

## منشأیابی رسوبات ورودی به دریاچه سدها با استفاده از عناصر شیمیایی

## (مطالعه موردی: رودخانه قلجق در استان خراسان شمالی)

علی اصغر قدیمی<sup>۱</sup>سعید رضا خدائشناس\*<sup>۲</sup>محمد رضا اکبر زاده<sup>۳</sup>بیژن قهرمان<sup>۴</sup>

## چکیده

امروزه فرسایش و رسوب گذاری مشکلات زیادی را در جهان به وجود آورده است. از جمله این مشکلات پر شدن مخزن سدها در اثر رسوبات رودخانه‌ای و همچنین آلودگی منابع آبی در اثر رسوبات آلوده به مواد شیمیایی و میکروبی است. برای بررسی و مقابله با این مشکل راهکارهای مختلفی وجود دارد. یکی از روش‌های مرسوم منشأیابی یا انگشت‌نگاری رسوبات است. اساس این روش یافتن منشأ رسوبات رودخانه با استفاده از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ... است. با یافتن منشأ رسوبات و تثبیت آن، این امکان وجود دارد که بتوان از ورود آن‌ها به رودخانه‌ها جلوگیری کرد. هدف از انجام این پژوهش منشأیابی رسوبات رودخانه قلجق در حوضه بارزو استان خراسان شمالی و سهم هر یک از زیرحوضه‌های این حوضه در تولید رسوب بوده است. روش این تحقیق نیز، استفاده از تعیین میزان عناصر شیمیایی موجود در نمونه‌ها با کمک روش اسپکتروسکوپی (XRF) خواهد بود. در این پژوهش، نشان داده شده است که نتایج این روش تطابق مناسب و مطلوبی را با مشاهدات و بررسی‌های کیفی و میدانی از زیرحوضه‌ها دارد. نتایج حاکی از آن است که تقریباً همه زیرحوضه‌های حوضه بارزو در رسوب‌دهی حوضه سهمیم هستند. در این بین زیرحوضه D با سهمی به میزان ۲۷/۳ درصد از رسوبات کل حوضه، بیشترین نرخ رسوب‌دهی را دارد. در این حوضه دیمزارها در دامنه‌های پرشیب قرار دارند و عامل توپوگرافی در این زیرحوضه بیشترین نقش را در فرسایش دیمزارها دارد.

## واژه‌های کلیدی

منشأیابی، فرسایش و رسوب گذاری، اسپکتروسکوپی، رودخانه قلجق.

۱. کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

\*۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

۳. مربی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴. استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

## مقدمه

رسوب گذاری و فرسایش در رودخانه‌ها، یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به مهندسی رودخانه در ایران و جهان است. از آنجایی که حمل رسوب توسط رودخانه و انتقال آن به مخازن سدها یکی از عمده‌ترین مشکلات پیش روی کسانی است که در این عرصه فعالیت می‌کنند، لذا یافتن راه‌هایی برای مقابله با این مشکل امری ضروری است.

هرچند داشتن رودخانه‌ای بدون رسوب‌گذاری و فرسایش امکان‌پذیر نیست، اما می‌توان تلاش‌هایی را جهت کم کردن میزان رسوب‌گذاری و فرسایش انجام داد. لازمه داشتن رودخانه‌ها و مخازن سدها با رسوب‌گذاری کمتر، کسب اطلاعات از منابع رسوب و سعی در تثبیت این مناطق به شیوه‌های مختلف است. این اطلاعات می‌تواند با استفاده از روش‌های معمولی همچون پین‌ها و پلات‌های فرسایشی، بررسی‌های چشمی منابع رسوب از طریق عکس‌ها و مشاهدات صحرایی و اندازه‌گیری بار رسوبی در انتهای زیر حوضه‌های اصلی باشد تا اهمیت نسبی آن‌ها در تولید رسوب مشخص شود (حکیم خانی و احمدی، ۱۳۸۷)؛ اما این روش‌ها معمولاً وقت‌گیر و پرهزینه بوده و مشکلات اجرایی زیادی به همراه دارند. در سال‌های گذشته روش منشأیابی یا انگشت‌نگاری جایگزین روش‌های مذکور شده است که بر استفاده از خصوصیات رسوبات تأکید دارند. این روش از حدود ۳۴ سال پیش و توسط محققانی چون وال و والینگ<sup>۱</sup> (۱۹۷۶) و اولدفیلد<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۷۶) مورد استفاده قرار گرفت و با توجه به نتایج موفقیت‌آمیزی که داشته است هم‌اکنون به‌عنوان روشی مؤثر در زمینه منشأیابی رسوبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش خصوصیات رسوبات گرفته‌شده از نقاط مختلف حوضه همچون خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و آلی با همین خصوصیات از رسوبات محل‌های رسوب‌گذاری و بار معلق مقایسه می‌شوند. از جمله خصوصیات که در منشأیابی مورد استفاده قرار گرفته است می‌توان به عناصر ژئوشیمیایی، رنگ رسوب، خواص مغناطیسی، کانی‌شناسی و خواص فیزیکی

همانند اندازه ذرات اشاره کرد (جرارد<sup>۳</sup> ۱۹۸۹)، گرمشاه<sup>۴</sup> (۱۹۸۰)، کالینز<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۸ و ۲۰۰۱)، امیری (۱۳۸۰) و سانتیاگو<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۹۲). از مهم‌ترین مزایای این روش نسبت به روش‌های دیگر یافتن اطلاعات منابع رسوب، سرعت زیاد و اقتصادی بودن آن است. موکاندان<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از منشأیابی رسوبات به منابع ایجاد رسوبات در رودخانه پیدمونت جنوبی پی بردند. رودی<sup>۸</sup> در سال ۲۰۱۰ با استفاده از فن منشأیابی، منابع مختلف رسوبات ورودی به خلیج وانگاپو در نیوزیلند را به دست آورد. ویلسون<sup>۹</sup> (۲۰۱۱) روشی را برای منشأیابی رسوبات در حوضه‌های کوچک مقیاس ارائه داد. نصرتی (۱۳۹۰) مدلی را جهت منشأیابی رسوب بر اساس برآورد عدم-قطعیت در حوضه آبخیز زیدشت مطالعه کرد. نصرتی و همکاران (۱۳۹۱) بررسی تغییرات مکانی ردیاب‌های بیوشیمیایی و کارایی این ردیاب‌ها در جداسازی منابع رسوب در سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه قرار دادند.

هدف از این پژوهش منشأیابی رسوبات رودخانه قلجق (شاخه اصلی حوضه‌ی بارزو در استان خراسان شمالی) است. در این تحقیق با استفاده از عناصر شیمیایی موجود در نمونه‌ها تحت آزمایش XRF<sup>۱۰</sup> منشأیابی انجام می‌شود. اساس کار این آزمایش مبتنی بر روش اسپکتروسکوپی است. در این آزمایش الکترون‌های عناصر توسط اشعه X ثانویه آزاد می‌شوند. اشعه X اولیه که در لوله تنگستن، مولیبدن یا کروم تولید می‌شود در اثر برخورد با نمونه، الکترون‌های آن را آزاد می‌نماید و باعث به وجود آمدن فضاهای خالی در پوسته الکترونی اتم‌ها می‌شود. فضاهای خالی معمولاً به‌وسیله الکترون‌های با سطح انرژی بالاتر پر می‌شود. در اثر جابه‌جایی الکترون‌ها طیف اشعه X ثانویه (فلورسانس) به وجود می‌آید که برای سنجش عناصر مختلف بکار برده می‌شود. مهم‌ترین عناصری که به‌وسیله XRF اندازه‌گیری می‌شوند عبارت‌اند از:

<sup>6</sup> Santiago

<sup>7</sup> Mukundan

<sup>8</sup> Roddy

<sup>9</sup> Wilson

<sup>10</sup> X Ray Fluorescence

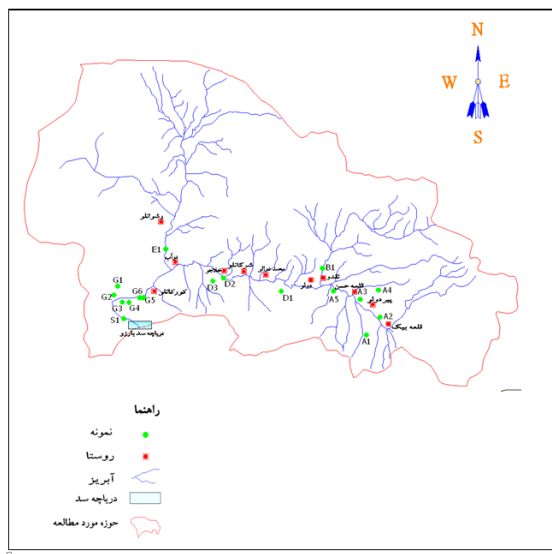
<sup>1</sup> Wall & Walling

<sup>2</sup> Oldfield

<sup>3</sup> Gerard

<sup>4</sup> Grimshaw

<sup>5</sup> Collins



شکل (۱): نقشه حوضه بارزو و زیر حوضه‌ها و نقاط نمونه‌برداری.

### نمونه‌برداری

پس از بازدید میدانی از منطقه و بر اساس کارشناسی‌های انجام‌شده، محل فرسایش‌های ایجادشده در این حوضه مشخص شد و با توجه به جهت فرسایش‌ها و چگونگی ورود مواد حاصل از فرسایش به رودخانه که پدیده رسوب‌گذاری را به همراه داشت، هفده نقطه به‌عنوان محل‌های نمونه‌گیری انتخاب شدند. در جدول (۱) موقعیت و خصوصیات محل‌های نمونه‌گیری ارائه شده است.

گوگرد (S)، سیلیس (Si)، منگنز (Mn)، تیتانیوم (Ti)، کروم (Cr)، آهن (Fe)، پتاسیم (K)، سدیم (N)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca)، آلومینیم (Al) و ...

نتایج حاصل از سنجش عناصر به‌صورت اکسیدهای عناصر بیان می‌شود. محدودیت عمده این روش این است که عناصر سبک‌تر از سدیم را نمی‌توان با این آزمایش مورد سنجش قرار داد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق، بخش‌هایی از حوضه رودخانه قلجق (بارزو) در استان خراسان شمالی مورد بررسی قرار گرفته است که شامل شش زیرحوضه است. رودخانه قلجق با طول تقریبی ۶/۳۲ کیلومتر در مختصات جغرافیایی ۵۰° ۵۷' الی ۱۵° ۵۸' طول شرقی و ۳۲° ۳۷' الی ۴۷° ۳۷' عرض شمالی واقع شده است که به مخزن بارزو می‌ریزد. حوضه بارزو بخشی از حوضه بزرگ اترک است و در فاصله مستقیم ۲۳ کیلومتری شمال شهرستان شیروان واقع شده است.

در این تحقیق پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه، تهیه نقشه‌های توپوگرافی و بازدیدهای صحرایی، حوضه آبریز بارزو و زیر حوضه‌های آن مشخص و سپس نقشه حوضه تهیه شد. سپس از توده‌های خاکی از مناطق مستعد فرسایش مانند بستر رودخانه‌ها، دامنه‌ها و آبراهه‌ها نمونه‌برداری شد. در مجموع شانزده نمونه خاکی و یک نمونه بار معلق از خروجی رودخانه به دست آمد و جهت تعیین دقیق عناصر موجود در آن‌ها تحت آزمایش XRF قرار گرفتند. در این زیرحوضه، روستاهای متعددی نظیر قلعه بیک، قلعه حسن، دولو و ... وجود دارند. شکل (۱) نقشه آبراهه‌ها و زیر حوضه‌های حوضه بارزو (رودخانه قلجق) و مناطق نمونه‌گیری را در این تحقیق نشان می‌دهد. پس از انجام آزمایش‌ها روی نمونه‌ها و تفسیر نتایج حاصل از آن‌ها در تعیین نوع عناصر موجود در نمونه‌ها، به‌منظور تعیین نمونه‌ها و واحدهای همگن، تعیین سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب خروجی و همین‌طور تعیین عناصر منشأیاب، از روش‌ها و آزمون‌های آماری و ریاضی استفاده گردید. برای این منظور نرم‌افزارهای آماری SAS و SPSS به کار گرفته شدند.

جدول (۱): موقعیت و خصوصیات محل‌های نمونه‌گیری

| کد نمونه | مختصات<br>جغرافیایی (UTM) | خصوصیاتی فیزیکی نمونه  |
|----------|---------------------------|--|
| A1       | ۴۱۶۲۵۳۵ ، ۵۹۹۳۸۲          | نمونه خاکی که از زمین‌های زراعی دامنه‌های پرشیب بعد از روستای قلعه بیک گرفته شده است. شیب وجهت شخم این زمین‌ها امکان فرسایش را افزایش می‌دهد.  |
| A2       | ۴۱۶۳۳۴۳ ، ۶۰۰۰۴۹          | نمونه در مسیر برگشت از روستای قلعه بیک از پشت‌بند گابیونی که رسوبات زیادی را به تله انداخته بود برداشت گردید.  |
| A3       | ۵۹۹۱۲۸ ، ۴۱۶۴۲۱۸          | نمونه خاکی که از پشت‌بند گابیونی دوم برداشت گردید. احتمال ورود رسوبات از این قسمت نیز زیاد بود.  |
| A4       | ۵۹۹۹۸۸ ، ۴۱۶۴۷۱۶          | نمونه خاکی که از زمین‌های زراعی شاخه فرعی روستای قلعه حسن برداشت گردید.  |
| A5       | ۵۹۷۸۷۸ ، ۴۱۶۴۶۶۵          | نمونه خاکی که از تقاطع سیلاب‌دشت و شاخه فرعی روستای نقدو برداشت گردید. در این قسمت از شیل‌های طرف راست رودخانه یک نمونه خاک گرفته شده است.   |
| B1       | ۴۱۶۵۷۰۷ ، ۵۹۷۳۳۶          | نمونه خاکی که از شاخه فرعی و پایین‌دست بند گابیونی که فرسایش شدید شیباری دیده می‌شد برداشت گردید. از روی نهشته‌های شیلی و مارنی سازندهای سرچشمه و سنگانه که حساسیت زیادی به فرسایش دارند، این نمونه برداشت شد.   |
| D1       | ۴۱۶۴۶۰۹ ، ۵۹۵۳۶۳          | نمونه خاکی که در مسیر برگشت از روستای دولو در ساحل سمت چپ فرسایش خندقی مشاهده گردید.   |
| D2       | ۴۱۶۵۲۰۳ ، ۵۹۲۷۱۹          | نمونه خاکی که در مسیر روستای شرکانلو فرسایش شیباری در دامنه کوه مشاهده گردید. جنس خاک ماسه‌ای لومی است.  |
| D3       | ۵۹۲۰۸۸ ، ۴۱۶۵۰۹۱          | نمونه خاکی که در ساحل سمت چپ رودخانه از روستای شرکانلو فرسایش خندقی نسبتاً متوسط مشاهده گردید که امکان ورود رسوب به رودخانه در این قسمت زیاد بود.  |
| E1       | ۴۱۶۵۵۶۸ ، ۵۸۹۸۶۶          | نمونه خاکی که از شاخه فرعی روستای دوآب، نمونه از سیلاب‌دشت رودخانه گرفته شد. این نمونه نماینده‌ای از زیرحوضه E است.  |
| F1       | ۵۸۷۷۵۵ ، ۴۱۶۴۰۹۱          | نمونه خاکی که از یک مزرعه بدون پوشش و در حال کشت واقع در سیلاب‌دشت رودخانه که فرسایش سطحی در آن وجود داشت، برداشت گردید. فرسایش سطحی در این قسمت به وضوح دیده می‌شد.   |
| F2       | ۵۸۸۰۸۲ ، ۴۱۶۴۰۷           | نمونه خاکی از پای یک نهر خاکی که باعث شستشو و فرسایش خاک پایین‌دست خود گردیده بود برداشت شد. فرسایش شیباری بسیار زیاد بود.   |
| F3       | ۴۱۶۴۲۸۲ ، ۵۸۸۶۲۹          | نمونه خاکی که از بالادست سازه آبی (بند) از رسوباتی که در پشت‌بند به دام افتاده بودند گرفته شد.   |
| F4       | ۴۱۶۴۲۹۷ ، ۵۸۸۶۰۰          | نمونه خاکی که از پایین‌دست همان سازه گرفته شد.   |
| G1       | ۵۸۷۵۳۴ ، ۴۱۶۴۸۵۳          | نمونه، در یکی از شاخه‌های فرعی واقع در زیرحوضه G که با دارا بودن سطحی بیش از ۵۲ درصد از سازندهای سرچشمه و سنگانه، از شیل‌های خاکستری یک تپه که فرسایش سطحی و شیباری در آن دیده می‌شد برداشت گردید. این سازند از نفوذپذیری خیلی کمی برخوردار بوده و حساسیت زیادی به فرسایش دارد. در این زیرحوضه در بعضی قسمت‌ها عدم پوشش گیاهی وجود داشت و بعضاً برون‌زدگی سنگی نیز مشاهده می‌شد. |
| G2       | ۴۱۶۴۴۲۵ ، ۵۸۷۳۵۷          | ۵۰۰ متر پایین‌تر از نمونه اول از همان شاخه برداشت گردید.   |
| S1       |                           | نمونه خاکی که از رسوبات معلق رودخانه در نقطه خروجی رودخانه قلجق گرفته شد.  |

جدول (۲): درصد عناصر موجود در نمونه‌ها طبق نتایج آزمایش XRF

| L.O.I | SO3   | P2O5  | MnO   | TiO2  | MgO  | K2O  | Na2O  | CaO   | Fe2O3 | Al2O3 | SiO2  |    |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ۲۵/۳۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۱۲  | ۰/۰۴۸ | ۰/۴۵۳ | ۱/۶۳ | ۱/۵۹ | ۰/۷۳  | ۲۶/۳  | ۳/۵۷  | ۶/۹۵  | ۳۷/۰۱ | A1 |
| ۶/۲۵  | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۵  | ۰/۶۹۷ | ۱/۴۶ | ۲/۴۳ | ۰/۵۵  | ۱/۳   | ۶/۹۶  | ۱۳/۸۶ | ۶۵/۸۱ | A2 |
| ۱۹/۱۸ | ۰/۱۴  | ۰/۱۱  | ۰/۰۳۵ | ۰/۵۳  | ۱/۸۱ | ۱/۶۹ | ۰/۸۱  | ۲۲/۶۸ | ۴/۳۹  | ۷/۵۵  | ۴۰/۳۷ | A3 |
| ۷/۰۴  | ۰/۰۰۳ | ۰/۱   | ۰/۰۴۷ | ۰/۶۹۶ | ۱/۷۹ | ۲/۵۵ | ۱/۰۵  | ۵/۱۵  | ۵/۴۵  | ۱۳/۰۹ | ۶۲/۶۱ | A4 |
| ۱۵/۱  | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۵۲ | ۰/۱۱۸ | ۰/۶۲۳ | ۱/۹۶ | ۲/۳۱ | ۰/۷۱  | ۱۵/۸۲ | ۵/۴۶  | ۱۰/۴۷ | ۴۶/۹۷ | A5 |
| ۲۹/۵۶ | ۰/۱۲۸ | ۰/۱۱۲ | ۰/۰۴  | ۰/۳۴۴ | ۱/۸۱ | ۱/۳۶ | ۰/۰۴۲ | ۳۳/۸۳ | ۳/۰۳  | ۵/۹۴  | ۲۴/۰۲ | B1 |
| ۲۱/۲۵ | ۰/۱۳  | ۰/۱۱۶ | ۰/۰۸۳ | ۰/۵۱  | ۲/۱۲ | ۲    | ۰/۵۷  | ۳۳/۰۵ | ۴/۸۹  | ۸/۶۳  | ۳۶/۳۹ | D1 |
| ۱۰/۸۹ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۰۸ | ۰/۱۱  | ۰/۶۷۵ | ۲/۲۱ | ۲/۴۷ | ۰/۸۲  | ۹/۷۵  | ۶/۲   | ۱۲/۲  | ۵۳/۹۹ | D2 |
| ۱۲/۶۱ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۲۲ | ۰/۰۸۴ | ۰/۶۵۶ | ۲/۲  | ۲/۶  | ۰/۸۹  | ۱۲/۱۵ | ۵/۸۲  | ۱۱/۵۲ | ۵۰/۹۴ | D3 |
| ۲۲/۸۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۶۱ | ۰/۰۵۴ | ۰/۴۴۷ | ۰/۶۹ | ۱/۵۵ | ۰/۵۷  | ۲۷/۷۸ | ۳/۹۹  | ۶/۶۶  | ۳۳/۸۵ | E1 |
| ۱۲/۸۷ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۴۹ | ۰/۰۷۹ | ۰/۶۰۳ | ۲/۱۲ | ۲/۲۱ | ۰/۸۳  | ۱۳/۳  | ۵/۰۲  | ۱۰/۱۵ | ۵۲/۲۳ | F1 |
| ۶/۵   | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۲۱ | ۰/۰۹۲ | ۰/۷۱۳ | ۲/۴۷ | ۲/۷۱ | ۱/۰۸  | ۳/۸۷  | ۵/۸   | ۱۳/۳۵ | ۶۲/۹۳ | F2 |
| ۲۶/۳۵ | ۰/۰۴۳ | ۰/۱۱  | ۰/۰۶  | ۰/۳۷۸ | ۱/۵۲ | ۱/۴۴ | ۰/۵۴  | ۲۹/۸۳ | ۳/۳۵  | ۶/۴۶  | ۲۹/۴۴ | F3 |
| ۱۷/۸۱ | ۰/۰۷۸ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۵۸ | ۰/۴۸۲ | ۲/۰۱ | ۱/۸۲ | ۰/۷۶  | ۲۱/۸  | ۴/۱۴  | ۸/۰۲  | ۴۲/۵۱ | F4 |
| ۲۷/۸۲ | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۳۹ | ۰/۳۷۷ | ۲/۰۹ | ۱/۵۴ | ۰/۴۳  | ۳۱/۲۸ | ۳/۲۸  | ۶/۴۷  | ۲۶/۲۶ | G1 |
| ۲۶/۶۱ | ۰/۰۶۶ | ۰/۱۲۱ | ۰/۰۵  | ۰/۳۹۸ | ۲/۱۴ | ۱/۶۳ | ۰/۵   | ۲۸/۴  | ۳/۷۲  | ۶/۷۶  | ۲۸/۶  | G2 |
| ۱۹/۹۷ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۲۹ | ۰/۰۷  | ۰/۵۶۸ | ۲/۵۱ | ۲/۶۹ | ۰/۲۸  | ۱۸/۵۶ | ۶/۶   | ۱۰/۵۸ | ۳۷/۶۶ | S  |

| Cr     | Ni     | Pb     | Zn     | Cu     | Sr     | Ba     | Cl     |    |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| ۰/۰۰۲  | ۰/۰۰۴۷ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۴۱ | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۳۶۲ | ۰/۰۱۰۹ | ۰/۰۰۸۷ | A1 |
| ۰/۰۰۸۴ | ۰/۰۰۸۱ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۱۲۸ | ۰/۰۰۳۳ | ۰/۰۱۶۴ | ۰/۰۱۷۱ | ۰/۰۰۶۵ | A2 |
| ۰/۰۰۲۹ | ۰/۰۰۵۷ | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۰۵۷ | ۰/۰۰۲۲ | ۰/۰۳۴۷ | ۰/۰۰۹۳ | ۰/۲۲۷۷ | A3 |
| ۰/۰۰۶۴ | ۰/۰۰۶۲ | ۰/۰۰۱۸ | ۰/۰۰۹۵ | ۰/۰۰۲۳ | ۰/۰۲۱۵ | ۰/۰۲۰۱ | ۰/۰۰۶۳ | A4 |
| ۰/۰۰۲۵ | ۰/۰۰۶۴ | ۰/۰۰۲۱ | ۰/۰۰۷۹ | ۰/۰۰۲۶ | ۰/۰۲۱۹ | ۰/۰۱۳۳ | ۰/۰۰۷۱ | A5 |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۴۴ | ۰/۰۰۰۹ | ۰/۰۰۴۴ | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۳۸۸ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۷۷ | B1 |
| ۰/۰۰۲۶ | ۰/۰۰۵۳ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۶۴ | ۰/۰۰۱۴ | ۰/۰۳۸۸ | ۰/۰۰۹۲ | ۰/۰۰۰۷ | D1 |
| ۰/۰۰۵۵ | ۰/۰۰۶۶ | ۰/۰۰۲۱ | ۰/۰۰۹۹ | ۰/۰۰۲۸ | ۰/۰۲۱۱ | ۰/۰۱۴۵ | ۰/۰۰۶۷ | D2 |
| ۰/۰۰۴۷ | ۰/۰۰۶۵ | ۰/۰۰۲۶ | ۰/۰۰۹۴ | ۰/۰۰۳۲ | ۰/۰۳۳۶ | ۰/۰۰۸۳ | ۰/۰۰۷۸ | D3 |
| ۰/۰۰۲۵ | ۰/۰۰۵۱ | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۱۷ | ۰/۰۳۷۵ | ۰/۰۰۸۳ | ۰/۰۰۸۱ | E1 |
| ۰/۰۰۴۱ | ۰/۰۰۶۵ | ۰/۰۰۱۷ | ۰/۰۰۷۵ | ۰/۰۰۲۸ | ۰/۰۳۶  | ۰/۰۱۴۳ | ۰/۰۰۸۷ | F1 |
| ۰/۰۰۵۶ | ۰/۰۰۶۶ | ۰/۰۰۳۲ | ۰/۰۰۹۲ | ۰/۰۰۳۱ | ۰/۰۲۶  | ۰/۰۱۸۱ | ۰/۰۰۷۱ | F2 |
| ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۴۷ | ۰/۰۰۱۴ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۱۶ | ۰/۰۳۳۲ | ۰/۰۰۳۶ | ۰/۰۰۸۴ | F3 |
| ۰/۰۰۲۴ | ۰/۰۰۵۶ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۰۵۴ | ۰/۰۰۱۸ | ۰/۰۳۷۴ | ۰/۰۰۷۴ | ۰/۰۰۹۴ | F4 |
| ۰/۰۰۱۱ | ۰/۰۰۵۱ | ۰/۰۰۱۱ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۳۲۵ | ۰/۰۰۵۶ | ۰/۰۱۳۳ | G1 |
| ۰/۰۰۱۴ | ۰/۰۰۵۲ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۰۵۲ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۴۱۱ | ۰/۰۰۲۳ | ۰/۰۳۰۴ | G2 |
| ۰/۰۰۴۱ | ۰/۰۰۷۴ | ۰/۰۰۲۵ | ۰/۰۰۹۱ | ۰/۰۰۳۱ | ۰/۰۳۴۱ | ۰/۰۰۸۹ | ۰/۰۰۰۸ | S  |

### عملیات آماری روی داده‌ها

برای تحلیل نتایج لازم است که عملیات و آزمون‌های آماری مختلفی بر روی داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های XRF انجام شود. هدف از انجام این عملیات و آزمون‌ها را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- تعیین واحدهای همگن که مناطق منشأ رسوبات را مشخص می‌نماید؛

۲- تعیین عناصر منشأیاب؛

۳- تعیین سهم هر واحد و زیرحوضه در تولید رسوب معلق.

### تعیین واحدهای همگن

در این تحقیق به‌منظور تعیین واحدهای همگن از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده شده است. تجزیه خوشه‌ای یک نام کلی برای روش‌هایی است که هدف مشترک آن‌ها تعیین شباهت‌ها و تفاوت‌های افراد و گروه‌بندی آن‌ها است؛ بنابراین با استفاده از تجزیه خوشه‌ای می‌توان شباهت‌ها و تفاوت‌های افراد را با استفاده از متغیرهایی که بر روی آن‌ها اندازه‌گیری انجام گرفته، مشخص نموده و افراد را گروه‌بندی کرد. از جمله مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده در تجزیه خوشه‌ای می‌توان به دو روش طبقه‌بندی و تجزیه‌ای اشاره نمود. روش طبقه‌بندی با تعیین فاصله هر

• حجم متغیرها در طبقات نباید با هم اختلاف زیادی داشته باشند و بهتر است که مساوی باشند. هدف از این روش کاهش تعداد متغیرهای وابسته به متغیرهای مستقل است، به طوری که انتظار می‌رود ۷۰ تا ۹۰ درصد تغییرات را مؤلفه‌های اول و دوم در خود جای دهند. متغیر  $y$  به صورت کاهش مرتب می‌شود. به طوری که  $y_1$  بیشترین و  $y_p$  کمترین تغییرات را در خود جای داده و  $y$ ها نباید با هم همبستگی داشته باشند. با توجه به اینکه بیشترین تغییرات در دو مؤلفه اول و دوم جمع می‌شود، انتظار می‌رود این دو مؤلفه بیشتر واریانس کل را توجیه نمایند. مدل تحلیلی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (همان تابع تشخیص) به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} y_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_k \\ y_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2p}x_k \\ &\dots \\ y_p &= a_{p1}x_1 + a_{p2}x_2 + \dots + a_{pp}x_k \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن  $x_1, x_2, x_k$  = تعداد متغیرها،  $a_{ij}$  = اجزای بردار ویژه (مقادیر ثابت) و  $y_1, y_2, \dots, y_p$  = مؤلفه‌های اصلی. در این روش بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که متغیرهای اولیه همبستگی زیادی داشته باشند. اگر دسته‌چینی مناسبی انجام شود، تبدیل ۲۰ یا ۳۰ متغیر اولیه به دو یا سه مؤلفه اصلی به نحو مطلوبی امکان‌پذیر خواهد بود. اگر این حالت رخ دهد، مؤلفه‌های اصلی مهم می‌توانند به‌عنوان معیارهایی برای نشان دادن جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها قابل توجه باشند (سلطانی، ۱۳۸۰).

### تعیین سهم واحدها و زیرحوضه‌ها در تولید رسوب خروجی

برای تعیین سهم هر واحد نمونه‌برداری در تولید رسوب از مدل ترکیبی چند متغیره زیر استفاده شده است: (عطاپورفرد و همکاران، ۱۳۸۴)

فرد از سایر افراد شروع می‌شود و سپس به تدریج افراد مشابه طی فرآیند جمع‌آوری در یک گروه با هم ادغام می‌شوند. ساماندهی کامل این افراد در قالب نمودار درختی یا دندوگرام<sup>۱</sup> انجام می‌پذیرد. برای تعیین فاصله افراد معمولاً از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شوند:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{jk} - x_{ik})^2} \quad (1)$$

که در این رابطه  $x_{jk}$  و  $x_{ik}$  به ترتیب مقادیر متغیر  $k$  برای مشاهده  $i$  و  $j$  هستند.

### تعیین عناصر منشأیاب

در بخش قبلی واحدهایی که از نظر مقدار متغیرها (عناصر در آزمایش  $XRF$ ) مشابه بودند در دسته‌های جداگانه قرار گرفتند. حال با استفاده از نتایج بخش قبل می‌توان عنصری را که بیشترین سهم در تفکیک واحدها دارد، مشخص نموده و به‌عنوان منشأیاب برگزید. برای این منظور در آمار از تابع تشخیص<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. در این تحقیق به‌منظور تعیین دقیق منشأیاب از روش تابع تشخیص گام‌به‌گام استفاده شد که با استفاده از نرم‌افزار  $SPSS$  انجام شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از قدیمی‌ترین و کارآمدترین روش‌های مورد استفاده در آمار چند متغیره است. این روش بر اساس راهکار مورد استفاده در رگرسیون خطی چند متغیره توسعه یافته است با این تفاوت که متغیر وابسته نه تنها توزیع نرمال ندارد بلکه یک متغیر کیفی با تعداد اندک است. هدف به دست آوردن رابطه‌ای است تا بتواند با توجه به متغیرهای مستقل عضویت را در متغیر گروه‌بندی مشخص کند. فرضیات مهم این روش عبارت‌اند از:

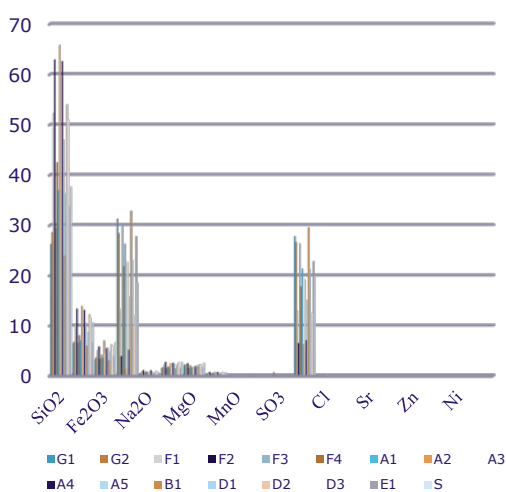
- رابطه بین متغیرها باید خطی باشد.
- متغیر وابسته باید به صورت یک متغیر دو یا چند مقوله‌ای باشد.
- متغیر مستقل مورد استفاده باید مقیاس سنجش فاصله‌ای، نسبتی و توزیع نرمال داشته باشد.
- حجم نمونه مورد مطالعه نباید کمتر از ۳۰ باشد.

<sup>2</sup>Discriminant Function

<sup>1</sup>Dendrogram

از روش تابع تشخیص گام به گام استفاده گردید که با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

شکل (۳) نمودار نتایج XRF را نشان می دهد. از این شکل مشخص است که مقدار عناصر Si، Ca و هدر رفت حرارتی L.O.I در نمونه های مختلف تغییرات بیشتری نسبت به سایر عناصر دارند. این همان چیزی است که مفهوم تابع تشخیص را بیان می نماید.



شکل (۳): نتایج XRF برای نمونه های مختلف.

در فن تحلیل تمایزی در ابتدا آزمون معنی داری تابع تشخیص انجام می شود تا مشخص شود که آیا تابع و الگو برازش شده معنی دار است یا خیر. برای معنادار بودن تابع تشخیص از آزمون ویلکس لامبدا<sup>۱</sup> استفاده می شود. مقدار این شاخص بین صفر و یک متغیر است و هر چه به یک نزدیک تر شود، بیانگر آن است که میانگین گروه ها مقادیر مشابهی دارند و اختلافی بین آنها وجود ندارد و هر چه به سمت صفر نزدیک شود، حاکی از آن است که گروه ها مقادیر مشابهی ندارند و اختلاف میانگین بین گروه ها وجود دارد. هر چه مقدار این پارامتر برای یک تابع کوچک تر باشد آن تابع تفکیک کننده بهتری به شمار می رود. در جدول (۳) خلاصه عملکرد مدل به صورت کلی بیان شده است و عناصری که در مدل وارد شده اند و همین طور نتایج حاصل از ورود هر عنصر به مدل آمده است. چنانچه مشاهده می گردد، مقدار ویلکس لامبدا برای L.O.I برابر ۰/۰۳۴ و برای SiO<sub>2</sub> برابر ۰/۰۱۳ است که به صفر نزدیک هستند. آزمون F با آزمون برای

$$\sum_{s=1}^S P_s = 1 \quad (3)$$

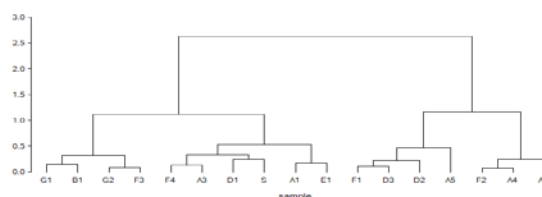
$$0 \leq P_s \leq 1$$

$$E = \sum_{t=1}^T \left\{ \frac{\left| B_t - \left( \sum_{s=1}^S V_{st} P_s \right) \right|}{B_t} \right\}$$

در این رابطه  $B_t$  = میزان عنصر t در رسوبات گرفته شده از هر واحد لیتولوژیک،  $V_{st}$  = مقدار همان عنصر در رسوب معلق خروجی،  $P_s$  = سهم هر واحد در تولید رسوب، S = نام واحد، T = تعداد عناصر منشأیاب و E = مقدار خطای نسبی. برای حل رابطه بالا، با در نظر گرفتن شرایط گفته شده، باید به هر واحد یک  $P_s$  اختصاص داده و رابطه را حل نمود و با انجام عمل سعی و خطا  $P_s$  ها را تغییر داد تا به حداقل خطای نسبی رسید. برای این منظور در این تحقیق از ابزار Solver در نرم افزار Excel استفاده شد.

### نتایج

با استفاده از نرم افزار SAS واحدهای همگن مشخص گردید. با مشاهده شکل (۲) ملاحظه می شود که با توجه به میزان کل عناصر موجود در نمونه ها چنانکه در نمودار دندوگرام حاصله از نرم افزار دیده می شود، در فاصله اقلیدسی ۰/۵ نمونه ها به چهار واحد همگن تقسیم می شوند. این واحدها با توجه به مقدار کلیه عناصر موجود در نمونه ها در این چهار طبقه قرار گرفتند و می توان از این چهار طبقه به منظور تعیین عناصر منشأیاب استفاده نمود. عناصر منشأیاب با استفاده از نرم افزار SPSS و آنالیز تابع تشخیص مشخص می شوند.



شکل (۲): دندوگرام حاصله از نرم افزار SAS برای نمونه های خاک کل حوضه بارزو

حال با استفاده از نتایج بخش قبل می توان عنصری را که بیشترین سهم در تفکیک واحدها دارد مشخص نموده و به عنوان منشأیاب برگزید. در این تحقیق به منظور تعیین دقیق منشأیاب

<sup>۱</sup> Wilks' Lambda

ارزیابی یکسان بودن یا یکسان نبودن دو جامعه و یا چند جامعه به کار برده می‌شود. در این آزمون واریانس کل جامعه به عوامل اولیه آن تجزیه می‌شود. نتیجه این آزمون با پارامتر Sig. در ستون آخر نشان داده شده است. پارامتر Sig. دقت مدل را نشان می‌دهد که باید کمتر از ۰/۰۵ باشد. این پارامتر دارای مقدار تقریباً صفر است که عملکرد مناسب مدل‌های برازش شده را نشان می‌دهد. df نشان‌دهنده درجه آزادی پارامتر است (تعداد مقادیری است که پارامتر امکان تغییر دارد).

جدول (۳): خروجی نرم‌افزار SPSS- گام‌های انجام‌شده در آنالیز تابع تشخیص و اطلاعات آماری در هر گام

| Wilks' Lambda |                 |                 |                 |                 |                 |        |           | Entered          | Step |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-----------|------------------|------|
| Exact F       |                 |                 | df <sub>3</sub> | df <sub>2</sub> | df <sub>1</sub> | Lambda |           |                  |      |
| Sig.          | df <sub>2</sub> | df <sub>1</sub> |                 |                 |                 |        | Statistic |                  |      |
| ۰/۰۰۰         | ۱۳              | ۳               | ۱۲۲/۹۲۳         | ۱۳              | ۳               | ۱      | ۰/۰۳۴     | L.O.I            | ۱    |
| ۰/۰۰۰         | ۲۴              | ۶               | ۳۱/۵۱۶          | ۱۳              | ۳               | ۲      | ۰/۰۱۳     | SiO <sub>2</sub> | ۲    |

در جدول (۵) ضرایب مربوط به عنصر منشأیاب آورده شده است. در واقع می‌توان دو تابع به‌دست‌آمده را این‌گونه نوشت:

$$F_1 = 0.634 \times L.O.I - 0.375 \times SiO_2 \quad (۴)$$

$$F_2 = 3.617 \times L.O.I + 3.653 \times SiO_2$$

در جدول (۶) مقدار تابع در واحدهای مختلف آمده است. این مدل بر چهار واحد همگن برازش داده شده است (این واحدهای همگن در جدول (۹) آورده شده‌اند). به‌عنوان مثال چنانچه نمونه‌ای موجود باشد که با قرار دادن مقادیر L.O.I و SiO<sub>2</sub> آن در تابع F<sub>1</sub> مقداری نزدیک به عدد ۷/۴۲۵- به دست آید، آن نمونه از واحد یک است.

جدول (۶): خروجی SPSS، مقادیر تابع تشخیص واحدهای مختلف

در توابع برازش داده‌شده

| واحد | تابع           |                |
|------|----------------|----------------|
|      | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> |
| ۱    | -۷/۴۲۵         | ۱/۴۸۲          |
| ۲    | -۳/۱۳۲         | -۰/۹۶۹         |
| ۳    | ۶/۱۲۶          | ۱/۲۳۹          |
| ۴    | ۱/۷۱۶          | -۰/۹۲۱         |

نتایج حاصل از تعیین سهم رسوبات بر روی نتایج حاصله از آزمایش XRF که روی نمونه‌های کل زیرحوضه‌های حوضه بارزو گرفت در جدول (۷) ارائه شده است.

در جدول (۴) عناصری که در گام‌های مختلف در تابع وارد شده‌اند، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در گام اول، L.O.I (پرت حرارتی) به تابع وارد شد که در این گام مقدار ویلکس لامبدا ۰/۰۳۵ به دست آمد که نشان‌دهنده این امر است که پرت حرارتی می‌تواند به‌خوبی تغییرات بین نمونه‌ها را نشان دهد. در گام دوم عنصر SiO<sub>2</sub> نیز وارد تابع شده است. در این مرحله مقدار ویلکس لامبدا به ۰/۰۳۴ کاهش یافت که حاکی از این است که این عنصر نیز اثر مهمی در تفکیک واحدها دارد. از خروجی‌های این جدول می‌توان نتیجه گرفت که هدر رفت حرارتی L.O.I و عنصر SiO<sub>2</sub> می‌توانند به‌عنوان منشأیاب در نظر گرفته شوند.

جدول (۴): خروجی نرم‌افزار SPSS- عناصر وارد شده در هر گام به

تابع و ضرایب ویلکس لامبدا

| Step |                           | Wilks' Lambda |
|------|---------------------------|---------------|
| ۱    | L.O.I                     | ۰/۰۳۵         |
| ۲    | L.O.I<br>SiO <sub>2</sub> | ۰/۰۳۴         |

جدول (۵): خروجی نرم‌افزار SPSS- ضرایب مربوط به عناصر

منشأیاب در تابع

|                  | Function |       |
|------------------|----------|-------|
|                  | ۱        | ۲     |
| L.O.I            | ۰/۶۳۴    | ۳/۶۱۷ |
| SiO <sub>2</sub> | -۰/۳۷۵   | ۳/۶۵۳ |



جدول (۷): سهم نمونه‌ها با استفاده از XRF در تولید رسوب حوضه

بارزو (درصد)

| کد نمونه‌ها | SiO <sub>2</sub> | L.O.I | Ps (سهم) |
|-------------|------------------|-------|----------|
| G1          | ۲۶/۲۶            | ۲۷/۸۲ | ۰/۲۱     |
| G2          | ۲۸/۶             | ۲۶/۶۱ | ۰/۰۴۷    |
| F1          | ۵۲/۲۳            | ۱۲/۸۷ | ۰/۰۳۳    |
| F2          | ۶۲/۹۳            | ۶/۵   | ۰/۰۲۷    |
| F3          | ۲۹/۴۴            | ۲۶/۳۵ | ۰/۰۴۶    |
| F4          | ۴۲/۵۱            | ۱۷/۸۱ | ۰/۰۴۲    |
| A1          | ۳۷/۰۱            | ۲۱/۳۵ | ۰/۰۴۴    |
| A2          | ۶۵/۸۱            | ۶/۲۵  | ۰/۰۲۴    |
| A3          | ۴۰/۳۷            | ۱۹/۱۸ | ۰/۰۳۸    |
| A4          | ۶۲/۶۱            | ۷/۰۴  | ۰/۰۲۹    |
| A5          | ۴۶/۹۷            | ۱۵/۱  | ۰/۰۴۵    |
| B1          | ۲۴/۰۲            | ۲۹/۵۶ | ۰/۰۴۶    |
| D1          | ۳۶/۳۹            | ۲۱/۲۵ | ۰/۰۹۲    |
| D2          | ۵۳/۹۹            | ۱۰/۸۹ | ۰/۰۸۷    |
| D3          | ۵۰/۹۸            | ۱۲/۶۱ | ۰/۰۹۲    |
| E1          | ۳۳/۸۵            | ۲۲/۸۳ | ۰/۰۹۰    |

جدول (۸): سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب با استفاده عناصر

حوضه بارزو (درصد)

| کد نمونه‌ها | (سهم هر نمونه) P <sub>s</sub> | (سهم هر زیرحوضه) P <sub>s</sub> |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------|
| A1          | ۴/۴                           | ۱۸/۳                            |
| A2          | ۲/۵                           |                                 |
| A3          | ۳/۸                           |                                 |
| A4          | ۳                             |                                 |
| A5          | ۴/۶                           |                                 |
| B1          | ۴/۶                           | ۴/۶                             |
| D1          | ۹/۳                           | ۲۷/۳                            |
| D2          | ۸/۷                           |                                 |
| D3          | ۹/۳                           |                                 |
| E1          | ۹                             | ۹                               |
| F1          | ۳/۳                           | ۱۵                              |
| F2          | ۲/۷                           |                                 |
| F3          | ۴/۷                           |                                 |
| F4          | ۴/۳                           |                                 |
| G1          | ۲۱                            | ۲۵/۸                            |
| G2          | ۴/۸                           |                                 |

جهت تعیین سهم رسوبات هر حوضه چنانچه گفته شد از دو عنصر منشأیاب استفاده شد و با استفاده از روش سعی و خطا، سهم واحدها و زیرحوضه‌ها در تولید رسوب تعیین گردید. جدول (۷) سهم هر زیرحوضه در ایجاد رسوبات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است تقریباً همه زیرحوضه‌های حوضه بارزو سهمی در رسوبدهی حوضه دارند. در این میان زیرحوضه D (زیرحوضه‌ای که روستاهای دولو، محمد درالو، شرکانلو و خلajo در آن قرار دارند) با دارا بودن ۲۷/۳ درصد از رسوبات کل حوضه، بیشترین نرخ رسوبدهی را دارد. در این زیرحوضه، دیمزارها در دامنه‌های پر شیب قرار دارند و عامل توپوگرافی در این زیرحوضه بیشترین نقش را در فرسایش دیمزارها دارد. فرسایش‌های خندقی موجود در این دامنه‌ها مبین این عامل و قدرت بالای سیلاب‌ها است. زیرحوضه G با سهم رسوب خروجی معادل ۲۵/۸ درصد از رسوبات کل حوضه، یکی دیگر از زیرحوضه‌های پر رسوب است. زیرحوضه G با دارا بودن سطحی بیش از ۵۲ درصد از سازندهای سرچشمه و سنگانه، متشکل از شیل یکنواخت با لایه‌های نازک سنگ سیلتیو ماسه‌سنگ است که این سازند از نفوذپذیری خیلی کمی برخوردار است و حساسیت زیادی به فرسایش دارد. همین‌طور نتایج حاکی از آن است که زیرحوضه F، ۱۵ درصد؛ زیرحوضه A، ۱۸/۳ درصد؛ زیرحوضه B، ۴/۶ درصد و زیرحوضه E، ۹ درصد از رسوب خروجی را تولید می‌کنند.

جدول (۸) نیز سهم واحدها در تولید رسوب با استفاده از عناصر حوضه بارزو را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که واحد شماره سه که نمونه‌های F1، F3، B1، G2 و G1 از آن گرفته شده است، ۳۵/۱ درصد از رسوب خروجی؛ واحد شماره چهار که نمونه‌های E1، F4، A3، D1 و A1 از آن گرفته شده است، ۳۰/۸ درصد از رسوب خروجی؛ واحد شماره دو که نمونه‌های F1، D3، D2 و A5 از آن گرفته شده است، ۲۵/۹ درصد از رسوب خروجی و واحد شماره یک که نمونه‌های A2، A4 و F2 از آن گرفته شده است، ۸/۲ درصد از رسوبات خروجی را تولید می‌نمایند.

جدول (۹): سهم واحدها در تولید رسوب با استفاده از عناصر حوضه

بارزو (درصد)

| کد نمونه                   | $P_s$ (سهم هر نمونه)          | شماره واحد | $P_s$ (سهم هر واحد) |
|----------------------------|-------------------------------|------------|---------------------|
| G1<br>G2<br>B1<br>F3       | ۲۱<br>۴/۸<br>۴/۶<br>۴/۷       | ۳          | ۳۵/۱                |
| A1<br>A3<br>D1<br>E1<br>F4 | ۴/۴<br>۳/۸<br>۹/۳<br>۹<br>۴/۳ | ۴          | ۳۰/۸                |
| A5<br>D2<br>D3<br>F1       | ۴/۶<br>۸/۷<br>۹/۳<br>۳/۳      | ۲          | ۲۵/۹                |
| A2<br>A4<br>F2             | ۲/۵<br>۳<br>۲/۷               | ۱          | ۸/۲                 |

مقادیر اندک رسوبدهی به دست آمده در این تحقیق برای زیرحوضه E نسبت به درصد مساحت کل حوضه نیز با مشاهدات و بررسی‌های میدانی مطابقت دارد و دلایل آن عبارت است از وجود پوشش گیاهی مناسب، اجرای عملیات آبخیزداری متعدد از قبیل عملیات بیولوژیکی و مکانیکی و شیب متوسط. لازم به ذکر است که در سایر زیرحوضه‌ها نیز عملیات آبخیزداری از قبیل بندهای گابیونی و ... صورت گرفته اما ظاهراً این سازه‌ها درست عمل نکرده و یا کارایی خود را از دست داده‌اند و نمی‌توانند به‌طور کامل رسوبات را به دام اندازند.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق هدف اصلی، استفاده از روش منشأیابی رسوبات در تعیین منشأ رسوبات رودخانه قلجق استان خراسان شمالی و سهم هر یک از زیرحوضه‌های این رودخانه در تولید رسوب بود. به همین دلیل پس از تعیین عناصر منشأ یاب، واحدهای لیتولوژیک و سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب کل حوضه بارزو تعیین شدند. در منشأیابی با استفاده از عناصر شیمیایی که در کل حوضه بارزو انجام پذیرفت عنصر  $SiO_2$  و هدر رفت حرارتی L.O.I به‌عنوان منشأیاب مشخص گردیدند. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان حوضه آبریز را به چهار واحد همگن لیتولوژیک تقسیم‌بندی کرد.

نتایج مدل‌سازی هماهنگی مناسبی با واقعیت و طبیعت زیرحوضه‌ها نشان داد. به‌طوری‌که بررسی‌های میدانی صحت نتایج روش بکار گرفته‌شده را در مورد زیرحوضه‌های رسوب خیز تأیید می‌کند.

این تحقیق کمک می‌کند ضمن مشخص شدن مناطق حساس به فرسایش، هزینه‌های تثبیت رسوب اولویت‌بندی شود و از انجام عملیات پرهزینه آبخیزداری در مناطق با حساسیت کمتر جلوگیری شود. با توجه به اینکه رسوبات این حوضه وارد مخزن سد بارزو می‌شوند، لذا پیشنهاد می‌شود که عملیات آبخیزداری به ترتیب در زیرحوضه‌های A, G, D, و F انجام شود و زیرحوضه‌های E و B که نقش قابل توجهی در انتقال رسوب ندارند در مراحل انتهایی قرار گیرند. بخصوص زیرحوضه E که از وسعت زیادی برخوردار است و عملیات آبخیزداری در آن بسیار پرهزینه خواهد بود.

در این تحقیق نشان داده شد که تقریباً همه زیرحوضه‌های حوضه بارزو در رسوبدهی حوضه سهیم هستند. در این میان زیرحوضه D با مساحت  $40/75 \text{ km}^2$  و زیرحوضه G با مساحت  $50/68 \text{ km}^2$  به ترتیب  $27/3$  درصد و  $25/8$  درصد از رسوبات کل حوضه (بیشترین نرخ رسوبدهی) را دارا هستند. زیرحوضه E با مساحت  $230/13 \text{ km}^2$  با وجود بیشترین مساحت فقط ۹ درصد یعنی کمترین مقدار رسوب خروجی را تولید می‌نماید.

زیاد بودن رسوبدهی زیرحوضه G و D نسبت به درصد مساحت کل حوضه که در این تحقیق به دست آمده است، با مشاهدات میدانی انطباق مناسبی دارد. نزدیک بودن زیرحوضه به خروجی حوضه اصلی، وجود زمین‌های کشاورزی واقع در سیلاب‌دشت رودخانه که با کوچک‌ترین روانابی خاک سطحی شسته شده و وارد رودخانه می‌شود و نبود پوشش گیاهی مناسب در زیرحوضه G؛ وجود دیمزارها که در برابر جریان آب سریعاً تبدیل به اراضی مخروطه و هزار دره می‌گردند، عامل توپوگرافی (سطح زیادی از دیمزارها شیبی بیش از ۴۰ درصد دارند که موجب فرسایش شدید خاک می‌شوند) و وجود فرسایش‌های کناری که بیشتر در قوس‌های خارجی رودخانه به چشم می‌خورد در زیرحوضه‌های G و D از عوامل اصلی زیاد بودن سهم رسوب در این زیرحوضه‌ها هستند.

9- Garrad, P. N. and Hey, R. D. (1989). "Sources of suspended and deposited sediment in a broad land river." *Earth Surface Processes and Landforms*. 14(1), 41-62.

10- Grimshaw, D. L. and Lewin, J. (1980). "Source identification for suspended sediment." *Journal of Hydrology*. 47(1-2), 151-162.

11- Mukundan, R., Radcliffe, D. E., Ritchie, J. C., Risse, L. M. and McKinley, R. A. (2010). "Sediment fingerprinting to determine the source of suspended sediment in a southern Piedmont stream." *Journal of Environmental Quality*. 39(4), 1328-37.

12- 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(2), 211-219.

13- Roddy, B. P. (2010). "The use of the sediment fingerprinting technique to quantify the different sediment sources entering the Whangapoua Estuary, North Island, in New Zealand." Thesis, University of Waikato. New Zealand.

14- Santiago, S., Thomas, R. L., McCarthy, L., Loizeau, J. L., Larbaight, G., Corvi, C., Rossel, D., Tarradlas, J. and Vernet, J. P. (1992). "Particle size characteristics of suspended and bed sediments in the Rhone River." *Hydrological Processes*. 6(2), 227-240.

15- Wall, G. J. and Walling, L. P. (1976). "Mineralogy and related parameters of fluvial suspended sediments in Northwestern Ohio." *Journal of Environmental Quality*. 5(2), 168-173.

16- Wilson, H., Cruse, R. and Burras, L. (2011). "A method to adapt watershed-scale sediment fingerprinting techniques to small-plot runoff experiments." *Journal of Soil and Water Conservation*. 66(5), 323-32

## تشکر و قدردانی

این تحقیق با پشتیبانی مالی شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، تحت قرارداد شماره ۱۰۷۲۳/۸۰ مورخ ۱۳۸۹/۶/۲۵ انجام شد. بدین‌وسیله از این شرکت تشکر و قدردانی می‌شود.

## مراجع

۱- امیری، م. (۱۳۸۳). "منشأیابی کلونیدهای رس و سیلت‌ها در ایستگاه پخش سیلاب کبودآهنگ (تاسران) با استفاده از عناصر نادر خاکی." مجموعه مقالات همایش مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، بهمن ۸۳، اراک.

۲- حکیم خانی، ش و احمدی، ح. (۱۳۸۷). "تعیین سهم زیرحوضه‌ها در تولید رسوب با استفاده از روش منشأیابی (مطالعه موردی: حوضه مرگن پلدشت، ماکو)." *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۹۵-۱۸۱، ۱(۱۵).

۳- عطاپورفرد، ع.، حکیم خانی، ش. و حسینی، م. (۱۳۸۴). "محاسبه رسوب‌دهی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز چن‌داب با استفاده از کانی‌های رسی." *مجموعه مقالات سومین همایش فرسایش و رسوب*.

۴- سلطانی، ا. (۱۳۸۹). "کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری." انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۸۲ص.

۵- نصرتی، ک. (۱۳۹۰). "منشأیابی رسوب بر اساس برآورد عدم قطعیت." *مجله پژوهش آب ایران*، سال پنجم، شماره نهم، ۶۰-۵۱.

۶- نصرتی، ک.، احمدی، ح. و شریفی، ف. (۱۳۹۱). "منشأیابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب." *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک. سال شانزدهم، شماره شصتم، ۲۲۷ - ۲۳۷.

7- 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(1), 31-52.

8- 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(4). 387-412.