودخانه‌ای با داشتن ضریب ۱/۸۳ در مقایسه با فرسایش‌های سطحی و شیاری با ضریب ۰/۵۴ به مراتب نقش بیشتری در تولید رسوب حوضه دارند. در کل می‌توان گفت که حدود ۶۵ درصد تولید رسوب حوضه ناشی از فرسایش‌های آبراهه‌ای، خندقی و رودخانه‌ای است.

درصد طبقه‌بندی بهینه نمونه‌ها در گروه‌های مربوطه در مرحله تحلیل برابر با ۹۳/۳ درصد و در مرحله ارزیابی برابر با ۸۶/۷ درصد می‌باشند.

ضرایب وزنی ویژه عناصر برگزیده در جدول (۱) دیده می‌شود. همان‌طور که پیشتر گفته شد، ضریب وزنی ویژه ( $W_i$ ) برای لحاظ کردن دقت اندازه‌گیری‌های هر یک از ردیاب‌ها در برآورد سهم منابع رسوب محاسبه می‌شود و میزان‌های بزرگتر بیانگر دقت بیشتری است. میزان‌های ضرایب در جدول یاد شده از ۰/۰۳۸ (N) تا ۱ (Te) متغیر هستند.

میانگین میزان‌های ضرایب اصلاحی اندازه ذرات ( $Z_i$ ) برای گروه فرسایش‌های سطحی و شیاری و گروه فرسایش‌های خندقی، آبراهه‌ای و رودخانه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۸۹ و ۰/۸۰ می‌باشند. این میزان‌های نیز بیانگر غنی شدن ذرات رسوب از نظر ذرات درشت تر و تهی شدن از نظر ذرات ریزتر است.

جدول ۳- سهم و اهمیت نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب

انواع فرسایش	درصد گستره تحت پوشش	سهم کل بر حسب درصد	اهمیت نسبی
سطحی و شیاری	۶۴/۳۳	۳۴/۶۰	۰/۵۴
آبراه‌های، خندقی و رودخانه‌ای	۳۵/۶۷	۶۵/۴۰	۱/۸۳

راديو اکتیو ریزشی (مانند  $^{137}\text{Cs}$ )، کربن آلی، نیتروژن (N) و فسفر (P) در خاک سطحی (فرسایش سطحی و شیاری) بیشتر از خاک زیر سطحی (فرسایش‌های آبراه‌های، خندقی و رودخانه‌ای) و در نتیجه می‌توانند منابع رسوب یاد شده را از هم جداسازی کنند. لذا توصیه می‌شود در بررسی‌های آینده به منظور جلوگیری از هزینه زیاد، از عناصر یاد شده برای تعیین سهم انواع فرسایش بهره‌گیری شود.

سهم فرسایش‌های آبراه‌های، خندقی و رودخانه‌ای و فرسایش‌های سطحی و شیاری در تولید رسوب حوضه به ترتیب برابر با ۶۵/۴ و ۳۴/۶ درصد است. این نتیجه بیانگر اهمیت زیاد فرسایش‌های آبراه‌های، خندقی و رودخانه‌ای در تولید رسوب است. بنابراین با هدایت طرح‌های حفاظت خاک به مناطق با فرسایش‌های غالب خندقی، آبراه‌های و رودخانه‌ای می‌توان بیش از ۶۵ درصد از میزان فرسایش حوضه را کاست. مشاهده‌های صحرائی نیز نتایج بدست آمده را تایید می‌کند. فاصله‌های کم، تراکم زیاد، عمق و فعالیت زیاد خندق‌ها و آبراه‌ها و رودخانه‌ای موجود و آثار ریزش دیواره‌ها مبین فرسایش و تولید رسوب زیاد آنها است. خطای نسبی پائین و ضریب کارایی بالای روش و مشاهده‌های صحرائی دال بر موفقیت و کارایی بالای روش منشاء‌یابی در برآورد سهم انواع فرسایش در تولید رسوب هستند. این نتیجه نشان می‌دهد که فرسایش‌های آبراه‌های، خندقی و رودخانه‌ای می‌توانند بسته به شرایط حوضه نقش زیادی در فرسایش و تولید رسوب حوضه داشته باشند. اظهار نظر در مورد میزان فرسایش و تولید رسوب یک حوضه یا کشور با تکیه بر نتایج پلات‌های فرسایشی و مدل‌هایی (مانند USLE, MUSLE و GUEST و تا حدود زیادی

خطای نسبی مدل چند متغیره مورد بهره‌گیری برای برآورد سهم انواع فرسایش برای هر یک از نمونه‌های رسوب از ۱/۸ تا ۱۹ درصد و برای همه نمونه‌ها ۱/۵۱ تا ۱۵ درصد متغیر است و میانگین خطای نسبی برای همه نمونه‌ها نزدیک به ۱۲ درصد به دست آمد. میانگین ضریب کارایی مدل نیز حدود ۰/۹۹ است. خطای نسبی کم و ضریب کارایی بالای مدل بیانگر دقت و کارایی مناسب آن در برآورد سهم انواع فرسایش در تولید رسوب است. مشاهده‌های صحرائی نیز نتایج بدست آمده و دقت و عملکرد مناسب مدل را تایید می‌کند. اشکال فرسایش خندقی، آبراه‌های و رودخانه‌ای موجود در حوضه بسیار فعال بوده و عمق زیاد آنها و آثار ریزش دیواره‌ها مبین فرسایش و تولید رسوب زیاد آنها است.

### بحث و نتیجه‌گیری

توانایی سه عنصر ( $^{137}\text{Cs}$ ، OC و W) در جداسازی فرسایش‌های مختلف از نظر آزمون Kruskal – Wallis در سطح کمتر از ۰/۰۵ مورد تایید قرار گرفت. با بهره‌گیری از روش تجزیه تابع تشخیص، ۳ ردیاب سزیم  $^{137}\text{Cs}$ )، کربن آلی (OC) و نیوبیم (Nb) به عنوان ترکیب مناسب گزینش شدند. دو ردیاب سزیم  $^{137}\text{Cs}$ ) و کربن آلی (OC) بیش از ۸۴ درصد نمونه‌های برداشت شده از انواع فرسایش را درست طبقه‌بندی کرده‌اند که بیانگر توان زیاد آنها در جداسازی انواع فرسایش است. اندازه‌گیری دیگر ردیاب‌ها (مانند عناصر رادیواکتیو، کربن آلی، نیتروژن و فسفر) نیست. نتیجه یاد شده با نتایج محققان دیگری مانند Collins & Walling, 2007; Collins et al., 1997; Zhang & Walling, 2005 نیز همخوانی دارد. عناصر

با هزینه زیاد نیاز می‌باشد. ضمن آنکه ممکن است ارتباط فرسایش بالا دست با فرآیندهای رسوب‌گذاری و حمل رسوب برقرار نشده و سهم تعیین نشود. به رغم گسترش مطلوب روش منشاء‌یابی رسوب، هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه‌هایی مانند مناسبترین ترکیب از ردیاب‌ها برای جداسازی منابع رسوب (مانند واحدهای سنگ‌شناسی، کاربری‌ها و انواع فرسایش)، تغییرات شیمیایی در ردیاب‌ها هنگام حمل و رسوب‌گذاری و روشن ساختن نبود قطعیت‌های موجود در مدل‌های چند متغیره ترکیبی وجود دارد.

مدل‌های WEPP و EUROSEM که فرسایش‌های سطحی و شیاری را برآورد می‌کنند می‌تواند دور از واقعیت باشد. نتایج این تحقیق با نتایج محققانی مانند Wallbrink (Walling, *et al.*, 1998؛ Walling, *et al.*, 2008) نیز همخوانی دارد.

در کل روش منشاء‌یابی مرکب و کمی قادر به تعیین و جداسازی مناسب سهم انواع فرسایش در حوضه قره آغاج است و نشان داده شد که کارایی بالایی در این زمینه دارد. برای دستیابی به سهم انواع فرسایش در تولید رسوب از روش‌های دیگر نیاز به سال‌ها اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده

### منابع

- Amir, M., 2002. Sourcing colloids (clay minerals) and silt deposit of Kabodar-ahang waterspriding station, Technical report. Soil conservation and watershed management research center, pp. 101.
- Hakimkhani, SH., Ahmadi H., 2008. Determining subbasins contributions to sediment yield using sediment fingerprinting method (Case study: Margan basin, Pouldasht, Makoo), Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 15(1): 181-191.
- Hakimkhani, SH., Ahmadi, H., Ghaumian, J., Fiznia, S., Ghanadha, M.R., 2007. Determination a suitable subset of geochemical elements for separation of lithological types of Poldasht waterspreading station basin, of the Iranian Journal of Natural Resources, 60 (3): 693-711.
- Hakimkhani, SH., Ahmadi, H., Ghaumian, H., Nazarnejad, 2007. Determining the sediment contribution of differed landuse through sediment sourcing (A Case study: Pouldasht, Makoo), Journal of soil and water science, 21(2): 713-726.
- Atapoor, A., Hakhimkhani, SH., 2003. Determining the sediment contribution of sub catchments of Chandab using clay minerals, proceeding of 3rd conference of Abkhandari, achievementa and future prospects, Urmiya, Iran.
- Ehyaeii, A., Behbahani, A.L., 1993. Description of soil chemical analysis methods. Soil and Water Research Institute, Bulletin No. 893.
- Bottrill, L.J., Walling, D.E., Leaks, 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, pp. 369-387.
- Collins, A. L., Walling, D.E., 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography 28, 159-196.
- Collins, A.L., walling, D.E., 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. Geomorphology 88, 120-138.
- Collins, A.L., Walling, D.E., Leeks, G.J.L., 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena 29, 1-27.

- Collins, A.L., Walling, D.E., 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.
- Collins, A.L., Walling, D.E., Sickingabula, H.M., Leeks, G.J.L., 2001. Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implication. *Applied Geography* 21, 387-412.
- Collins, A.L., Walling, D.E., 2002. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *Journal of Hydrology* 261, 218-244.
- Foster, I.D.L., Lees, J.A., 2000. Tracers in geomorphology. In: Foster, I.D.L.(ed.). *Tracers in Geomorphology*. Wiley, Chichester, pp. 3-20.
- Garrad, P.N., Hey, R. D., 1989. Sources of suspended and deposited sediment in a Broadland river. *Earth Surface Processes and Landforms* 14, 41-62.
- Grimshaw, D.L., Lewin, J., 1980. Source identification for suspended sediment. *Journal of Hydrology*, 47, 151-162.
- Hair, J.F., Andersen, R.E., R.L., Tatham, Black, W.C., 1998. *Multivariate Data Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hill, S.J., Fisher, A., Cave, M., 2004. Inductively coupled plasma spectrometry. In: Smith, K.A., and Cresser, M. S. (eds). *Soil and environmental analysis*. Marcel Dekker, third edition, 53-110.
- Hughes, A.O., Olley, J.M., Croke, J.C., McKergow, J.C., 2009. Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia. *Geomorphology* 104, 262-275.
- Loughran, R.J., 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.
- Minella, J.P.G., Walling, D. E., Merten, G. H., 2008. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yield. *Journal of Hydrology* 348, 546-563.
- Naes, T., Mevic. B. H., 2001. Understanding the collinearity problem in regression and discriminant analysis. *J. Chemometrics* 15, 413-426.
- 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.
- Oldfield, F., Rummery, T. A., Thompson, R., Walling, D.E., 1979. Identification of suspended sediment sources by mean of mineral magnetic measurements: some preliminary result. *Water Resources Research* 15, 211-219.
- Olsen, R.C., 2007. Remote sensing from air and space. *SPIE Press Monograph Vol. PM162*, 255p.
- Owens, P.N., Walling, D.E., Leeks, G. J., 2000. Tracing fluvial suspended sediment sources in the catchment of the River Tweed. Scotland, using composite fingerprints and a numerical mixing model. In: I.D.L. Foster(Ed.). *Tracers in geomorphology*. Jon Wiley, Chichester, pp. 291-308.
- Part, M. R., Walling, D. E., 1988. Techniques for establishing suspended sediment sources in two drainage basins in Devon, UK: a comparative assessment. In M. P. Bordas, & D. E. Walling, *Sediment budgets: IAHS Publication No. 174*, 269-279.

- Rijdsijk, A., Bruijnzeel, L.A., Prins, T.M., 2007. Sediment yield from gullies, riparian mass wasting and bank erosion in the Upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *Geomorphology* 87, 38-52.
- Rowan, J.S., Goodwill, P., Franks, S.W., 2000. Uncertainty estimation in fingerprinting suspended sediment sources. Pp. 279-290. In: Foster I.D.L. (eds). *Tracers in Geomorphology*. John Wiley, Chichester.
- Russell, M.A., Walling, D.E., Hodgkinson, R.A., 2001. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK. *Journal of Hydrology* 252, 1-24.
- Skopp, J.M., 2000. Physical properties of primary particles. Pp. B3-B24. In Samner, M.E. (ed.) *Handbook of soil science*, CRC press.
- Stone, M., Saunderson, H., 1992. Particle size characteristics of suspended sediment in southern Ontario rivers tributary to the Great Lakes. *Geological Society Special Publication* 57, 31-45.
- Walden, J., Slattery, M.C., Burt, T.P., 1997. Use of mineral magnetic measurements to fingerprint suspended sediment sources: approaches and techniques for data analysis. *J. of Hydrol.* 202, 353-372.
- Wall, G. J., Wilding, L. P., 1976. Mineralogy and related parameters of fluvial suspended sediments in Northwestern Ohio. *Journal of Environmental Quality* 5, 168-173.
- Wallbrink, P.J., Olley, J.M., Murray, A.S., Olive, L.J., 1998. Determining sediment sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, NSW, Australia using fallout <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb. *Water Resour. Res.* 34(4), 879-887.
- Walling, D.E., Woodward, J. C., 1995. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Clum, Devon, UK. *Marine and Freshwater Research* 46, 327-336.
- Walling, D. E., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the Total Environment* 344, 159-184.
- Walling, D. E., Owens, P. N., Leeks, G. J. L., 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Hydrological Processes* 13, 955-975.
- Walling, D.E., Peart, M.R., Oldfield, F., Thompson, R., 1979. Suspended sediment sources identified by magnetic measurements. *Nature* 281, 110-113.
- Walling, D.E., Collins, A.L., 2000. *Integrated assessment of catchment budgets: A technical manual*. University of Exeter, 168p.
- Walling, D.E., Collins, A.L. Stround, R., 2008. Tracing suspended and particulate phosphorus source in catchments. *Journal of Hydrology* 350, 274-289.
- Yu, L., Oldfield, F., 1993. Quantitative sediment source ascription using magnetic measurements in a reservoir system near Nijar, S.E. Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* 18, 441-454.
- Zhang, X., Walling, D.E., 2005. Characterizing Land Surface Erosion from Cesium-137 Profiles in Lake and Reservoir Sediments. *J. Environ. Qual.* 34, 514-523.

## Assessing Relative Importance of Erosion Types in Sediment Yield (Case study: Ghara-aghaj Watershed, Makoo)

Sh. Hakimkhani<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Urmia University, Iran,  
(Received: 01 November 2009, Accepted: 10 April 2010)

### Abstract

By determining relative importance and contributions of erosion types to sediment yield, erosion susceptible areas in a watershed will be identified, and sediment control and soil conservation projects can be focused on that areas. 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 valuable and effective approach to assemble 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 two groups of erosions (namely, sheet and rill erosions, and gully, channel and river bank erosions) of the study basin, and a multivariate mixing model were used to determine contributions of that erosion types to sediment yield. The suitable composite fingerprints (elements) were obtained using discriminant analysis. The study basin is Ghara aghaj basin, located in Makoo township, West Azarbaijan province. The suitable composite fingerprints having capability to distinguish the above mentioned erosion types include, <sup>137</sup>Cs, OC and Nb. Mean contributions from the two main erosion types, namely sheet and rill erosions, and gully, channel and river bank erosions were estimated as 34.6% and 65.4% respectively. Low mean absolute errors (less than 12%) showed high degree of correspondence between measured and predicted properties. High model efficiencies (greater than 0.99) confirmed the goodness of fit of the mixing models. Also it is argued that fingerprinting estimates for sediment sources are consistent with field observations.

**Keywords:** Discriminant function analysis, Erosion types, sediment fingerprinting method, Sediment sources, Tracers

---

\*Corresponding author: Tel: +98 441 2770489 , Fax: +98 441 2770489 , E-mail: Hakimkhani@yahoo.com