

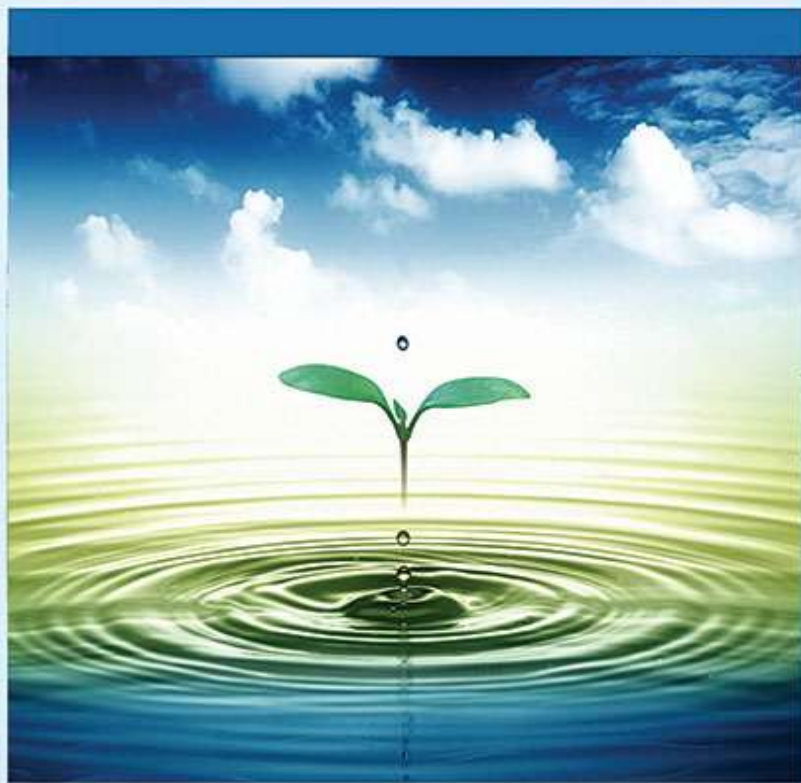
تعیین سهم سازندهای زمین‌شناسی در تولید رسوب با استفاده از روش انگشت‌نگاری  
(مطالعه موردی: حوضه دریاچه زریوار کردستان)  
سادات فیض نیا و سید دانا حسامی

دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۲۳۶- ۲۴۶

Vol. 2(3), Autumn 2016, 236 - 246

**Determining the sediment yield of  
geological formation using sediment  
fingerprint  
(Case study: Kurdistan Zarivar Lake  
watershed)**

Feiznia S. and Hesami D.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: فیض نیا س. و حسامی د. (۱۳۹۵). تعیین سهم سازندهای زمین‌شناسی در تولید رسوب با استفاده از روش انگشت‌نگاری (مطالعه موردی: حوضه دریاچه زریوار کردستان)، محیط زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۳، صفحات: ۲۳۶- ۲۴۶

**How to cite this paper:** Feiznia S. and Hesami D. (2016). Determining the sediment yield of geological formation using sediment fingerprint (Case study: Kurdistan Zarivar Lake watershed). J. Environ. Water Eng., 2(3), 236 - 246

## تعیین سهم سازندهای زمین شناسی در تولید رسوب با استفاده از روش انگشتنگاری (مطالعه موردی: حوضه دریاچه زریوار کردستان)

سادات فیض نیا<sup>۱</sup> و سیددانا حسامی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

\*نویسنده مسئول: danahesam@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۵/۰۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۱/۲۱]

### چکیده

یکی از روش‌های مؤثر در شناسایی منابع رسوب و فرسایش، شناسایی سازندهای حساس به فرسایش در حوضه می‌باشد که این امر را می‌توان با استفاده از روش ردیابی ژئوشیمیایی انجام داد. در این پژوهش با توجه به رسوب‌زایی بالای بخش جنوب غربی حوضه آبخیز دریاچه زریوار و وجود سازه‌های آبخیزداری احداث شده در این محدوده، نمونه‌های رسوب ریزدانه با استفاده از روش ردیابی ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از این روش درصد اشتراک سنگ‌ها و سازندها در بخش ریزدانه تعیین و نقشه فرسایش‌پذیری مواد زمین شناسی بر اساس این روش تهیه شد. نتایج نشان داد که واحد سنگ شناسی SK-Hf متشکل از اسکارن و کمی هورنفلس و با درصد اهمیت نسبی ۸۲/۵۴ بیش‌ترین پتانسیل رسوب‌زایی را در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین واحد سنگی Q1a با درصد اهمیت نسبی ۸/۳۷ کم‌ترین پتانسیل رسوب‌زایی را دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند در شناسایی پتانسیل رسوب‌زایی سازندها و کنترل فرسایش و رسوب مفید باشد.

**کلمات کلیدی:** دریاچه زریوار، SK-Hf، ردیابی ژئوشیمیایی، رسوب‌زایی

## ۱- مقدمه

شناسایی منابع اصلی رسوب در حوضه آبخیز دریاچه زریوار و تأثیر آن در استقرار و دوام مناسب سازه‌های رسوب‌گیر منطقه باعث کاهش خسارت سیل به روستاهای مجاور، حاشیه‌ی دریاچه و اراضی کشاورزی منطقه خواهد شد. لذا با شناسایی منابع اصلی رسوب در منطقه، می‌توان راهکارهای عملی مهار رسوبات را در طرح‌های آبخیزداری ارائه نمود. منشأ یابی به روش ژئوشیمیایی بر انتقال عناصر سنگین و خاک‌دانه‌هایی که همراه رسوب حمل می‌شوند، متکی می‌باشد. (Ghadimi, Amiri et al. (2002 و Pormatin (2002)، (Polyakov, Bottrill et al. (2000 و Nearing (2004) و Kelley et al. (2006) از خصوصیات ژئوشیمیایی برای ردیابی منشأ رسوبات استفاده کردند Hakim و Khani (2006) از خصوصیات فیزیکی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها استفاده کرد. آن‌ها با استفاده از ترکیبی مناسب از خصوصیات جدا کننده منابع رسوب و مدل‌های چند متغیره ترکیبی، سهم منابع رسوب را در تولید رسوب تعیین کردند. هم-چنین سهم واحدهای سنگ‌شناسی کنگلومرا، آهک و دولومیت، مارن، رسوبات کواترنری، شیل و اسلیت را به ترتیب برابر ۳۰/۸۳، ۹/۳۳، ۵۲/۳۳ و ۷/۵۱ درصد در تولید رسوب برآورد کردند. رسوبات حاصل از بعضی واحدهای سنگ‌شناسی باعث افت شدید کیفیت آب می‌شوند، با مشخص شدن منشأ دقیق این رسوبات می‌توان به بهبود کیفیت آب کمک شایانی نمود (Carter et al. (2003. از طریق منشأیابی می‌توان به تأثیرات کاربری اراضی در تولید رسوبات نیز پی برد، در این روش، انواع کاربری به‌عنوان منابع رسوب وارد مدل شده و سهم هر یک در تولید رسوب حوضه به دست می‌آید (Owens et al. (2006 و Khani (1999. Koohepeima (2006) از خصوصیات فیزیکی، مغناطیسی، ژئوشیمیایی و آلی رسوب و منابع رسوب برای تعیین منابع اصلی رسوب و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها استفاده نمود. نتایج او در مجموع نشان داد که منبع غالب تولید رسوب در بیشتر حوضه‌های مورد مطالعه، سازندهای کواترنر و قرمز بالای می‌باشند. (Garzanti et al. (2006 سبک فرسایشی ماسه‌های جدید نیل به همراه تخمین‌های حجم رسوبات به تله افتاده در مخازن سودان، امکان محاسبه بار رسوبی ناشی از سرشاخه‌های اصلی و محاسبه آهنگ فرسایشی را در حوزه آبخیز نیل فراهم کردند. (Soster et al. (2007 با استفاده از دو ردیاب سزیم ۱۳۷ و سرب ۲۱۰ به تعیین میزان رسوب گذاری در دشت‌های سیلابی دو رودخانه در ایالت متحده پرداختند. در مطالعه آن‌ها مغزه‌هایی از دامنه‌ها و دشت‌های سیلابی برداشت شد. با بررسی تغییرات در مقادیر ردیاب‌های مذکور در نمونه‌های برداشت شده، میزان رسوب‌گذاری در دشت‌های سیلابی دو رودخانه بین ۰ تا ۰/۱۷ گرم بر سانتی‌مترمربع در سال برآورد گردید. Collins و Walling (2008) با مطالعه حوزه‌های آبخیز بیان کردند که ذرات رسوبی ریز به واسطه نقل و انتقال انواع ریز مغذی‌ها، فلزات سنگین و حشره‌کش‌ها نقش مهمی را در آلودگی آب‌های سطحی ایفا می‌کنند. لذا با شناسایی منابع کلیدی رسوب و تعیین نرخ مهاجرت رسوبات بالادست قادر به کاهش آلودگی و مدیریت بهینه حوزه‌های آبخیز خواهد بود.

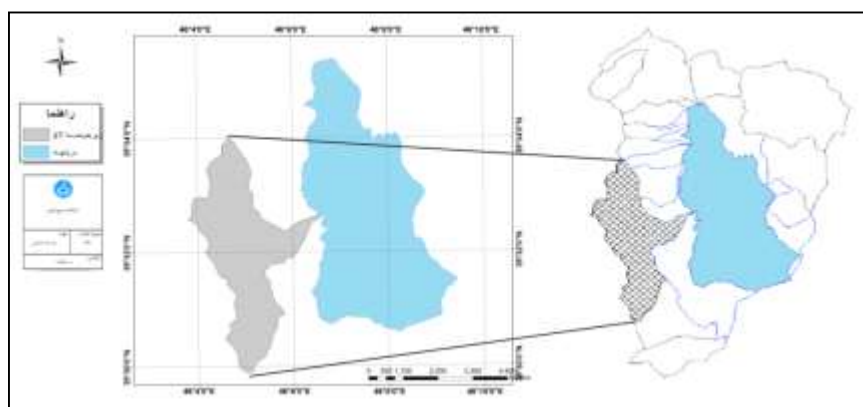
بعد از انتخاب ردیاب‌های اولیه، جهت انتخاب ردیاب‌های مناسب که قادر به تفکیک منابع رسوب باشند، از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف یک نمونه‌ای، مقایسه میانگین‌ها و آزمون تحلیل تشخیص استفاده می‌شود. از بین روش‌های مختلف، نزدیک‌ترین همسایه و تحلیل تشخیص بیشترین کاربرد را دارد (Walling, 2005). امروزه از میان روش‌های کمی، بررسی آماری توانایی خصوصیات منشأیاب مورد نظر در تفکیک منابع رسوب و استفاده از مدل‌های ترکیبی چند متغیره برای تعیین سهم نسبی هر یک از منابع بیش از سایر روش‌ها مورد توجه می‌باشد ((Krause et al. 2003. با توجه به نتایج به دست آمده و با استفاده از مدل‌های چند متغیره ترکیبی، سهم هر یک از منابع رسوب به دست می‌آید. (Foster et al. (2002، (Carter et al. (2003، (Hakim-Khani (2006)، (Russell et al. (2006 و Owens et al. (2006، Koohepeima (2008) با به‌کارگیری ترکیبی از خصوصیات یک گروه یا ترکیبی از چند گروه توانستند دقت نتایج منشأیابی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهند. با توجه به اینکه نهشته‌های ریزدانه ناشی از رسوب گذاری سیلاب‌ها در ایستگاه‌های پخش سیلاب مشکلات زیادی از جمله سله بستن خاک و کاهش نفوذپذیری را به دنبال دارد لذا منشأ یابی و تشخیص لیتولوژی سرچشمه و مولد این رسوبات می‌تواند در جهت کنترل

نهشته‌های ریزدانه مؤثر باشد. هدف از این مطالعه بررسی و منشأ یابی نهشته‌های ریزدانه به‌منظور کاهش خطرات ناشی از آن می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

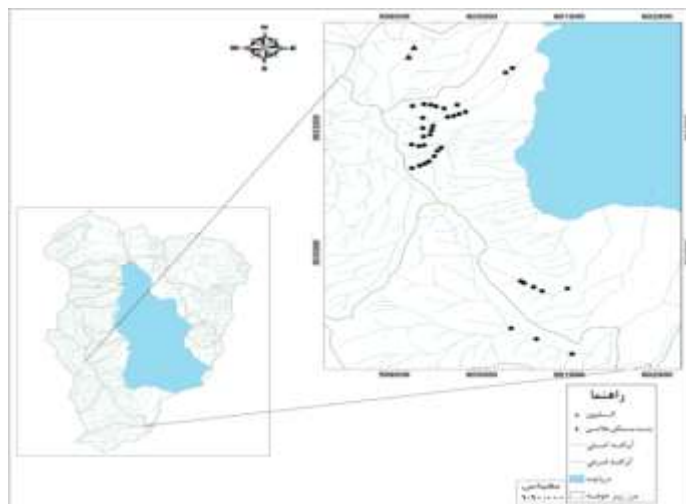
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

موقعیت منطقه مورد مطالعه بخش جنوب غربی حوضه زریوار با مساحت ۱۱۹۴/۰۶۳ هکتار است. این حوضه در مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 30' 1''$  تا  $35^{\circ} 34' 3''$  عرض شمالی در بخش جنوب غربی حوزه آبخیز دریاچه زریوار واقع شده است (شکل ۱). در منطقه مورد مطالعه در سه زیر حوضه  $Z_1$ ،  $Z_{11}$  و  $Z_{12}$  عملیات آبخیزداری صورت گرفته که به دلیل این‌که زیرحوضه‌های  $Z_{11}$  و  $Z_{12}$  خروجی‌های دیگری به‌جز دریاچه زریوار دارند، در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفتند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب غربی دریاچه زریوار

این زیر حوضه به دلیل اهمیت بالای تولید رسوب و همچنین به دلیل احداث سازه‌های آبخیزداری به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. در منطقه مورد مطالعه روستای دره تفی قرار دارد که یکی از روستاهای پرجمعیت حوضه می‌باشد. در زیر حوضه  $Z_1$  در سال ۱۳۸۷ دو عدد بند گابیونی و در سال ۱۳۸۸، ۳۶ عدد بند سنگی ملاتی ساخته شده است که ارتفاع رسوبات آن‌ها در بعضی موارد به ۸۰ سانتی‌متر می‌رسد. محل بندهای احداث شده و نقشه آبراهه‌های حوضه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه آبراهه‌ها و محل سازه‌ها

## ۲-۲- منشأیابی رسوبات

در روش منشأیابی مرکب و کمی، ترکیبی از خصوصیات منشأیاب برای تفکیک منابع رسوب استفاده می‌شود. منشأیاب‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل منیزیم، کروم، کبالت، کلسیم، نیتروژن، کربن آلی، پتاسیم، سدیم و فسفر بودند. برای تعیین میزان عناصر منیزیم، کروم، کبالت، کلسیم، پتاسیم، سدیم و فسفر از دستگاه ICP یا دستگاه القای نشر پلاسما استفاده شد. اندازه‌گیری کربن و مواد آلی به روش سوزاندن کربن آلی توسط اسید سولفوریک غلیظ (وال کی به لک) صورت گرفت. درصد ماده آلی از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$(1) \quad 1/72 \times \text{درصد کربن آلی} = \text{درصد ماده آلی}$$

پس از انتخاب ترکیب اولیه ردیاب‌ها و اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها، در مرحله دوم ترکیبی بهینه از خصوصیات اولیه که قابلیت تفکیک منابع رسوب را داشته باشند، انتخاب می‌گردند. در این تحقیق در مرحله اول از آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها برای بررسی توان و قدرت هر یک از ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب استفاده شد. سپس با به‌کارگیری تحلیل تشخیص، ترکیبی از ردیاب‌هایی که به طور جمعی قدرت تفکیک منابع رسوب را دارند، انتخاب شدند. در استفاده از آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها، ابتدا آزمون نرمال بودن مقادیر هر یک از خصوصیات انتخابی انجام شد. در صورت نرمال بودن خصوصیات منشأیاب از آزمون‌های پارامتری نظیر آزمون تجزیه واریانس (آزمون F) و در صورت عدم تبعیت از توزیع نرمال از آزمون‌های غیر پارامتری از جمله آزمون Kruskal-Wallis, H (برای مقایسه بیش از دو گروه) یا U, Mann-Whitney (برای مقایسه دو گروه) استفاده شد. از آزمون تجزیه واریانس به منظور بررسی معنی دار بودن اختلاف خصوصیات منشأیاب در بین انواع منابع، استفاده شد. در مرحله بعد آنالیز تابع تشخیص گام به گام برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه به طوری که دارای حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک باشند به کار گرفته شد.

## ۲-۳- آنالیز تشخیص

به منظور به دست آوردن ترکیبی خطی از متغیرهای مستقل که بتواند تعدادی از گروه‌های از پیش تعیین شده را از هم تفکیک کند از آنالیز تشخیص استفاده شد. تفکیک گروه‌ها با دادن وزن‌های مناسب به هر یک از متغیرها بر اساس حداکثر کردن واریانس بین گروهی نسبت به واریانس درون گروهی انجام شد. روش‌های مختلفی برای گروه بندی مشاهدات یک جامعه به چندین گروه موجود است. برای بررسی میزان معنی داری تفاوت بین میانگین‌هایی که از یکی از خروجی‌های کامپیوتر در اختیار می‌گذارد، از آماره لاندای ویلکس استفاده شد. برای بررسی میزان اهمیت متغیرها و معنی داری مقدار لاندای ویلکس از آزمون آنالیز واریانس (F) استفاده شد. از آنجا که ممکن است بعضی از متغیرها معنی دار نباشد، باید آن‌ها را از تحلیل خارج کرد. در خروجی بعد، متغیرهایی که معنی دار شده‌اند وارد تحلیل شدند. لازم است گفته شود که اگر آنالیز تشخیصی به روش گام به گام انجام گیرد، آنگاه بر حسب مقدار F و لاندای ویلکس در تابع نهایی متغیرهایی باقی می‌مانند که معنی دار هستند و برای ایجاد تابع تشخیص از آن‌ها استفاده شد.

## ۲-۴- آزمون مقایسه میانگین‌ها

در آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها فرض صفر این است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده هر یک از خصوصیات منشأیاب برای هر کدام از منابع رسوب اختلاف معنی داری با هم ندارند؛ بنابراین این آزمون‌ها فقط توان و قدرت هر یک از خصوصیات را در تفکیک منابع رسوب نشان می‌دهند. در این آزمون اگر سطح معنی دار به دست آمده کوچک‌تر از سطح مورد نظر ما باشد فرض صفر رد شده و این بدان معنی است که توانایی خصوصیت مربوطه تأیید می‌شود، بدین ترتیب با انجام آزمون مقایسه میانگین‌ها خصوصیتی که به طور جداگانه توان تفکیک منابع رسوب را دارند انتخاب شده و خصوصیات زاید یا فاقد توان تفکیک حذف می‌شوند. در این مطالعه به روش Hakim و Khani (2006) ردیاب‌هایی که توانایی آن‌ها در جداسازی منابع رسوب به وسیله آزمون مقایسه میانگین تأیید نمی‌شد، حذف نشدند. چرا که ردیاب‌های مربوطه ممکن است در مرحله دوم (انتخاب ترکیب بهینه توسط تابع تشخیص) وارد مدل شده و سهمی در افزایش توان کلی تحلیل تشخیص و در نتیجه افزایش توان جداسازی ترکیب به دست آمده، داشته باشد. از اینرو از حذف آن‌ها خودداری شد. در واقع مرحله اول می‌تواند تأیید کننده مرحله دوم باشد.

## ۲-۴- آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یک نمونه‌ای

این آزمون درجه موافقت یک مجموعه مقادیر نمونه‌ای و توزیع نظری را می‌سنجد. فرض صفر در این آزمون این است که توزیع جامعه نرمال است.

پس از انتخاب ترکیب بهینه خصوصیات منشأ یاب (با استفاده از تحلیل تشخیص)، برای تعیین سهم و اهمیت نسبی هر یک از منابع رسوب از مدل‌های ترکیبی استفاده شد. در مدل‌های چند متغیره ترکیبی از برنامه نویسی خطی استفاده می‌شود. در نهایت سهم هر یک از منابع مختلف رسوب به دست می‌آید. معادله ترکیبی برای هر یک از خصوصیات منشأ یاب به صورت رابطه‌ی (۲) است:

$$\hat{X}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j \quad (2)$$

در این معادله  $\hat{X}_i$ ، با مقدار برآوردی خصوصیت  $i$  ام ( $m$  و ... و ۲ و ۱)،  $a_{ij}$ ، مقدار میانگین خصوصیت  $i$  ام در منبع رسوب  $j$  ام ( $n$ ) و ... و ۲ و ۱،  $b_j$ ، سهم منبع رسوب  $j$  ام،  $n$ ، تعداد منابع رسوب و  $m$ ، تعداد خصوصیات منشأ یاب است. برای هر یک از خصوصیات منشأ یاب، معادله (۲) تکرار می‌شود. بنابراین به تعداد خصوصیات، معادله وجود خواهد داشت و مدل چند متغیره ترکیبی با تعدادی معادله مشخص خواهد شد. با حل این معادلات می‌توان سهم هر یک از منابع مختلف رسوب را به دست آورد. در حل معادلات باید دو شرط را در نظر گرفت. مقادیر ضریب سهم هر یک از منابع رسوب باید بین صفر و یک باشد و نیز مجموع ضرایب سهم هر یک از منابع رسوب باید برابر با یک باشد (Collins 1998). این شرایط به صورت رابطه (۳) بیان می‌شوند:

$$0 \leq b_j \leq 1 \text{ و } \sum_{j=1}^n b_j = 1 \quad (3)$$

چون معادلات دارای مجهولات زیادی است و راه حل‌های متنوعی می‌تواند داشته باشد، از این رو بجای حل مستقیم برای به دست آوردن نتایج بهینه در تعیین سهم منابع رسوب باید از روش‌های بهینه سازی استفاده شود (Rowan et al. 2000) و (Hakim، 2006، Khani). در مطالعات منشأ یابی، روش‌هایی از جمله حداقل کردن مجموع مربعات باقیمانده Russell (2001) یا حداقل کردن مجموع خطاهای نسبی Bottrill (2000) و یا هر دو Hakim-Khani (2006) برای به دست آوردن سهم بهینه منابع رسوب برآورد شده به وسیله‌ی مدل‌های چند متغیره ترکیبی استفاده شده است. مجموع مربعات باقیمانده را می‌توان به صورت رابطه‌ی (۴) نوشت:

$$R = \sum_{i=1}^m (X_i - \hat{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^m [X_i - (\sum_{j=1}^n a_{ij} b_j z_j)]^2 \quad (4)$$

در این رابطه  $R$  مجموع مربعات باقیمانده و  $X_i$  مقدار اندازه گیری شده خصوصیت  $i$  ام در نمونه رسوب،  $Z_j$  ضریب اصلاحی مواد آلی،  $m$  تعداد خصوصیات ردیاب و  $n$  تعداد متغیر گروه بندی (سازندهای زمین شناسی)،  $b_j$  ضریب سهم هر یک از منابع رسوب،  $a_{ij}$  مقدار میانگین ردیاب  $i$  ام در منبع رسوب  $j$  ام می‌باشند.

## ۵-۲- ضرایب اصلاحی

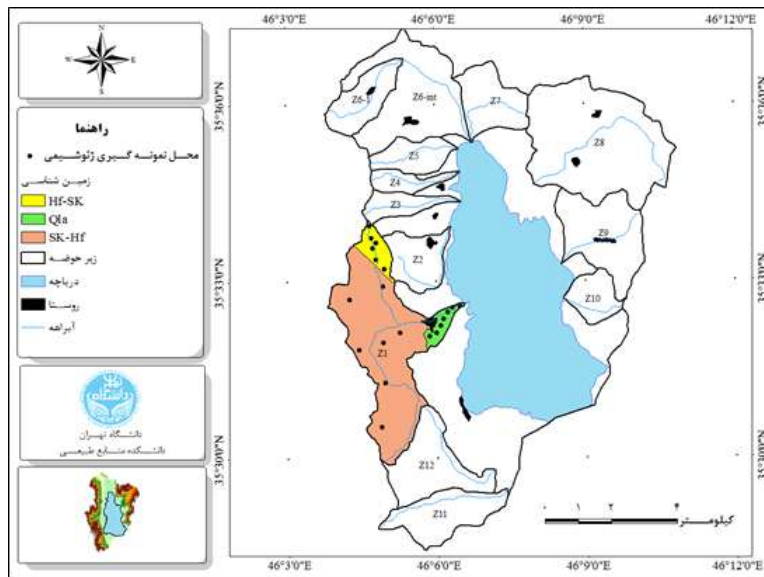
مسئله غنی شده یا تهی شدگی عمومیت دارد و کمتر ردیابی را می‌توان پیدا کرد که فرایندهای یاد شده روی آن تأثیر نگذاشته باشد. ثابت شده که بخش عمده بسیاری از ردیاب‌ها توسط ذرات ریز و مواد آلی حمل می‌شوند، از اینرو مقایسه مستقیم رسوب و منابع رسوب با مشکل مواجه می‌شود (Zhang et al. 2002). برای حل این محدودیت و فراهم آوردن امکان مقایسه مستقیم نمونه‌های رسوب و منابع، محققین مختلف ضرایب اصلاحی را ارائه کردند. Collins et al. (1998) برای اصلاح مسئله یاد شده از نسبت میزان کربن آلی نمونه رسوب به متوسط میزان کربن آلی هر یک از منابع رسوب استفاده کردند. میزان کربن آلی می‌تواند نماینده و معرف میزان مواد آلی باشد. در این حالت مقادیر انتخابی برای سهم منابع رسوب به عنوان جواب‌های بهینه مورد قبول واقع می‌شوند این کار برای تمام نمونه‌های رسوب انجام شده و از مقادیر سهم هر یک از منابع رسوب برای به دست آوردن سهم متوسط میانگین گیری شد. بعد از محاسبه توابع تشخیص سطح معنی داری آن‌ها بررسی شد.

## ۶-۲- ارزیابی نتایج مدل چند متغیره ترکیبی

از معیارهای خطای نسبی (Collins, 1998)، ضریب کارایی مدل و روش‌های غیر مستقیم و مشاهدات صحرایی برای ارزیابی نتایج مدل‌های چند متغیره ترکیبی استفاده شد. اهمیت نسبی و رسوب زایی سازندها به روش ژئوشیمیایی مقادیر اهمیت نسبی با تقسیم سهم کل بر مساحت هر واحد سنگ شناسی، به دست آمد.

## ۲-۷- نمونه‌گیری برای انجام منشأیابی به روش ژئوشیمی

با توجه به مطالعات صحرایی و همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه از سه سازنده زمین‌شناسی یعنی Q1a (نهشته‌های دریاچه‌ای شامل ماسه، مارن و سیلت که مربوط به دوره‌ی کواترنری می‌باشد)، HF-SK (هورنفلس و کمی اسکارن) و SK-Hf (متشکل از اسکارن و کمی هورنفلس) تشکیل شده است. شکل (۳) محل‌های نمونه‌گیری را برای بخش ژئوشیمیایی نشان می‌دهد.



شکل ۳- محل نمونه‌گیری برای بخش ژئوشیمی

## ۳- یافته‌ها و بحث

در این تحقیق از روش ژئوشیمیایی و بررسی ردیاب‌ها در منابع رسوب و رسوبات ریزدانه در مناطق رسوبگذاری استفاده شد. نتایج مطالعات Koohepima (2008) نشان می‌دهد که ردیاب‌های مهم در هر زیرحوضه غالباً جزو پارامترهای مغناطیسی و یا کانی‌های رسی نبودند. لذا در این تحقیق ۱۰ پارامتر به عنوان منشأیاب‌های اولیه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. این منشأیاب‌ها شامل کلسیم، کبالت، کروم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، نیتروژن، فسفر، موادآلی و کربن آلی بودند. میزان تغییرات هر یک از خصوصیات منشأیاب در نمونه‌های منابع رسوب و منطقه‌ی رسوب‌گذاری در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۱) میزان تغییرات هر یک از خصوصیات منشأیاب در نمونه‌های رسوب کمتر از نمونه‌های منابع رسوب می‌باشد. این موضوع با نتایج Moazami (2006) و Younes-zade (2009) مطابقت دارد. نمونه‌های برداشت شده از منابع رسوب از نقاط مختلف حوضه که دارای ویژگی‌های مختلفی می‌باشند، برداشت شد و بنابراین مقادیر آن‌ها دارای تغییرات زیادی می‌باشند. در حالی که در رسوبات پشت سازه‌ها این رسوبات با هم تداخل و هم‌پوشانی پیدا کرده و تغییرات آن‌ها تعدیل شده است. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یک نمونه‌ای نشان داد که نمونه‌های منابع رسوب همگی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و علت این است که نمونه‌های رسوب ترکیبی از منابع رسوب حوضه می‌باشند و لذا تغییرات منابع رسوب در آن‌ها تعدیل شده است. نمونه‌های رسوبی از سازنده‌های زمین‌شناسی هم از جامعه نرمال برخوردار بودند. البته عدم تبعیت مجموعه متغیرها از فرض نرمال حیاتی نیست و آزمون معنی‌داری حاصل تا زمانی که غیر نرمال بودن ناشی از چولگی است و نه داده‌های پرت، معتبر است. به‌منظور تعیین بهترین خصوصیات منشأیاب و یافتن عناصری که بهترین توان تفکیکی نسبت به سایر متغیرها دارند، از آزمون معنی‌داری میانگین گروه‌ها استفاده شد که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- آمارهای توصیفی خصوصیات منشایاب در نمونه‌های منابع رسوب و منطقه رسوبگذاری و نتایج آزمون Kolmogorove-Smirnov یک نمونه‌ای در منابع و نمونه‌های رسوب

ماده آلی (%)	کربن (%)	N (%)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	P (ppm)	Na (ppm)	CR (ppb)	CO (ppb)	معیارهای آماری
سازند (منطقه برداشت)										
۱/۷۲	۱	۰/۱۱۲	۱۷/۷۷	۸۶/۴۶	۵۴/۵۷	۱۰/۶۶	۱۸/۳۵	۱۴۹/۹۸	۲/۷۶	میانگین
۱/۷۲	۱	۰/۰۸۷	۲/۶	۱۱/۳۶	۴/۷	۲/۱۲	۴/۲۴	۲۶/۲۳	۰/۷۳۱	انحراف معیار
۰/۰۲۳	۰/۰۱۳	۰/۰۳۵	۱۳	۶۵/۹	۴۵/۸	۷/۹	۱۰/۹	۱۰۰/۹	۱/۱۹۵	حداقل
۵/۶۷	۳/۲۹	۰/۳۰۳	۲۳/۴	۱۰۵/۸	۶۰/۶	۱۵/۱	۲۵/۶	۱۹۹/۵	۴/۲۰۲	حداکثر
۰/۶۹۸	۰/۶۹۸	۰/۹۲۲	۰/۵۹۶	۰/۵۵۹	۰/۵۶۸	۰/۵۳۲	۰/۳۲۳	۰/۳۶۹	۰/۴۳۲	آزمون K.S یک نمونه‌ای
نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	توزیع
رسوبات پشت سدها (منطقه رسوب گذاری)										
۱/۶۷۱	۰/۹۷۱	۰/۰۸	۱۷/۸	۷۸/۵۵	۶۱/۳۸	۱۰/۵۵	۱۸/۵۲	۱۴۶/۱۴	۲/۳۴۵	میانگین
۰/۸۳۸	۰/۴۸۷	۰/۰۲۷	۳/۱۶	۱۱/۰۹	۵/۶۵۵	۲/۷۲۳	۳/۶۵۲	۲۷/۴۸	۰/۷۳۴	انحراف معیار
۰/۶۵۷	۰/۳۸۲	۰/۰۴	۱۲/۱	۶۱	۵۲/۵	۵/۷	۱۲/۹	۹/۱۱۲	۱/۲۵۸	حداقل
۳/۰۸۵	۱/۷۹۴	۰/۱۱	۲۲	۹۴/۲	۶۷/۱	۱۳/۷	۲۳/۲	۱۸۲	۳/۱۸۱	حداکثر
-	-	۰/۷	۰/۴۱۵	۰/۴۹۵	۰/۸۵۱	۰/۳۹	۰/۶	۰/۵۴	۰/۵۷۷	آزمون K.S یک نمونه‌ای
-	-	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	توزیع

جدول ۲- آزمون معنی داری میانگین گروه‌ها

عناصر	ویلیکس لامبدا	F	df1	df2	سطح معنی داری
CO	۰/۵۳۱	۴/۴۲۳	۲	۱۰	۰/۰۴۲
Cr	۰/۹۱۵	۰/۴۶۲	۲	۱۰	۰/۶۴۳
Na	۰/۴۴۶	۶/۱۹۹	۲	۱۰	۰/۰۱۸
P	۰/۷۲۵	۱/۹۰۱	۲	۱۰	۰/۲۰۰
Ca	۰/۵۶۶	۳/۸۴۰	۲	۱۰	۰/۰۵۸
K	۰/۷۶۷	۱/۵۲۱	۲	۱۰	۰/۲۶۵
Mg	۰/۶۵۸	۲/۶۰۰	۲	۱۰	۰/۱۲۳
%N	۰/۸۷۶	۰/۷۰۸	۲	۱۰	۰/۵۱۶
%کربن	۰/۸۶۰	۰/۸۱۱	۲	۱۰	۰/۴۷۱
OC	۰/۸۶۰	۰/۸۱۱	۲	۱۰	۰/۴۷۱



با بررسی نتایج آزمون معنی‌داری میانگین گروه‌ها که در جدول (۲) آورده شده است، مشخص شد که سدیم دارای کمترین میزان ویلکس لامبدا (۰/۴۴۶) و بزرگترین مقدار  $F$  (۶/۱۹۹) است. از اینرو توان تفکیکی بهتری نسبت به سایر متغیرها دارد. همچنین کبالت با مقدار ویلکس لامبدا  $۰/۵۳۱$  و  $F$  (۴/۴۲۳) در رتبه بعدی برای تفکیک نسبت به سایر متغیرها قرار دارد. از بین نه خصوصیت انتخابی اولیه، دو خصوصیت شامل سدیم و کبالت، توانسته‌اند منابع رسوب را به خوبی تفکیک کنند. بنابراین بهترین خصوصیات منشأیاب برای این مناطق می‌باشند. برای جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی و تعیین سهم آن‌ها در تولید رسوب، استفاده از عناصر ژئوشیمیایی کافی است و نیازی به اندازه‌گیری سایر ردیاب‌ها (نظیر عناصر رادیو اکتیو) نیست. عناصر انتخابی در تابع تشخیص به صورت گام به گام وارد شد که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- مراحل اضافه شدن ردیاب‌ها در تابع تشخیص به روش گام به گام

گام	متغیر ورودی	آماره ویلکس لامبدا	آماره مربع فاصله ماهالانوبیس	سطح معنی داری
۱	Co	۰/۵۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۴۲
۲	Na	۰/۲۵۱	۰/۱۱۸	۰/۰۱۱

دو پارامتر کبالت و سدیم به صورت گام به گام برای تفکیک گروه‌ها معرفی شدند که در گام اول کبالت و در گام دوم سدیم معرفی شد. همچنین با توجه به نمودار نقطه‌ای سازندها که با فاصله نسبتاً مناسبی از هم قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که دو پارامتر کبالت و سدیم توانایی تفکیک منابع رسوب را دارند و براساس این دو پارامتر می‌توان اهمیت نسبی هریک از سازندها را در حوضه مشاهده نمود. همچنین ضریب کارایی (معادله Nash و Sutcliffe) مدل چند متغیره مورد استفاده برای برآورد سهم سازندهای زمین شناسی برای هر یک از نمونه‌های رسوب از ۰/۶۷ تا ۰/۸۴ و برای میانگین تمام نمونه‌ها ۰/۷۷ به دست آمد که بیانگر صحت و کارایی مناسب مدل مذکور می‌باشد. آزمون‌های تجزیه واریانس و کولموگروف-اسمیرنوف نشان دادند که آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و به‌همین دلیل عناصر سدیم و کبالت انتخاب شدند. جدول (۴) حساسیت سازندها را به روش ژئوشیمیایی نشان می‌دهد.

جدول ۴- حساسیت سازندها به روش ژئوشیمیایی

زیر حوضه	خطای نسبی	منابع تولید رسوب	سهم کل (درصد)	مساحت ((%)	اهمیت نسبی	درصد اهمیت نسبی
		Qla	۴۲/۲	۶۶/۱۴۳	۲/۳۳	۸/۳۷
Z <sub>1</sub>	۱/۷۸	SK-Hf	۲۶/۸	۱۰۲۶/۹	۲۳/۰۴	۸۲/۵۴
		Hf-SK	۳۰	۱۰۱/۰۲	۲/۵۳	۹/۰۹

بر اساس نتایج به دست آمده که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، تمام فرسایش حوضه با خطای نسبی ۱/۷۸ ناشی از این سه سازندها است که سهم سازندها Qla ۴۲/۲ با اهمیت نسبی ۲/۳۳، سازندها SK-Hf با سهم ۲۶/۸ و اهمیت نسبی ۲۳/۰۴ و سازندها Hf-SK با سهم ۳۰ درصد و اهمیت نسبی ۲/۵۳ را دارد. همچنانکه مشاهده می‌شود سازندها SK-Hf با اهمیت نسبی ۲۳/۰۴ و درصد اهمیت نسبی ۸۲/۵۴ بیشترین منبع تولید رسوب در حوضه را دارا می‌باشد. نقشه‌ی نهایی حساسیت به فرسایش حوضه با روش ژئوشیمیایی استخراج و نتیجه در شکل (۴) نشان داده شده‌است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی سازندهای زمین‌شناسی ایران در حوزه‌های آبخیز دارای اهمیت است. یکی از روش‌های نوین و مؤثر در زمینه‌ی منشأیابی رسوب روش انگشت‌نگاری است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به یافته‌های این تحقیق مشخص شد که:

- ۱- روش منشأیابی کارایی لازم را برای تشخیص سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب خروجی را دارا می‌باشد.
  - ۲- با استفاده از نتایج روش منشأیابی می‌توان نقشه‌ی پتانسیل رسوبزایی منطقه را رسم و بر طبق این پهنه‌بندی عملیات لازم برای جلوگیری از فرسایش حوزه ارائه نمود.
  - ۳- عناصر سدیم و کبالت توان تفکیک بیشتری را در حوضه دارا می‌باشند.
  - ۴- سازند SK-Hf (اسکارن و کمی هورنفلس) با اهمیت نسبی ۲۳/۰۴ و درصد اهمیت نسبی ۸۲/۵۴ بیشترین منبع تولید رسوب در حوضه را دارا است.
- لازم به ذکر است با توجه به کمبود آب در سال‌های نمونه‌برداری آبراهه‌های فرعی و خطوط فرعی جریان‌های دارای رسوب که به خروجی حوضه منتهی می‌شوند در این مطالعه مورد نظر قرار داده نشد و می‌توان برای بالا بردن درصد صحت و درستی این روش، در مطالعات بعدی مدنظر قرار گیرد. همچنین در مطالعات بعدی می‌توان از عناصر بیشتری به‌منظور تفکیک منابع رسوب استفاده کرد که این امر نیز درصد خطای روش منشأیابی را کاهش می‌دهد. نتایج این تحقیق می‌تواند در شناسایی منشأ رسوبات حوضه و کنترل آن مورد استفاده قرار گیرد.

## References

- Amiri M. Mohseni M. and Ahmadian M. (2002). Fingerprinting colloids (clays) and silty water spreading station Kaboudarahang. Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Final Report [In Persian].
- Bottrill L. J., Walling D. E. and Leeks G. J. L. (2000). Using recent over bank deposits to investigate contemporary sediment sources in larger river basins. In: Foster, I. D. L. (Ed.), Tracers in geomorphology, Wiley, Chichester, 369-387.
- Carter J., Owens P. N., Walling D. E. and Leeks G. J. L. (2003). Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. *Sci. Total Environ.*, 314-316, 513-534.
- Collins A. L., Walling D. E. and Leeks G. J. L. (1998). Use of composite fingerprinting to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. *Earth Surf. Proc. Land.*, 23, 31-52.
- Foster I. D. L., Lees J. A., Jones A. R., Chapman A. S. and Turner S. E. (2002). The possible role of agricultural land drains in sediment delivery to a small reservoir, Worcestershire, UK: a multiparameter fingerprint study, In: Hodgkinson, R., (Ed.), The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems, IAHS Publ. No. 276: 433-442.
- Garzanti E., Ando S., Vezzoli G., Megid A. and Kammar A. (2006). Petrology of Nile River sands (Ethiopia and Sudan): Sediment budgets and erosion patterns. *Earth Planet. Sci. Let.*, 252, 327-341.
- Hakim-Khani S. (2006). The use of tracers in finding the origin of fine-grained in water sediments (case study: water spreading station basin Poldasht). [In Persian].
- Krause A. K., Franks S. W., Kalma J. D., Rowan J. S. and Loughran R. J. (2003). Multi-parameter fingerprinting of sediment deposition in a small gullied catchment in SE Australia. *Catena*, 53, 327-348.
- Kelley D. W., Brachfeld S. A., Nater E. A. and Wright Jr. H. E. (2006). Sources of sediment in Lake Pepin on the Upper Mississippi River in response to Holocene climatic changes. *J. Paleolimnol.*, 35, 193-206.

- Koohpeima A. (2008). Evaluation of sediments behind the watershed structures and its relationship with the characteristics of the basin (Semnan Province), M.Sc. Dissertation, Department of Natural Resources, Tehran University, Iran. [In Persian].
- Moazami M. (2006). Source studies of the fine-grained water deposits using fingerprinting sediment method, M.Sc. Dissertation, Watershed Management, Natural Resources Faculty, Tehran University, 158 pages. [In Persian].
- Owens Philip N., Desmond E., Walling Graham J. L. and Leeks. (1999). Use of floodplain sediment cores to investigate recent historical changes in overbank sedimentation rates and sediment sources in the catchment of the River use, Yorkshire. *Catena*, 36, 21–47.
- Owens P. N., Blake W. H. and Petticrew E. L. (2006). Changes in sediment sources following wildfire in mountainous terrain: a paired-catchment approach, British Columbia, Canada. *Water, Air Soil Pollut.*, 6, 637-645.
- Polyakov V. O. and Nearing M. A. (2004). Rare earth element oxides for tracing sediment movement. *Catena*, 55, 255-276.
- Rowan J. S., Goodwill P. and Franks S. W. (2000). Uncertainly estimation in fingerprinting suspended sediment sources. In: Foster, I.D. L. (Ed.), *Tracers in Geomorphology*, 279-290.
- Russell M. A., walling D. E. and Hodgkinson R. A. (2001). Suspended sediment sources in two small lowland agriculture catchments in the UK. *J. Hydrol.*, 252, 1-24.
- Soster F. M., Matisoff G., Whiting P. J., Fornes W., Ketterer M. and Szechenyi, S. (2007). Floodplain sedimentation rates in an alpine watershed determined by radionuclide techniques. *Earth Surf. Proc. Land.*, 32(13), 2038-2051.
- Younes-zade S. (2009). Source studies of the sediment behind watershed structures for study of erodibility (Case Study: Watershed estuary and Sefidarak Hashtgerd), Master's Dissertation [In Persian].
- Walling D. E. (2005). Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. Total Environ.*, 344 (1–3), 159–184.
- Walling D. E., Collins A.L. (2008). The catchment sediment budget as a management tool. *Environ. Sci. Policy*, 11, 136 – 143.
- Zhang C., Wang L. J., Li G., Dong S., Yang J. and Wang X. (2002). Grain size effect on multi-element concentrations in sediments from the intertidal flats of Bohai Bay, China. *Appl. Geochem.*, 17, 59-68.

## Determining the sediment yield of geological formation using sediment fingerprint (Case study: Kurdistan Zarivar Lake Watershed)

Sadat Feiznia<sup>1</sup> and Dana Hesami<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> M.Sc., Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

\*Corresponding author: danahesam@ut.ac.ir

Received: April 9, 2016

Accepted: August 11, 2016

### Abstract

One of the effective method in identification of sediment sources and erosion is recognition of erodible formation in drainage basin witch can be performed by using geochemical tracing method. In this research, due to high sediment production of south west part of Zarivar Lake Drainage Basin presence of small dams in this part, fine sediment sample were investigated using geochemical method. The percentage of contribution of lithological units and formation in fine-grained sediment portion was determined and erodibility map of geological materials was prepared using this method. Geochemical studies showed that SK-Hf lithological unit consisting of skarn and small hornfels with relative importance of 82.54% has the highest amount of sediment yield potential in the studied area and Qla lithological unit with relative importance of 8.37% has the lowest of sediment yield potential.

**Key words:** Zarivar Lake, SK-Hf, Geochemical Tracing, Sediment Yield Potential