



ارزیابی عناصر اصلی و سنگین آب‌های سطحی با استفاده از تحلیل آماری و نمودارهای شاخص اشباع (مطالعه موردی رودخانه ازنا استان لرستان)

سیده حدیث حسینی^۱، رامین ساریخانی^{۲*}، آرتیمس قاسمی دهنوی^۳، زینب احمدنژاد^۴ و بهروز ابراهیمی^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه لرستان.

۲- نویسنده مسئول، عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان. Sarikhani.r@lu.ac.ir

۳- عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان.

۴- دانشجوی دکتری زمین شناسی دانشگاه تبریز.

۵- کارشناس ارشد آب منطقه ای استان لرستان.

دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۳

بازنگری: ۱۳۹۶/۳/۱

پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۱۰

چکیده

در این مطالعه به بررسی کیفیت آب رودخانه ازنا بر اساس عناصر اصلی و سنگین پرداخته شده است. نتایج نشان داد، واکنش ناشی از سازندهای منطقه از عوامل کنترل کننده عناصر اصلی و سنگین در آب های سطحی منطقه است. با توجه به مطالعات آماری، اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی براساس عناصر اصلی و سنگین در منطقه مشخص شد بیشترین میزان همبستگی بین مجموع مواد جامد محلول و کلر می‌باشد و آزمون تحلیل رگرسیون خطی کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل مجموع مواد جامد محلول به عنوان متغیر مستقل همبستگی بالایی بین مواد جامد محلول با هدایت الکتریکی و کلر در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. از نظر عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه میزان عنصر کادمیوم بیش از مقدار استاندارد بین المللی است و سایر عناصر در محدوده استاندارد قرار دارند. در منطقه مورد مطالعه بالاترین همبستگی بین روی با کادمیوم و منگنز با کروم وجود دارد.

کلید واژه‌ها: کیفیت آب، کاتیون، آنیون، رگرسیون.

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین سرمایه‌ها و منابع حیاتی برای انسان و دیگر جانداران محسوب می‌شود. کیفیت منابع آب نقش مهمی در سلامت انسان دارد و مطالعه خصوصیات شیمیایی آن از اهمیت زیادی برخوردار است (Wang et al., 2015). دفع فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی به رودخانه با درمان بسیار کم و یا بدون درمان یک روش معمول در بسیاری از کشورهای در حال توسعه است که باعث نگرانی‌های جدی در مورد کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها شده است (Hadgu et al., 2014). اخیراً، آلودگی آب یک نگرانی جدی برای زندگی انسان به دلیل افزایش صنعتی شدن در جهان تبدیل شده است و رودخانه‌ها انتخاب اصلی و مسئول حمل کردن آلاینده‌ها، به خصوص در کشورهای در حال توسعه می‌باشند (Akter et al., 2014). کیفیت آب‌های سطحی تا حد زیادی تحت تأثیر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و فرایندهای بیولوژیکی مانند هوازدهی مواد معدنی سنگ، آب و هوا و مقدار بارش قرار می‌گیرد فعالیت‌های انسانی (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، رسوب جوی، جریان بازگشتی آبیاری، و غیره) همچنین

می‌تواند کیفیت آب‌های سطحی را کاهش و استفاده از آن برای مصارف شرب، صنعتی و کشاورزی مختل کنند (Ebrahimi et al., 2015). فرایندهای کنترل شیمی آب، شامل فیزیکی، شیمیایی و فرایندهای بیولوژیکی، ساختار زمین‌شناسی و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های میزبان، و همچنین فعالیت‌های انسانی مانند زباله‌های خانگی و صنعتی، استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی و انتشار آلودگی مخازن فاضلاب به طور موثر می‌تواند شیمی آب‌های سطحی را تحت تأثیر قرار دهد (Appelo and Willemsen, 1987; Liu et al., 2014). نظارت بر پارامترهای کیفیت آب سطحی به‌عنوان یکی از موثرترین روش‌های ارزیابی وضعیت زیست‌محیطی منابع آب و همچنین راه‌اندازی سیاست‌های حفاظت از محیط زیست است (Ebrahimi et al., 2015). و نمایه‌های اشباع به بررسی آب مناطق مجاور پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد پرداختند. نمودارهای ترکیبی و فشار گاز CO₂ انحلال کربناتها را تأیید کرد. Fan et al. (2010) تحلیل‌های آماری تحلیل تناظر و تحلیل مولفه اصلی را برای مشخص کردن خصوصیات آب و ارزیابی الگوی مکانی کیفیت آب

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات جغرافیایی منطقه

رودخانه ازنا در بخش‌هایی از شهرستان‌های ازنا و الیگودرز (محدوده ازنا الیگودرز) واقع در استان لرستان جاری می‌باشد. این رودخانه بین طول‌های $49^{\circ}20'$ تا $49^{\circ}5'$ شرقی و عرض‌های 33° تا $33^{\circ}50'$ شمالی واقع شده‌است. محدوده مطالعاتی ازنا الیگودرز با وسعت $2189/1$ کیلومترمربع یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بوده و در شرق استان لرستان واقع شده است (شکل ۱). در محدوده مورد مطالعه واحدهای سنگ‌شناسی دوران دوم تا چهارم رخمون دارند که از قدیم به جدید عبارتند از: فیلیت، کوارتزیت، پاراگنیس، مرمر، شیل، ماسه سنگ، همراه با توف و سنگ‌های ولکانیکی، سنگ آهک بلورین، رسوبات تفکیک‌نشده میوسن، مارن، ماسه سنگ، آهک، کنگلومرای سخت‌نشده منشأ گرفته از کنگلومرای بختیاری و آبرفت. آبرفت‌های دوران چهارم که شامل ماسه، رس، سیلت و گراول می‌باشند نیز سطح دشت را می‌پوشانند.

جمع آوری و تحلیل داده‌ها

در منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه ازنا از نظر عناصر سنگین، در یک دوره ۱۲ ماهه در سال ۹۳ نمونه‌ها برداشت و تحلیل شدند. جهت عناصر اصلی نیز در دوره مرطوب (مهر تا اسفند) و خشک (فروردین تا شهریور) طی سال‌های ۸۴ تا ۹۳ از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان استفاده گردید. مطالعات آماری تک متغیره و چند متغیره و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار (Verma)(2012) SPSS19 انجام گرفت. همچنین تفسیر و تعیین منشأ هر یک از فاکتورها براساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناختی و فرایندهای هیدروشیمیایی انجام گرفت.

استفاده کردند. تحلیل مولفه اصلی به ترتیب $85/25$ و $89/25$ درصد کل واریانس کل داده‌های شمال و غرب رودخانه را نشان داد. تحلیل متناظر نیز ایستگاه‌های شمال، شرق و غرب رودخانه را بر اساس شدت آلودگی به ترتیب به ۴، ۳ و ۴ خوشه‌بندی کرد. Fakhri et al. (2017)، با روش‌های رگرسیونی چگونگی ارتباط بین دو منبع آب دشت سلماس و دریاچه ارومیه را بررسی نمودند و ضریب تعیین بالا داشتن را شرط مناسب برای انتخاب مدل برتر دانستند. Poyraz و Taspinar (2014) در مطالعه‌ای، نمونه‌های آب از هشت نقطه متفاوت منطقه صنعتی مرمره ترکیه را برای تعیین نسبت به غلظت فلزات سنگین مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی مربوط به عناصر فلزی استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب آشامیدنی از محدوده استاندارد سازمان بهداشت جهانی WHO (2011) تجاوز نمی‌کند. با این حال در برخی نمونه‌ها غلظت مس و وانادیم در آستانه آلودگی می‌باشد که منشأ آلودگی از صنایع مختلف، تردد وسایل نقلیه، فعالیت‌های بشر و آلودگی هوا حاصل شده است. روش‌های آماری چند متغیره به‌طور گسترده‌ای در تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی برای نشان دادن منشأ آلودگی و ارتباط بین آن‌ها کاربرد فراوانی دارد که در این تحقیق بنا بر اهمیت، عناصر اصلی و سنگین در رودخانه ازنا و نقش آن‌ها در تغییر کیفیت قرار گرفته است. پارامترهای آماری محاسبه شده مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد، واریانس، چولگی و کشیدگی، خطای استاندارد داده‌های شیمیایی نمونه‌ها محاسبه گردیده است. همچنین در این مطالعه سعی بر آن شده تا با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره از جمله ضرایب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی جهت به‌دست آوردن منشأ و روابط بین عناصر برخی فلزات سنگین بررسی شود.

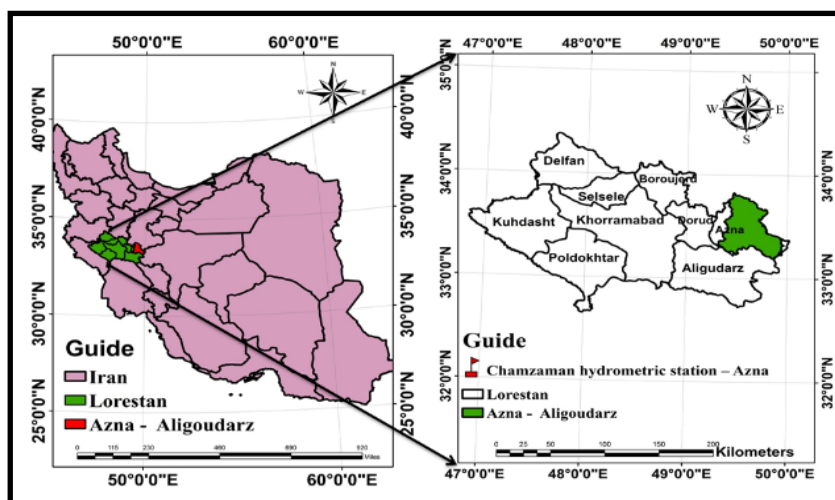


Fig 1- Location map of the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

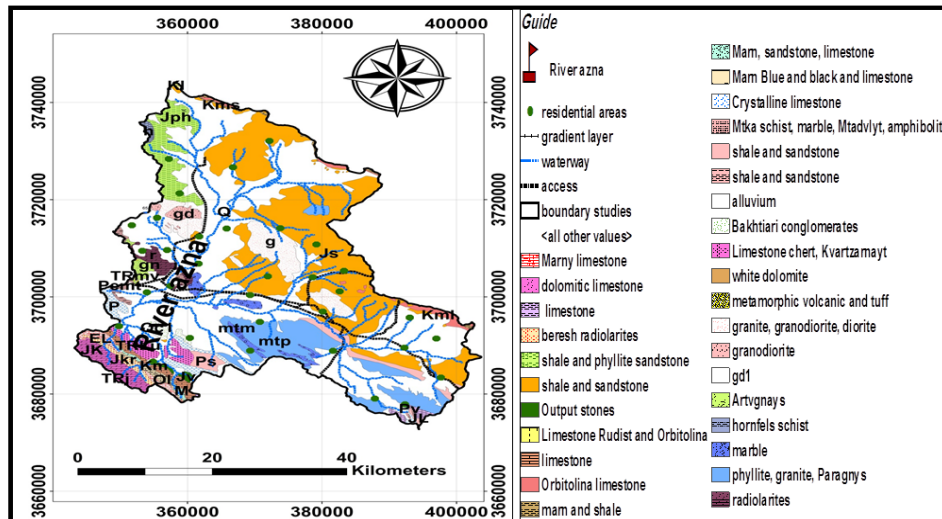
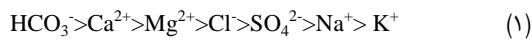


Fig 2- Geology map of the study area
 شکل ۲- موقعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



با توجه به مقادیر ذکر شده و روند کاهش فراوانی عناصر، تیپ آب بی کربناته و رخساره کلسیم- منیزیک در نمونه‌های مورد مطالعه ثابت می‌گردد. این نوع تیپ و این مقادیر مشاهده شده ناشی از تأثیرپذیری کیفیت آب رودخانه از سازندهای کربناته موجود در منطقه می‌باشد. روش‌های آماری جهت ارتباط بین عناصر سنگین و منشا آنها و تعین منشا انسان‌زاد یا زمین‌زاد از اهمیت فراوانی برخوردار است (Fakhri et al., 2017). بر همین اساس در منطقه مورد مطالعه بر اساس نتایج به دست آمده از عناصر سنگین سعی شده است منشأ و ارتباط آن‌ها با یکدیگر به دست آید. همچنین براساس تجزیه و تحلیل داده‌های عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه، عنصر آلومینیم با میانگین فراوانی ۲۲۷ درصد میلی‌گرم در لیتر، میانگین فراوانی آهن ۴۹۰ درصد میلی‌گرم در لیتر، میانگین فراوانی منگنز ۵۳۰ درصد میلی‌گرم در لیتر، میانگین فراوانی روی ۲۹۴ درصد میلی‌گرم در لیتر و میانگین فراوانی کادمیم ۰/۰۰۶۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بنابراین براساس نتایج میزان تمامی عناصر ذکر شده به غیر از کادمیوم خارج از حد استاندارد جهانی WHO (2011) نمی‌باشند. با توجه به این‌که بیشترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه سنگ‌های کربناته می‌باشد در مطالعه‌های بسیاری به رسوب‌گذاری هم‌زمان کانی‌های کربناته با برخی از فلزات مثل کادمیوم اشاره شده است (Alloway, 1995). به دلیل شعاع یونی نزدیک کلسیم و کادمیوم، کادمیوم تمایل به جانشینی در کانی‌های کربناته دارد (Papadopoulos and Rowell, 1988). همچنین کادمیوم با محتوای کربنات کلسیم، ارتباط مؤثر و مستقیم دارد. کروم با بیشینه غلظت ۳۵ درصد میلی‌گرم در لیتر، مس بیشینه غلظت ۷۵ درصد میلی‌گرم در لیتر، بور بیشینه غلظت ۵۰ درصد میلی‌گرم در لیتر و فلوئور با بیشینه غلظت ۰/۵۲۰ میلی‌گرم در لیتر و کمتر از

نتایج و بحث

توصیف آماری عناصر اصلی و سنگین

امروزه با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره و تحلیل‌های عاملی منشأ عناصر در آب تعیین می‌گردد. پارامترهای آماری محاسبه شده مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف استاندارد، واریانس، چولگی و کشیدگی، خطای استاندارد داده‌های شیمیایی، تحلیل مولفه‌های اصلی، تفکیک عاملی و همبستگی و نمودار خوشه‌ای نمونه‌ها جهت به دست آوردن منشأ و روابط بین عناصر محاسبه گردیده است. براساس نتایج به دست آمده غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها متأثر از سنگ‌های رسوبی به خصوص اهکی و سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه می‌باشد بر همین اساس و بر مبنای نتایج آماری میانگین TDS نمونه‌های آب رودخانه ازنا تقریباً برابر با ۳۴۳ میلی‌گرم بر لیتر است. مقدار میانگین EC و TH به ترتیب برابر ۵۴۲/۵ و ۱۸۱/۳ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. میانگین pH برابر با ۷/۶۸ می‌باشد. میانگین غلظت کلسیم و منیزیم نمونه‌های آب رودخانه ازنا به ترتیب برابر ۳/۱۳ و ۱/۵۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر محاسبه شد. کلراید و سولفات تقریباً غلظتی نزدیک به هم به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر دارند. از میان یون‌های عمده حداقل و حداکثر مقادیر غلظت به ترتیب مربوط به پتاسیم (۰/۰۸۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر) و بی‌کربنات (۳/۸۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر) می‌باشد. با توجه به ضریب تغییرات (انحراف استاندارد تقسیم بر میانگین) محاسبه شده غلظت یون‌های عمده مشخص می‌گردد که یون‌های کلسیم و پتاسیم، به ترتیب حداقل و حداکثر تغییرات در رودخانه ازنا را دارند. با توجه به سطح معنی‌دار ۰/۰۵ در آزمون کولموگروف - اسمیرونف (جدول ۱) همه‌ی عناصر نمونه‌برداری شده رودخانه ازنا دارای توزیع نرمال می‌باشد. براساس تحلیل عناصر اصلی، میانگین فراوانی عناصر اصلی موجود در منطقه از روند زیر تبعیت می‌کند:

می‌گیرند، لذا با این تعریف تعداد عامل‌ها برابر سه خواهد بود. در نمودار اسکری (شکل ۳) مقادیر ویژه در برابر مؤلفه‌ها رسم می‌شود که در این نمودار وجود سه عامل در نمونه‌های آب رودخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. عامل اول بیشتر تحت تأثیر املاح محلول، هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و سختی است. در عامل اول، عناصر بی‌کربنات و کلراید (از میان آنیون‌ها) و سدیم و منیزیم (از میان کاتیون‌ها) تأثیر به‌سزایی دارد. این پارامترها نشانگر کیفیت آب منطقه هستند. مؤلفه یا عامل اول با داشتن ۴۹/۳ درصد از واریانس کل بیشترین تأثیر بر کیفیت آب منطقه را دارد که این نشان‌دهنده ارتباط قوی بین مشخصه‌های عامل اول می‌باشد. وجود پارامترهای بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم در عامل اول باز هم تأکید بر تأثیر سازندهای آهکی بر کیفیت آب رودخانه دارد. همچنین پارامترهای دیگر نیز بیانگر تأثیر فرآیندهای رسوب‌گذاری و تبادل یونی در رودخانه مورد نظر می‌باشد. عامل دوم، بیشتر تحت تأثیر اسیدیته و سولفات می‌باشد و ۱۳/۴۲ از واریانس کل را شامل می‌شود. عامل سوم، بیشتر تحت تأثیر کلسیم می‌باشد. عامل سوم ۱۲/۰۲ از واریانس کل است و در نتیجه تأثیر کمتری نسبت به سایر عوامل دارد. اعمال چرخش بر روی داده‌ها، روی عامل اول تأثیر فراوانی نگذاشته اما عامل دوم بعد از اعمال چرخش بیشتر تحت تأثیر اسیدیته، سدیم و سختی می‌باشد. عامل سوم نیز بعد از اعمال چرخش تغییر نکرده و تحت تأثیر کلسیم می‌باشد. با توجه به مشخصه‌های موجود در هر عامل و منشأ آن‌ها، عامل اول، دوم و سوم مبین تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر هیدروشمی منطقه است که این اثر زمین‌زاد نامیده می‌شود. تأثیر سه عامل گفته‌شده نشان‌دهنده تعامل آب-سنگ است که این عوامل در ارتباط با انحلال و هوازگی سنگ‌های کربناته و حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم‌دار است (Ghayoumian et al., 2005). شکل (۴) مشخصه‌های مؤثر در هر عامل را در رودخانه ازنا نشان می‌دهد.

میزان قرار گرفته‌اند. با توجه به سطح معنی‌دار ۵ درصد در آزمون کولموگورف - اسمیرونف (جدول ۲) همه‌ی عناصر سنگین نمونه‌برداری شده رودخانه ازنا دارای توزیع نرمال می‌باشد. میانگین فراوانی عناصر سنگین موجود در رودخانه ازنا از روند زیر تبعیت می‌کند.

$$F > Mn > Fe > B > Cu > Zn > Al > Cr > Cd > Pb \quad (2)$$

روند مشاهده شده در بالا بیانگر غلظت بالای یون فلئور و سپس منیزیم و آهن در رودخانه مورد مطالعه می‌باشد. یون فلئور توسط فعالیت‌های معدن‌کاری، واحدهای آجرسازی و کارخانه‌های فرآوری و دیگر فعالیت‌های صنعتی در منطقه مورد مطالعه تولید می‌گردد. همچنین باریم در سنگ‌های آذرین اسیدی است که در بالادست رودخانه یافت می‌شود. آهن فلزی است که به‌عنوان آلودگی در نظر گرفته نمی‌شود اما به‌دلیل تأثیری که در جذب سایر فلزات دارد، اهمیت پیدا می‌کند. فلز آهن معمولاً منشأ طبیعی داشته و مربوط به ویژگی‌های کانی‌های بیوتیت در سنگ‌ها و زمین‌شناسی منطقه است.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های عناصر اصلی

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر داده‌ها موجب شد تا تعداد ۱۱ مؤلفه اصلی برای داده‌ها تعیین شود که جدول (۳)، ۱۱ مؤلفه اصلی و درصد تجمعی واریانس سه مؤلفه را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در جدول نشان داده شده، سه مؤلفه اول با بیش از ۷۰ درصد تغییرپذیری، جامعه آماری را توجیه می‌کنند که این سه عامل در نظر گرفته‌شده حدود ۴۹/۳ درصد تا ۷۴/۷۵ درصد از ترکیب آب را در این منطقه تحت کنترل خود دارند براساس تعداد مقادیر ویژه بیشتر از یک را به‌عنوان تعداد عامل‌ها در نظر

جدول ۱- توزیع غلظت عناصر اصلی در رودخانه ازنا (آزمون کولموگورف - اسمیرونف) (واحد عناصر بر حسب mg/l)

Table 1- Distribution of main elements' concentration in the Azna River (Kolmogorov-Smirnov test)

	TDS	pH	EC	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	TH
Kolmogorov-Smirnov Z	1.308	0.598	1.220	0.747	1.312	1.035	0.572	0.553	1.307	0.759	1.303
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.065	0.867	0.102	0.623	0.064	0.234	0.900	0.920	0.066	0.613	0.067

جدول ۲- توزیع غلظت عناصر سنگین در رودخانه ازنا (آزمون کولموگورف - اسمیرونف) (واحد عناصر بر حسب mg/l)

Table 2- Distribution of heavy metals' concentration in the Azna River (Kolmogorov-Smirnov test)

	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	B	F
Kolmogorov-Smirnov Z	1.59	0.50	1.11	0.45	0.86	0.80	0.97	0.79	1.00	0.74
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.51	0.96	0.16	0.98	0.43	0.53	0.30	0.55	0.26	0.64

جدول ۳- مقادیر ویژه برای تعیین تعداد عامل‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه

Table 3- Specific values for determining the number of factors of the main elements in the study area

	Extraction Sums of Squared Loadings			Initial Eigenvalues		
	Cumulative %	% of Variance	Total	Cumulative %	% of Variance	Total
1	49.3	49.3	5.42	49.3	49.3	5.42
2	62.72	13.42	1.47	62.72	13.42	1.47
3	74.75	12.02	1.32	74.75	12.02	1.32
4				82.65	7.90	0.87
5				89.52	6.86	0.75
6				94.44	4.92	0.54
7				97.07	2.63	0.28
8				99.59	2.51	0.27
9				99.86	0.27	0.03
10				99.98	0.114	0.013
11				100	0.017	0.002

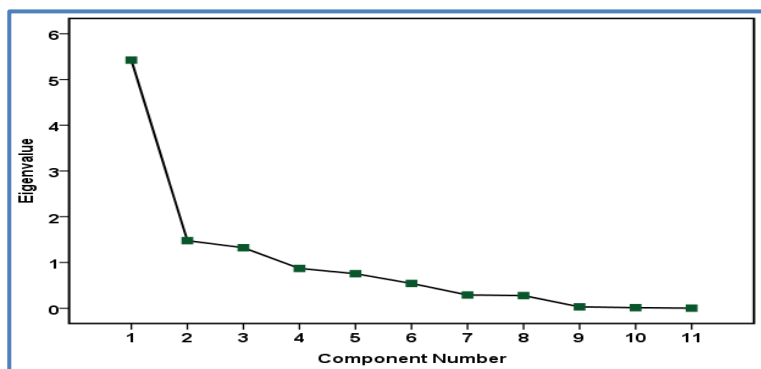


Fig 3- Scree diagram to determine the number of factors of the main elements of the study area
 شکل ۳- نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه

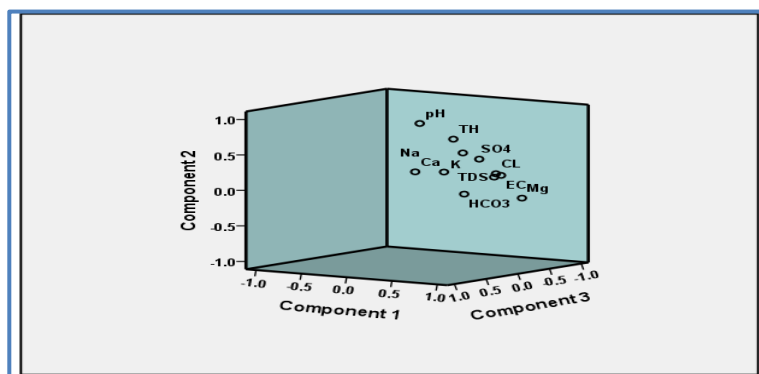


Fig 4 - Plot diagram for the main component in study area
 شکل ۴ - پلات بار مؤلفه اصلی عناصر اصلی منطقه مورد مطالعه

جامعه آماری را توجیه می‌کنند، که این چهار عامل در نظر گرفته شده حدود ۳۲/۸۸ درصد تا ۸۴/۹۰ درصد از ترکیب آب را در این منطقه تحت کنترل خود دارند (جدول ۴). در نمودار اسکری (شکل ۵) مقادیر ویژه در برابر مؤلفه‌ها رسم شد که در این نمودار وجود چهار عامل در نمونه‌های آب رودخانه ازنا را نشان می‌دهد. عامل اول بیشتر تحت تأثیر Zn، Cr، Cd، Cu، Pb و Fe است. در عامل دوم بیشترین تأثیر را عناصر B، Pb، Al و Fe دارند. عامل سوم، بیشتر تحت تأثیر Mn و Cu می‌باشد. عامل چهارم F

تحلیل مؤلفه‌های عناصر سنگین

جهت بررسی دقیق متغیرها و تأثیر آن‌ها بر سیستم و ارزیابی اثرات آن‌ها بر روی کیفیت آب مدل‌های عاملی می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (Merrikhpour and Jalali, 2015) مدل عاملی رودخانه ازنا نسبت به عناصر سنگین شامل چهار عامل و ده متغیر می‌باشد (جدول ۴). در رودخانه ازنا چهار عامل بیشترین واریانس را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج مدل عاملی نشان می‌دهد که چهار مؤلفه اول با بیش از ۸۴/۹۰ درصد تغییرپذیری،

سبب تولید آهن شود. در تمام سنگ‌های آتشفشانی روی به مقدار کم وجود دارد، همچنین فرایند جذب مهم‌ترین واکنشی است که منجر به افزایش سطح روی شده و مس نیز می‌تواند توسط اکسید آهن، منگنز آبدار و رس جذب شود. بعد از اعمال چرخش بر روی داده‌ها، عامل اول تحت تأثیر Zn، Pb و Cu است. عامل دوم تحت تأثیر Zn، Fe، Cd و B می‌باشد. عامل سوم تحت تأثیر Mn، Cd و Cr و در عامل چهارم عناصر Al و F بالاترین تأثیر را دارد. شکل (۶) مشخصه‌های مؤثر در هر عامل را در رودخانه ازنا نشان می‌دهد.

تأثیرگذار است. مؤلفه یا عامل اول با داشتن ۳۲/۸۸ درصد از واریانس کل بیشترین تأثیر منطقه را دارد، که این نشان‌دهنده ارتباط قوی بین مشخصه‌های عامل اول می‌باشد. عامل دوم، ۲۲/۵۲ از واریانس کل را شامل می‌شود. عامل سوم ۱۶/۷۷ از واریانس کل و عامل چهارم ۱۲/۷۲ درصد از واریانس کل را شامل و در نتیجه تأثیر کمتری نسبت به سایر عوامل دارد. براساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های عناصر سنگین، پارامترهای عامل اول نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی و زمین‌زاد و نیز فرایندهایی از قبیل جذب هستند. به‌گونه‌ای که فعالیت‌های انسانی می‌تواند سبب افزایش کادمیوم و سرب در منطقه و عوامل زمین‌زاد

جدول ۴- مقادیر ویژه برای تعیین تعداد عامل‌ها در عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه

Table 4 - Specific values for determining the number of factors in heavy elements in study area

	Extraction Sums of Squared Loadings			Initial Eigenvalues		
	Cumulative %	% of Variance	Total	Cumulative %	% of Variance	Total
1	32.88	32.88	3.28	32.88	32.88	3.28
2	55.40	22.52	2.25	55.40	22.52	2.25
3	72.18	16.77	1.67	72.10	16.77	1.67
4	84.90	12.72	1.27	84.90	12.72	1.27
5				91.12	6.22	0.62
6				96.12	4.99	0.50
7				98.91	2.78	0.27
8				99.66	0.75	0.075
9				99.96	0.30	0.031
10				100	0.032	0.003

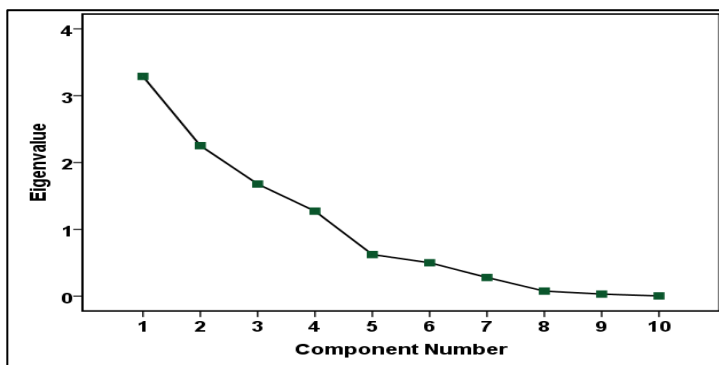


Fig 5- Scree diagram to determine the number of factors of the heavy metals of the study area

شکل ۵- نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

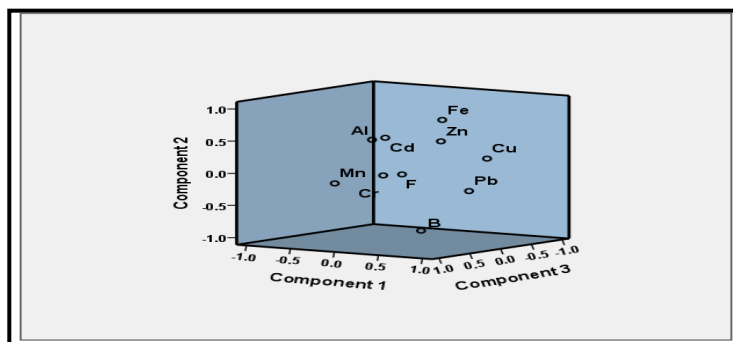


Fig 6 - Plot diagram for the heavy metals in study area

شکل ۶ - پلات بار مؤلفه اصلی عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

همبستگی و تحلیل خوشه‌ای

تحلیل ضریب همبستگی دو متغیر برای توصیف ارتباط جفت پارامترهای هیدروشیمیایی به کار برده شده است. همبستگی‌ها نشان‌دهنده تشابه حل شدن یون‌ها می‌باشد و این امر می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی از منابع یکسان باشد. ضریب همبستگی (R) بالا (+۱ یا -۱) به معنی همبستگی خوب بین دو جفت متغیر می‌باشد و مقادیر نزدیک به صفر بیانگر عدم ارتباط بین دو متغیر در یک سطح معنی دار $P < 0.05$ است. به طور صریح می‌توان گفت پارامترهایی با $R > 0.7$ نشان می‌دهند، به صورت همبستگی قوی، $0.5 < r < 0.7$ همبستگی متوسط و $R < 0.5$ همبستگی ضعیف می‌باشند (Oinam, 2012). اولین گام در تحلیل عاملی تهیه یک ماتریس ضرایب همبستگی از تمام متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به جدول (۵) بیشترین میزان همبستگی بین مجموع املاح محلول و کلر مشاهده می‌گردد. هم‌چنین همبستگی بین TDS با بی‌کربنات و منیزیم بالا می‌باشد. همبستگی خوبی نیز بین یون‌های منیزیم و کلر و همین‌طور بی‌کربنات و کلسیم وجود دارد. همبستگی مناسبی نیز بین سدیم با کلر و بی‌کربنات با منیزیم وجود دارد. روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی روشی مناسب برای تحلیل داده‌های نمونه‌های آبی هستند که برای ارزیابی داده‌های کیفی آب و امکان گروه‌بندی هیدروشیمیایی نمونه‌ها به کار برده می‌شوند و از نقطه نظر آماری در هیدرولوژی و زمین‌شناسی دارای اهمیت خاصی هستند (Zhang et al., 2012). با توجه به نمودار خوشه‌ای ترسیم‌شده (شکل ۷) پارامترها در چهار خوشه: SO_4^{2-} و pH خوشه اول، K^+ خوشه دوم، Ca^{+2} خوشه سوم و TDS، EC، Cl، Mg^{2+} ، HCO_3^- ، Na^+ و TH در خوشه چهارم قرار می‌گیرند. اختلاف چهار خوشه در CA به عواملی مثل جنس سازند و سنگ برمی‌گردد که خوشه اول مربوط به ژئیس، خوشه دوم مربوط به شیسست و سازندهای تخییری، خوشه سوم مربوط به کلسیت، دولومیت، سنگ‌های کربناته، خوشه چهارم مربوط به دولومیت، مارن، رس، سنگ‌های کربناته، شیسست، دیوریت و رس می‌باشد. قرار گرفتن TDS و EC در یک خوشه (خوشه چهارم) ارتباط

نزدیک این دو را تأیید می‌کند، همان‌طور که در فرمول زیر هم این ارتباط مشاهده می‌شود:

$$TDS = 0.64 EC \quad (3)$$

هم‌چنین با توجه به جدول (۶) ارتباط معنی‌دار مثبتی بین روی با کادمیوم و روی با مس وجود دارد. همبستگی خوبی بین روی با سرب و هم‌چنین روی با کروم وجود دارد. میزان همبستگی خوبی نیز بین سرب با مس است. بین آهن با روی و هم‌چنین آهن با مس همبستگی وجود دارد. همبستگی منفی بین آلومینیم با سرب و نیز همبستگی منفی بالا بین آهن با بور وجود دارد. میزان همبستگی مثبت می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی از منابع یکسان و رفتار ژئوشیمیایی یکسان عناصر نامبرده باشد. شکل (۸) نتیجه تحلیل خوشه‌ای رودخانه ازنا براساس عناصر سنگین را نشان می‌دهد. خوشه‌های مختلف در هر نمودار خوشه‌ای نشان‌دهنده یک حالت هیدروژئوشیمی مشابه از آب رودخانه است. هر یک از این خوشه‌ها در سطح پایین‌تر به دسته‌های ریزتر تقسیم می‌گردند با توجه به شکل (۸) عناصر سنگین در سه گروه قرار گرفته‌اند. گروه اول شامل چهار زیر گروه: زیر گروه اول شامل عناصر Mn و Cr زیر گروه دوم شامل Pb و Cu زیر گروه سوم شامل عناصر Zn و Cd و زیر گروه چهارم شامل Fe است. گروه دوم شامل Al و F می‌باشد. گروه سوم شامل یک عضو B است. عناصری که در یک گروه قرار می‌گیرند میزان شباهت درون گروهی بیشتری با هم دارند. در روش خوشه‌بندی گروه‌هایی که دارای طول زیر شاخه کوتاه هستند بیانگر تشابه میان گروهی است. گروه‌هایی که دارای طول زیر شاخه بلندتر باشند، مشابهت میان گروهی آن‌ها نیز ناچیز است. همان‌طور که دیده می‌شود از گروه اول تا سوم طول زیر شاخه در حال افزایش است که این حاکی از افزایش تفاوت‌های بین گروهی است. براساس شکل (۸) بیشترین شباهت را Mn و Cr نشان می‌دهند. قرارگیری عناصر در خوشه‌های یکسان نشان‌دهنده منابع آلودگی و رفتار ژئوشیمیایی یکسان عناصر نام‌برده می‌باشد.

جدول ۵ - ماتریس همبستگی عناصر اصلی در نمونه‌های رودخانه ازنا

Table 5 - Correlation matrix of main elements in Azna River samples

	TDS	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	TH
TDS	1									
pH	0.20	1								
HCO ₃	0.76	-0.06	1							
Cl	0.88	0.19	0.56	1						
SO ₄	0.08	0.19	-0.15	0.13	1					
Ca	0.52	0.08	0.66	0.34	-0.03	1				
Mg	0.71	-0.04	0.59	0.64	0.37	0.02	1			
Na	0.47	0.28	0.52	0.59	0.25	0.37	0.33	1		
K	0.45	0.17	0.34	0.57	0.03	0.32	0.20	0.35	1	
TH	0.59	0.51	0.44	0.48	0.19	0.43	0.29	0.54	0.21	1

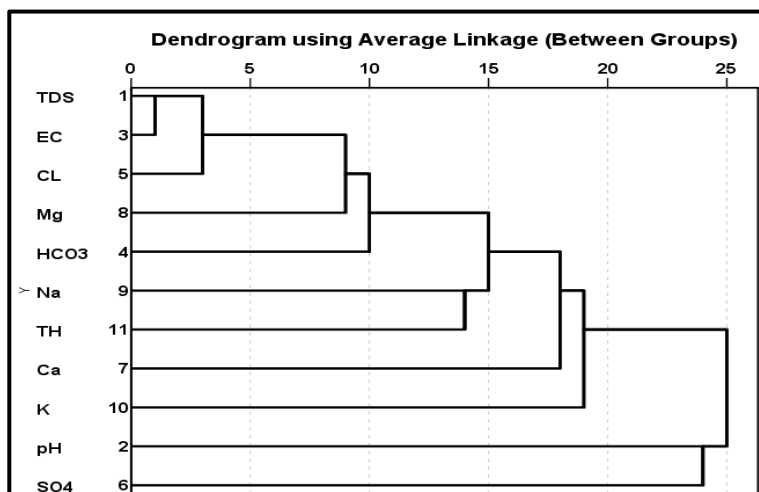


Fig 7 - The cluster analysis of the main elements of study area

شکل ۷ - تحلیل خوشه‌ای عناصر اصلی منطقه مورد مطالعه

جدول ۶- ماتریس همبستگی عناصر سنگین در نمونه‌های رودخانه ازنا

Table 6 -Correlation matrix of heavy metals in Azna River samples

	Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	B	F
Al	1									
Fe	0.35	1								
Mn	-0.19	-0.18	1							
Zn	-0.20	0.50	0.11	1						
Pb	-0.54	0.12	0.055	0.52	1					
Cd	0.14	0.23	0.24	0.73	0.18	1				
Cr	-0.089	0.12	0.74	0.56	0.49	0.44	1			
Cu	-0.18	0.52	-0.18	0.62	0.56	0.037	0.27	1		
B	-0.33	-0.48	-0.047	-0.34	0.37	-0.46	0.023	-0.11	1	
F	0.21	0.18	0.10	0.073	0.068	-0.027	0.23	0.16	0.010	1

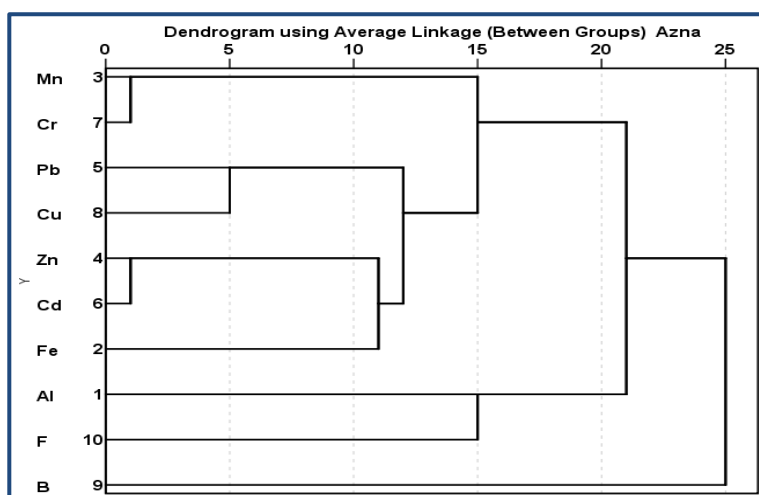


Fig 8 - The cluster analysis of the heavy metals of study area

شکل ۸- تحلیل خوشه‌ای عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه

اشباع، فرایندهای ژئوشیمیایی حاکم بر منطقه مورد مطالعه به‌طور کلی معرفی می‌گردند. رابطه بین شاخص اشباع و اکتیویته یون‌ها به صورت زیر است:

نمایه‌های اشباع

نمایه اشباع برای تعیین حالت تعادل آب مفید است (Parkhurst and Appelo, 1999). با بررسی نمایه‌های

تا شهرپور) و مرطوب (مهر تا اسفند) محاسبه گردیده است (جداول ۷ و ۸). همه نمونه‌های رودخانه مورد مطالعه نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع می‌باشند، درحالی‌که نسبت به ژئیس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می‌باشند. بالا بودن اندیس‌های اشباع دولومیت نسبت به کلسیت نشان از انحلال بیشتر کانی‌های دولومیت نسبت به کلسیت در طول مسیر حرکت آب رودخانه ازنا دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در نتیجه فرآیندهای مذکور را می‌توان به‌عنوان عوامل مؤثر بر ترکیب آب در محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت.

$$SI = \log \left[\frac{IAP}{K_{SP}} \right] \quad (۴)$$

K_{SP} حاصل ضرب انحلال نامیده می‌شود و در واقع ثابت تعادل می‌باشد. در حالت تعادل IAP برابر با K_{SP} بوده و نمایه اشباع برابر با صفر می‌شود. چنانچه SI منفی باشد محلول تحت‌اشباع و در حالت فوق اشباع مقدار SI بزرگتر از صفر است. مقادیر نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت، هالیت، آراگونیت، انیدریت و ژئیس نمونه‌های رودخانه مورد مطالعه از نتایج مدل‌سازی ژئوشیمیایی با استفاده از کد کامپیوتری فرکیوسی (Parkhurst and Appelo, 1999) در دوره خشک (فروردین

جدول ۷- نمایه‌های اشباع رودخانه ازنا دوره خشک

Table 7 - Azna River saturation index in Dry period

Anhydride	Aragonite	Calcite	CO ₂ (g)	Dolomite	Gypsum	Halite	Sample(Azna river-dry season)
-2.74	0.40	0.55	-2.50	0.95	-2.5	-8.87	84
-2.40	0.29	0.44	-2.51	0.56	-2.16	-9.19	85
-2.67	0.12	0.27	-2.03	0.49	-2.45	-9.06	86
-2.04	0.62	0.76	-2.55	1.57	-1.82	-8.41	87
-2.57	0.51	0.65	-2.76	0.73	-2.35	-8.99	88
-2.88	1.17	1.32	-3.18	2.24	-2.66	-7.89	89
-2.70	0.78	0.92	-2.63	1.23	-2.48	-8.84	90
-2.27	0.14	0.30	-2.23	0.53	-2.01	-7.50	91
-2.12	0.31	0.46	-2.14	0.51	-1.86	-7.51	92
-2.57	1.01	1.16	-2.50	2.02	-2.33	-8.28	93

جدول ۸- نمایه‌های اشباع رودخانه ازنا دوره مرطوب

Table 8 - Azna River saturation index in wet period

Anhydride	Aragonite	Calcite	CO ₂ (g)	Dolomite	Gypsum	Halite	Sample(Azna river-wet season)
-2.74	0.16	0.31	-2.01	0.57	-2.52	-9.13	84
-2.53	0.15	0.30	-2.21	0.47	-2.31	-8.98	85
-2.86	0.42	0.57	-2.56	0.31	-2.61	-9.68	86
-3.12	0.54	0.69	-2.44	1.12	-2.89	-9.13	87
-2.24	0.52	0.66	-2.49	1.17	-2.02	-7.71	88
-2.42	0.48	0.63	-2.72	0.74	-2.20	-8.64	89
-2.82	0.72	0.87	-2.79	1.65	-2.59	-8.34	90
-2.60	0.47	0.63	-2.96	0.54	-2.35	-8.14	91
-2.72	0.42	0.57	-2.48	0.33	-2.48	-8.66	92
-2.31	0.23	0.37	-2.12	0.55	-2.08	-8.18	93

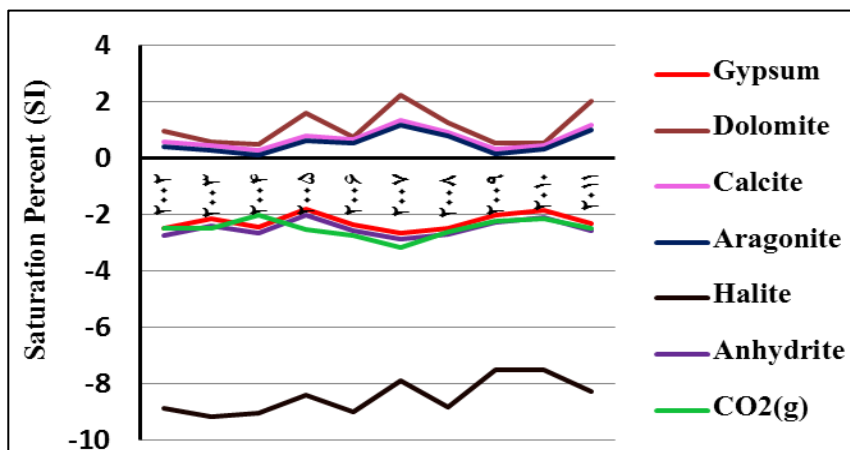


Fig 9- Changes diagram of saturation indexes in dry period

شکل ۹- نمودار تغییرات نمایه‌های اشباع دوره خشک

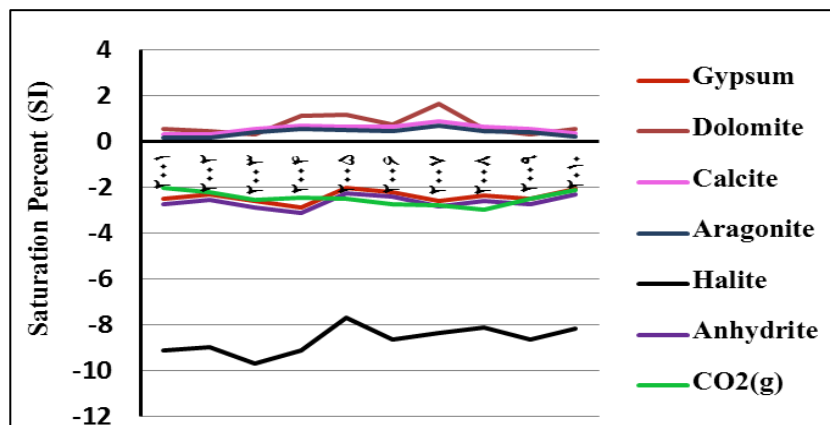


Fig 10- Changes diagram of saturation indexes in wet period

شکل ۱۰- نمودار تغییرات نمایه‌های اشباع دوره مرطوب

HCO_3^- است که تأثیرگذاری سازندهای آهکی بر کیفیت آب رودخانه را تأیید می‌نماید و بیانگر این مطلب است که بیشترین تأثیر در ترکیب آب رودخانه ناشی از فرایندهای انحلال، رسوب‌گذاری و تبادل یونی است. در رودخانه از پارامترها در چهار خوشه: SO_4^{2-} و pH خوشه اول، K^+ خوشه دوم، Ca^{2+} خوشه سوم و TDS ، EC ، Cl^- ، Mg^{2+} ، HCO_3^- ، Na^+ و TH در خوشه چهارم قرار می‌گیرند. خوشه‌های مذکور نیز به‌طور کلی کربناته بودن آب منطقه و اثرپذیری کیفیت رودخانه از سازندها را بیان می‌دارند. آزمون تحلیل رگرسیون در رودخانه مورد مطالعه، همبستگی بالایی بین TDS با EC نشان می‌دهد. همچنین رودخانه مورد مطالعه نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع می‌باشد، در حالی که نسبت به ژئپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع است. از نظر عناصر سنگین، در رودخانه ازنا فلوتور و باریم بیشترین درصد عناصر سنگین را به خود اختصاص داده‌اند و در مراتب بعدی Mn و Fe است. سرب کمترین غلظت را در رودخانه ازنا به خود اختصاص داده است. به‌طوریکه فعالیت‌های

نتیجه‌گیری

رودخانه ازنا، رودخانه دائمی که شرایط لازم برای تأثیرپذیری از سازندهای اطراف را دارد. تأثیرگذاری سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، سنگ‌ها و فاکتورهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب رودخانه با نتایج تحلیل شیمیایی آب رودخانه منطقه مورد مطالعه منطبق است. با توجه به مطالعه‌های آماری عناصر اصلی، یون‌های کلسیم و پتاسیم، به‌ترتیب، حداقل و حداکثر تغییرات در رودخانه ازنا را دارا می‌باشند. در رودخانه ازنا، بالاترین میزان همبستگی بین مجموع مواد جامد محلول و کلر مشاهده می‌گردد. همچنین همبستگی بین TDS با بیکربنات و منیزیم بالا می‌باشد. با توجه به وجود بارز سازندهای کربناته در منطقه، مقادیر مذکور قابل انتظار هستند. در منطقه مورد مطالعه، تحلیل عاملی با استفاده از نمودار اسکری وجود سه عامل و یازده متغیر را در نمونه‌های آب رودخانه ازنا نشان می‌دهد؛ عامل اول با داشتن ۴۹/۳ درصد از واریانس کل بیشترین تأثیر بر کیفیت آب منطقه را دارد. این عامل شامل پارامترهای EC ، TDS ، Cl^- ، Mg^{2+}

WHO به‌جز غلظت کادمیوم در محدوده سازمان بهداشت جهانی (2011) است. در رودخانه ازنا ارتباط معنی‌دار مثبتی بین روی با کادمیوم و روی با مس وجود دارد. نمودار اسکری رودخانه ازنا وجود چهار عامل را در نمونه‌های عناصر سنگین نشان می‌دهد. عامل اول با داشتن ۳۲/۸۸ درصد از واریانس کل بیشترین تأثیر در منطقه را دارد که این نشان‌دهنده ارتباط قوی بین مشخصه‌های عامل اول می‌باشد. این عامل شامل Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Fe است که متأثر از فعالیت‌های انسانی و زمین‌زاد و نیز فرایندهایی از قبیل جذب هستند. به‌عنوان مثال مس می‌تواند توسط اکسید آهن و منگنز آبدار و رس جذب شود. با توجه به نمودار خوشه‌ای عناصر سنگین رودخانه ازنا در سه گروه قرار گرفته‌اند. گروه اول شامل چهار زیر گروه: زیر گروه اول شامل عناصر Mn و Cr، زیر گروه دوم شامل Cu و Pb، زیر گروه سوم شامل عناصر Zn و Cd و زیر گروه چهارم شامل Fe است. گروه دوم شامل Al و F می‌باشد. گروه سوم شامل یک عضو B است. فرارگیری این عناصر در خوشه‌های یکسان به‌دلیل رفتار ژئوشیمیایی یکسان آن‌ها می‌باشد.

معدنی و صنایع آجر و صنایع دیگر باعث افزایش فلوئوریت در رودخانه منطقه مورد مطالعه شده است. باریم در سنگ‌های آذرین اسیدی یافت می‌شود. آهن فلزی است که معمولاً منشأ طبیعی داشته و مربوط به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه و سنگ‌های آذرین منطقه است. میزان عنصر کادمیوم رودخانه مذکور بیش از مقدار استاندارد بین المللی می‌باشد و سایر عناصر در محدوده استاندارد قرار دارند. در مطالعات بسیاری به رسوب‌گذاری هم‌زمان کانی‌های کربناته با برخی از فلزات مثل کادمیوم اشاره شده است. بیشترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه سنگ‌های کربناته می‌باشد که از جمله دلایل بالا بودن میزان کادمیوم منطقه است. علاوه بر این استفاده بیش از حد از کودهای کشاورزی و وارد شدن آب‌های آبیاری به رودخانه‌های مورد مطالعه و همچنین تخلیه فاضلاب‌های شهری به رودخانه‌های مذکور سبب بالا رفتن غلظت عنصر مورد نظر می‌گردد. با توجه به آزمون کولوموگراف - اسمیرونف همی عناصر سنگین نمونه‌برداری شده رودخانه ازنا دارای توزیع نرمال می‌باشد. در این رودخانه همه عناصر سنگین

References

- 1- Akter, M., Sikder, T., Atique Ullah, AKM. 2014. Water quality assessment of an industrial zone polluted aquatic body in Dhaka, Bangladesh. *American Journal of Environmental Protection*, 3(5): pp.232-237.
- 2- Alloway, B.J.1995. *Heavy Metals in Soils*. 2nd edn. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- 3- Appelo, CAJ and Willemssen, A. 1987. Geochemical calculations and observations on salt water intrusions, I. A combined geochemical/mixing cell model. *Journal of Hydrology*, 94(3), pp.313-330.
- 4- Ebrahimi, M., Nematollahi, M. Moradian, A. Adineh, S. and Esmaeili, R. 2015. Surface water quality assessment in Gilan Province, Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 6(5), pp.269-280.
- 5- Fakhri, M.S., Barzegar, R., Moghaddam, A.A., Tziritis, E., and Soltani, S., 2017. Identification of hydrogeochemical processes and pollution sources of groundwater resources in the Marand plain, northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 76(7), p.297. (In Persian).
- 6- Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z. and Zhang, H. 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 2, pp.1220-1234.
- 7- Ghayoumian, J., Hosseinipour, H., Ghassemi, A. and Peyrovan, H., 2005. Application of Multivariate Analysis in Hydrogeochemical Analysis in Sarchahan, Hormozgan, The 9th Conference of the Iranian Geological Society, Tehran, Iran (In Persian).
- 8- Hadgu, L.T., Nyadawa, M.O., Mwangi, J.K., Kibetu, P.M., Mehari, B.B. 2014. Application of Water Quality Model QUAL2K to Model the Dispersion of Pollutants in River Ndarugu, Kenya. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering* 3, pp.162-169.
- 9- Liu, F., Song, X., Yang, L., Zhang, Y., Han, D. Ma, Y. and Bu, H. 2014. Identifying the origin and geochemical evolution of groundwater using hydrochemistry and stable isotopes in Subei Lake Basin, Ordos energy base, Northwestern China. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 11(5), pp.5709-5745.

- 10-Merrikhpour, H., and Jalali, M. 2015. Geostatistical assessment of solid-liquid distribution coefficients (K_d) for Cd, Cu, Pb and Zn in surface soils of Hamedan, Iran. *Model Earth System Environment* 1(4), pp.1-9.
- 11-Oinam, J. D., Ramanathan, A. L. and Jayalakshmi, S. G. 2012. Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphaland Thoubal district of Manipur, India. *Journal of Asian Earth Science* 48, pp.136-149.
- 12-Papadopoulos, P., Rowell, D.L. 1988. The reactions of Cadmium with calcium-carbonate surfaces. *Soil Science*. 39, pp:23-36.
- 13-Parkhurst, D.L., Appelo, C.A. 1999. PHREEQC (c.2) – A computer program for speciation, Batch-reaction, One-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, U. S. Geological survey.
- 14- Poyraz, B., and Taspinar, F. 2014. Analysis, Assessment and Principal Component Analysis of Heavy Metals in Drinking Waters of Industrialized Region of Turkey. *Int. Journal Environmental Research*, 8(4),pp.1261-1270.
- 15-Tajbakhshian,M., Gharaiie,M., Mahboubi,A., Mousavi Herami, R. and Jalali,A., 2015. Hydrogeochemical assessment of groundwater around of haseminejad refinery with composite diagrams and saturated index, *Journal of Earth Sciences*,97,pp71-84. (In Persian).
- 16-Verma, J.P., 2012. Data analysis in management with SPSS software. *Springer Science & Business Media*, p.347.
- 17-Wang, Z.Y., Lee, J.H. and Melching, C.S., 2015. Water quality management. In *River Dynamics and Integrated River Management*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 555-631.
- 18-WHO, 2011. Guidelines for drinking water quality, 4th ed., Recommendations, *World Health Organization*, Geneva.,pp. 1-4.
- 19-Zhang, B., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Tang, C. H., Yu,Y. and Ma, Y. 2012. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. *Water Research* ,46, pp.2737-2748.