



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی

عنوان

ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه
حبله‌رود (از سرشاخه نمرود تا دلیچای) در استان سمنان

فریده حیدرپور

استاد راهنما

دکتر بهناز دهرآزما

استاد مشاور

دکتر حبیب‌الله قاسمی

بهمن ۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهندگان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

همچنین از خواهران، برادران و علمیرضاخواهرزاده عزیزم سپاسگزارم.

شکر و قدردانی

سپاس بی کران پروردگار یکبارگه هستی مان بخشد و به طریق علم و دانش رهنمونان شد و به بهشتی رحروان علم و دانش مفتخران نمود و خوشحیی از علم و معرفت را روزی مان ساخت.

از حیات های ملی و بحکاری های بی دریغ سازمان حفاظت محیط زیست استان سمنان در جت پیشرو اهداف پژوهشی این تحقیق کمال شکر را دارم. از ریاست محترم سازمان حفاظت محیط زیست استان سمنان، جناب آقای مهندس طهرانی و همچنین از آقایان مهندس قدالی، مهندس فرهنگ و سرکار خانم جنتی و طالب کمال شکر و قدردانی را دارم.

نبی توانم معنایی بالاتر از تقدیر و شکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استاد ابراهیم سرکار خانم دکتر بهناز و حرآما آشکار نمایم که هر چه گویم و سرایم کم گفته ام. از جناب آقای دکتر حبیب الله قاسمی که مشاوره این پژوهش را بر عهده داشته اند و در این راه زحمات بسیاری را تحمل شدند قدردانی می نمایم. امید آنکه توانسته باشم گوشه ای از زحمات آن عزیزان را جبران نمایم.

از تمامی اساتید بزرگوار دانشکده، جناب آقایان دکتر کریمی، دکتر حافظی مقدس، دکتر جعفری، دکتر کاظمی، دکتر صادقیان، دکتر طاهری، دکتر قشلاقی، دکتر احسانی، دکتر رمضان و کارشناسان محترم، جناب آقایان مهندس خاضعی زاده و میر باقری و سرکار خانم مهندس فارسی و مهندس سعیدی شکر و قدردانی می نمایم.

از مسئولین خوابگاه خانم باجلالی، نوروزی، قاضی، غلامی، منقری و عباسی تقدیر و شکر می نمایم. در نهایت برای دوستان مهربان و بهکلاسی های خوبم که همواره در طول این دوره مرایاری کردند به خصوص خانم های اعصابی اتاق ۱۰۸ نسترن (حیات الغیب، آتش سودا، ساگری، حسینی، خراسانی، اهنری، ابراهیمی) و دوستان، عبدالمی، بردبار، اسماعیلی، کاظمی، رستمی، فتحی، علیراده، آذینکان، غیورانه، امیری، ساکی، لیکلی، کسلخ، و آقایان جوهری، کرانیان، حسین زاده و نظری بهترین ها آرزوی کنم.

چکیده

رودخانه حبله رود یکی از مهمترین رودخانه‌های استان سمنان است که سه شاخه نم‌رود، گورسفید و دلیچای این رودخانه را تغذیه می‌کنند. در این مطالعه سعی شده است که غلظت فلزات سنگین (سرب، روی، مس، آهن، کروم، نیکل و کادمیوم) در آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله رود (از سرشاخه نم‌رود تا دلیچای) مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. به این منظور برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی، تعیین غلظت کاتیون‌ها، آنیون‌ها و فلزات سنگین، ۱۵ نمونه آب و ۱۵ نمونه رسوب برداشت گردید. از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دارای رخنمون سنگهای رسوبی سنوزویک و مزوزویک می‌باشد. نتایج بررسی کیفیت آب نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه حبله رود (از سرشاخه نم‌رود تا دلیچای) بیشتر تحت تأثیر واحدهای کربناته و تبخیری منطقه قرار دارد. تیپ آب رودخانه حبله رود بی‌کربناته و رخساره آن کلسیک و منیزیک بدست آمد و آب رودخانه حبله رود از نظر سختی در رده آب‌های کاملاً سخت قرار دارد. pH آب رودخانه قلیایی، و از نظر شرب در محدوده قابل قبول و از نظر کشاورزی در گروه‌های خوب و متوسط قرار می‌گیرد. آب رودخانه نسبت به کانیهای کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع و نسبت به ژپس و هالیت تحت اشباع می‌باشد. نتایج آنالیز فلزات سنگین در آب رودخانه نشان داد که از بین عناصر مورد بررسی (سرب، روی، مس، آهن، کروم، نیکل و کادمیوم) میزان سرب در برخی ایستگاه‌ها بالاتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO 2011) می‌باشد. مطالعات رسوب‌شناسی نشان داد که بافت رسوبات از گراول تا ماسه گلی در طول رودخانه در حال تغییر است. متوسط مواد آلی و کربنات کلسیم در رسوبات به ترتیب ۰/۹۳٪ و ۳/۱۳٪ می‌باشد. میزان سرب و کادمیوم در رسوبات رودخانه حبله رود بالاتر از میانگین این عناصر در رسوبات جهانی می‌باشد. ضریب غنی‌شدگی محاسبه شده برای عناصر مورد بررسی نشان داد که عناصر سرب و کادمیوم دارای غنی‌شدگی بیشتری نسبت به سایر عناصر می‌باشند. شاخص زمین‌انباشتگی کادمیوم در رسوبات آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. محاسبه ضریب آلودگی، آلودگی متوسط سرب و آلودگی قابل توجه کادمیوم در رسوبات را نشان می‌دهد. با توجه به درجه آلودگی اصلاح شده، رسوبات رودخانه حبله رود غیرآلوده تا آلودگی اندک را نشان می‌دهند. بر اساس محاسبه شاخص بار آلودگی، رسوبات رودخانه حبله رود آلوده نیستند. شاخص کیفیت رسوب نشان داد که غلظت عناصر مورد بررسی در رسوبات به حد احتمالی تأثیرگذاری بر موجودات کفزی نرسیده‌اند. تحلیل آماری (PCA) نشان داد که منشأ عناصر مس، آهن، کادمیوم، کروم عمدتاً طبیعی و منشأ عناصر سرب و روی عمدتاً انسان‌زاد می‌باشد.

کلید واژه: رودخانه حبله رود، آلودگی، آب، رسوب، فلزات سنگین، سمنان

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- بیان مسئله.....	۳
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۳
۴-۱- اهداف تحقیق.....	۴
۵-۱- روش تحقیق.....	۵
۶-۱- خصوصیات منطقه مورد مطالعه.....	۵
۱-۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۵
۱-۶-۱- حوضه آبریز حبله رود.....	۶
۱-۶-۳- شرایط آب و هوایی.....	۷
۱-۶-۴- کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه.....	۸
۹-۱- پیکربندی پایان نامه.....	۹

فصل دوم: زمین شناسی

۱-۲- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- زمین شناسی منطقه.....	۱۲
۳-۲- چینه نگاری منطقه مورد مطالعه.....	۱۳
۱-۳-۲- سنگهای رسوبی مزوزوئیک.....	۱۳
۱-۳-۲-۱- سازند شمشک (Js).....	۱۳
۱-۳-۲-۲- سازند لار (Jl).....	۱۵
۱-۳-۲-۳- رسوبات آهکی کرتاسه فوقانی (K2).....	۱۵
۲-۳-۲- سنگهای رسوبی سنوزوئیک.....	۱۶
۱-۳-۲-۱- سازند فجن (PEf).....	۱۶
۲-۳-۲-۲- سازند کرج (E_k).....	۱۸
۲-۳-۲-۳- واحد سنگهای مارنی ائوسن (Em).....	۱۸
۲-۳-۲-۴- واحد ماسه سنگی - مارنی و مارن ماسه ای ائوسن (Sm).....	۱۹
۲-۳-۲-۵- واحد تبخیری ائوسن (Eog).....	۱۹
۲-۳-۲-۶- سازند قم (OMq).....	۱۹
۲-۳-۲-۷- سازند قرمز فوقانی.....	۲۰
۲-۳-۲-۸- سری قاره ای پلیوسن (Plc).....	۲۲
۲-۳-۲-۹- نهشته های کواترنری و رسوبات آبرفتی.....	۲۲

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

۱-۳- مقدمه.....	۲۶
۲-۳- عوامل موثر در تحرک عناصر سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه.....	۲۷
۲-۳-۱- Eh-pH.....	۲۷
۲-۳-۲- مواد آلی.....	۲۸

۲۹	۳-۲-۳- بافت رسوب.....
۲۹	۴-۲-۳- پتانسیل یونی.....
۳۰	۳-۳- پیشینه تحقیق در ایران.....
۳۱	۴-۳- پیشینه تحقیق در جهان.....
۳۴	۳-۳-۳- مطالعات انجام گرفته در محدوده مورد مطالعه.....

فصل چهارم: مواد و روشها

۳۸	۴-۱- مقدمه.....
۳۸	۴-۲- تعیین ایستگاههای نمونه برداری آب و رسوب.....
۳۹	۴-۳- نمونه برداری و آماده سازی نمونه های رسوب و آب.....
۳۹	۴-۳-۱- نمونه های رسوب منطقه.....
۴۰	۴-۳-۲- نمونه های آب منطقه.....
۴۰	۴-۴- دانه بندی رسوبات.....
۴۱	۴-۵- تعیین PH.....
۴۱	۴-۵-۱- رسوبات.....
۴۱	۴-۵-۲- آب.....
۴۱	۴-۶- اندازه گیری مواد آلی رسوب.....
۴۲	۴-۷- اندازه گیری میزان کربنات کلسیم رسوبات.....
۴۲	۴-۸- تعیین EC.....
۴۲	۴-۸-۱- رسوب.....
۴۳	۴-۸-۲- آب.....
۴۳	۴-۹- تعیین غلظت فلزات سنگین.....
۴۴	۴-۱۰- تعیین غلظت آنیون ها و کاتیون ها و سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه های آب.....
۴۴	۴-۱۱- ارزیابی آلودگی در آب و رسوب رودخانه.....

فصل پنجم: کیفیت آب و رسوبات رودخانه حبله رود

۴۸	۵-۱- مقدمه.....
	۵-۲- نتایج اولیه آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه حبله رود (از سرشاخه نمرود تا دلیچای).....
۴۸	۵-۳- بررسی تغییرات PH و EC در آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله رود.....
۴۸	۵-۳-۱- بررسی تغییرات PH.....
۵۲	۵-۳-۲- بررسی تغییرات EC.....
۵۵	۵-۴- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفیت آب رودخانه حبله رود.....
۵۵	۵-۴-۱- غلظت کاتیون ها و آنیون ها.....
۶۰	۵-۴-۲- تیپ و رخساره آب.....
۶۴	۵-۴-۳- سختی.....
۶۶	۵-۴-۴- ارزیابی کیفی آب از نظر شرب و کشاورزی.....
۶۹	۵-۴-۵- عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب منطقه.....
۷۰	۵-۴-۶- بررسی شاخص اشباع شدگی در نمونه های آب منطقه نسبت به کانیهای اصلی.....

۷۲.....	۵-۵- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه.....
۷۲.....	۵-۵-۱- بافت رسوبات.....
۷۳.....	۵-۵-۲- مواد آلی.....
۷۴.....	۵-۵-۳- کربنات کلسیم.....
۷۵.....	۵-۶- همبستگی بین پارامترهای مختلف در آب و رسوبات منطقه.....
۷۹.....	۵-۷- بررسی تغییرات و پراکنش غلظت عناصر در آب منطقه.....
۸۲.....	۵-۷-۱- مس (Cu).....
۸۵.....	۵-۷-۲- سرب (Pb).....
۸۸.....	۵-۷-۳- روی (Zn).....
۹۱.....	۵-۷-۴- کادمیوم (Cd).....
۹۳.....	۵-۷-۵- نیکل (Ni).....
۹۶.....	۵-۷-۶- کروم (Cr).....
۹۸.....	۵-۷-۷- آهن (Fe).....
۱۰۱.....	۵-۷-۸- بار فلزی منابع آب.....
۱۰۲.....	۵-۸- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی.....
۱۰۲.....	۵-۸-۱- ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor).....
۱۰۵.....	۵-۸-۲- شاخص زمین‌انباشتگی (Geo Accumulation Index).....
۱۰۵.....	۵-۸-۳- ضریب آلودگی (Contamination Factor) و درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Contamination Degree).....
۱۰۷.....	
۱۱۱.....	۵-۸-۴- شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index).....
۱۱۲.....	۵-۸-۵- بررسی کیفیت رسوبات منطقه بر اساس (SQGs).....
۱۱۳.....	۵-۹- تحلیل مؤلفه اصلی در رسوبات.....

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱۱۸.....	۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....
۱۱۸.....	۶-۱-۱- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت آب رودخانه حبله‌رود.....
۱۲۰.....	۶-۱-۲- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت رسوبات رودخانه حبله‌رود.....
۱۲۲.....	۶-۲- پیشنهادها.....
۱۲۵.....	منابع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه..... ۶
- شکل ۲-۱- بخشی از حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود..... ۷
- شکل ۳-۱- کاربری اراضی در حوضه آبریز حبله‌رود..... ۹
- شکل ۱-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تهران و سمنان) ۱۴
- شکل ۲-۲- نمایی از رودخانه در محل سازند تبخیری قم..... ۲۰
- شکل ۳-۲- نمایی از لایه‌های آهن‌دار سازند قرمز فوقانی، دید به سوی شمال..... ۲۱
- شکل ۱-۴- رودخانه حبله‌رود و ایستگاه‌های نمونه‌برداری..... ۳۹
- شکل ۱-۵- تغییرات مقادیر pH در نمونه‌های آب منطقه..... ۵۱
- شکل ۲-۵- تغییرات مقادیر pH در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۵۲
- شکل ۳-۵- تغییرات مقادیر EC در نمونه‌های آب منطقه..... ۵۳
- شکل ۴-۵- تغییرات مقادیر EC در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۵۴
- شکل ۵-۵- نمودار تغییرات غلظت کاتیون‌ها در نمونه‌های آب منطقه..... ۵۷
- شکل ۶-۵- نمودار تغییرات غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب منطقه..... ۵۹
- شکل ۷-۵- نمودار پایپر نمونه‌های آب منطقه..... ۶۱
- شکل ۸-۵- نمودار استیف نمونه‌های آب منطقه..... ۶۲
- ادامه شکل ۸-۵- نمودار استیف نمونه‌های آب منطقه..... ۶۳
- شکل ۱۰-۵- تغییرات مقادیر سختی در نمونه‌های آب منطقه..... ۶۶
- شکل ۱۱-۵- نمودار شولر نمونه‌های آب منطقه..... ۶۷
- شکل ۱۲-۵- طبقه‌بندی آب‌ها از نظر کشاورزی (مهدوی، ۱۳۸۰)..... ۶۸
- شکل ۱۳-۵- موقعیت نمونه‌های آب منطقه بر روی نمودار ویلکاکس..... ۶۹
- شکل ۱۴-۵- ارزیابی عوامل کنترل کننده شیمی آب منطقه با استفاده از مدل گیبس، الف- مدل گیبس (Gibbs, 1970) ب- نمایش نمونه‌های آب منطقه بر روی مدل گیبس..... ۷۰
- شکل ۱۵-۵- شاخص اشباع‌شدگی کانیهای اصلی در نمونه‌های آب منطقه..... ۷۱
- شکل ۱۶-۵- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۵۴)..... ۷۳
- شکل ۱۷-۵- تغییرات مقادیر مواد آلی نمونه‌های رسوب منطقه..... ۷۴
- شکل ۱۸-۵- تغییرات مقادیر کربنات کلسیم در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۷۵
- شکل ۱۹-۵- انحلال‌پذیری عناصر در آب بر اساس pH (Wang et al., 2005)..... ۸۰
- شکل ۲۰-۵- نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh- pH در آب (Takeno, 2005)..... ۸۰
- شکل ۲۱-۵- تغییرات مقادیر عنصر مس در نمونه‌های آب منطقه..... ۸۳
- شکل ۲۲-۵- تغییرات مقادیر مس در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۸۴
- شکل ۲۳-۵- تغییرات مقادیر سرب در نمونه‌های آب منطقه..... ۸۶
- شکل ۲۴-۵- تغییرات مقادیر سرب در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۸۷
- شکل ۲۵-۵- تغییرات مقادیر روی در نمونه‌های آب منطقه..... ۸۹
- شکل ۲۶-۵- تغییرات مقادیر روی در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۹۰
- شکل ۲۷-۵- تغییرات مقادیر کادمیوم در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۹۲

- شکل ۵-۲۸- تغییرات مقادیر نیکل در نمونه‌های آب منطقه..... ۹۴
- شکل ۵-۲۹- تغییرات مقادیر نیکل در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۹۵
- شکل ۵-۳۰- تغییرات مقادیر کروم در نمونه‌های آب منطقه..... ۹۷
- شکل ۵-۳۱- تغییرات مقادیر کروم در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۹۸
- شکل ۵-۳۲- تغییرات مقادیر آهن در نمونه‌های آب منطقه..... ۹۹
- شکل ۵-۳۳- تغییرات مقادیر آهن در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۱۰۰
- شکل ۵-۳۴- رابطه بار فلزی (Pb+Fe+Cd+Cr+Cu+Zn+Ni) و pH در آب منطقه بر اساس نمودار فیکلین (Ficklin et al, 1992)..... ۱۰۱
- شکل ۵-۳۵- میانگین ضریب غنی‌شدگی برای عناصر مورد بررسی در رسوبات رودخانه حبله‌رود..... ۱۰۴
- شکل ۵-۳۶- متوسط شاخص زمین‌انباشتگی برای عناصر مورد بررسی در رسوبات رودخانه حبله‌رود..... ۱۰۷
- شکل ۵-۳۷- میانگین ضریب آلودگی عناصر در نمونه‌های رسوب رودخانه حبله‌رود..... ۱۰۹
- شکل ۵-۳۸- درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۹- مقادیر بار آلودگی در نمونه‌های رسوب منطقه..... ۱۱۲
- شکل ۵-۴۰- نمودار سه بعدی PCA برای عناصر مورد مطالعه در رسوبات منطقه..... ۱۱۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری	۳۸
جدول ۵-۱- مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های آب منطقه	۴۹
جدول ۵-۲- مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب منطقه	۵۰
جدول ۵-۳- مقایسه غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تیپ و رخساره نمونه‌های آب منطقه	۶۱
جدول ۵-۴- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی (Todd, 2005)	۶۵
جدول ۵-۵- طبقه‌بندی نمونه‌های آب منطقه از نظر سختی	۶۵
جدول ۵-۶- شاخص اشباع نمونه‌های آب نسبت به کانیهای اصلی	۷۱
جدول ۵-۷- بافت رسوبات و اجزاء مختلف رسوبات منطقه بر حسب درصد	۷۲
جدول ۵-۸- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب	۷۷
جدول ۵-۹- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب	۷۸
جدول ۵-۱۰- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)	۱۰۲
جدول ۵-۱۱- مقادیر ضریب غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب منطقه	۱۰۳
جدول ۵-۱۲- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در تعیین آلودگی رسوب (Muller, 1969)	۱۰۶
جدول ۵-۱۳- شاخص زمین‌انباشتگی رسوبات منطقه	۱۰۶
جدول ۵-۱۴- رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)	۱۰۸
جدول ۵-۱۵- مقادیر ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه	۱۰۹
جدول ۵-۱۶- رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham, 2005)	۱۱۰
جدول ۵-۱۷- غلظت‌های مؤثر حد آستانه، احتمالی و میانه‌ی عناصر مورد بررسی بر حسب mg/kg	۱۱۳
جدول ۵-۱۸- مؤلفه‌های حاصل از آنالیز PCA برای عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه	۱۱۵

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

حیدرپور ف، دهرآزما ب و قاسمی ح، (۱۳۹۲)، "بررسی کیفیت آب رودخانه حبله رود از سرشاخه نمرود تا دلیچای)، استان سمنان"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی و مهندسی محیط زیست ایران، ص ۱۳۷۹-۱۳۸۶. مشهد.

حیدرپور ف، دهرآزما ب و قاسمی ح، (۱۳۹۲)، "بررسی غلظت روی و سرب در آب رودخانه حبله رود از سرشاخه نمرود تا دلیچای)، استان سمنان"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی و مهندسی محیط زیست ایران، ص ۱۶۰۵-۱۶۱۲. مشهد.

فصل اول کلیات

۱-۱- مقدمه

آب‌های شیرین موجود در کره زمین شامل آب‌های زیرزمینی، ذخیره‌های برفی یخچال‌های قطبی، تالاب‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چشمه‌ها می‌باشند که حدود ۳٪ از کل آب‌های موجود در کره زمین را تشکیل می‌دهند (قادری و همکاران، ۱۳۸۶). رودخانه‌ها از جمله منابع حیاتی جهت استفاده در امور کشاورزی، شرب و صنعت به‌شمار می‌روند. قرارگیری مناطق شهری و روستایی و مراکز صنعتی در اطراف رودخانه‌ها باعث ورود انواع مختلف آلاینده‌ها به‌داخل آنها می‌شود (پورقاسم، ۱۳۸۸). چنانچه ورود آلودگی‌ها از ظرفیت خودپالایی رودخانه بیشتر باشد، مشکلات زیست‌محیطی و آلودگی‌های آب، رسوبات و موجودات زنده را باعث می‌شود (دریکوند، ۱۳۸۹). حفظ پتانسیل خودپالایی آب در جریان‌ات آبی و رودخانه‌ها یک پیش شرط مهم برای استفاده پایدار از منابع آبی و نیز شرط اساسی برای توسعه پایدار و رشد اقتصادی است (Ostroumov, 2004). تنوع گونه‌ای بالا در آب رودخانه‌ها و وجود حشرات حساس به آلودگی‌های مواد آلی نشان‌دهنده آب‌های سالم می‌باشند (کمالی و همکاران، ۱۳۸۹). کنترل کیفیت رودخانه‌ها و جریان‌های سطحی یکی از برنامه‌های کلیدی در حفظ محیط زیست کشورهاست. امروزه رودخانه‌ها به بستری در جهت انتقال پساب‌ها و پسماندها تبدیل شده‌اند. این پساب‌ها هم به‌صورت متمرکز مانند پساب‌های شهری و هم غیرمتمرکز مانند زهاب‌های کشاورزی بر افت کیفیت رودخانه‌ها تأثیر بسزایی دارند (پورقاسم، ۱۳۸۸). کیفیت آب‌های سطحی تحت تأثیر فاکتورهای طبیعی (آب و هوا، سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی حوضه آبریز و حوادث طبیعی) و انسان‌زاد (پساب‌های صنعتی، معدنی، کشاورزی و غیره) می‌باشد. مهمترین فاکتور طبیعی که شیمی آب را کنترل می‌کند، هوازگی سنگها می‌باشد (Skoulidakis, 1993). نبود زیرساخت‌های بهداشتی و افزایش جمعیت همراه با شهرنشینی و شهرسازی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله عوامل بشرزادی مؤثر در آلودگی رودخانه‌ها به فلزات سنگین و تغییر کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشند (Ahmad et al., 2010). فلزات سنگین وارد شده به آب و رسوبات رودخانه‌ها، می‌توانند در پیکره موجودات آبرزی تجمع یافته و به زنجیره غذایی و انسان راه یابند (Facchinelli et al., 2001).

رودخانه حبله رود نقش حیاتی در تأمین آب کشاورزی منطقه و آب شرب شهرهای گرمسار و آرادان دارد. در این فصل به بیان مسئله، ضرورت انجام تحقیق، خصوصیات منطقه مورد مطالعه و حوضه آبریز و پیکربندی تحقیق حاضر پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسئله

رودخانه حبله رود و سرشاخه‌های ورودی به آن تحت تأثیر زهاب کشاورزی اطراف رودخانه، فاضلاب‌های شهری، روستایی و همچنین متأثر از زمین‌شناسی حوضه می‌باشد. در تمام طول مسیر، آب رودخانه حبله رود جهت مصارف کشاورزی (از جمله باغات گردو، انار و غیره) استفاده می‌شود. این رودخانه تحت تأثیر باغات (انار، گردو، سیب و گلابی و غیره)، زراعت دیم و آبی گندم، فاضلاب روستاهای مهاباد، خمیده، مزاران، زرین‌دشت، گچه و سیمین‌دشت می‌باشد. در صورت وجود منابع انسان‌زاد از جمله مراکز شهری و روستایی و کشاورزی، کیفیت آب رودخانه علاوه بر عوامل طبیعی به شدت و نوع فعالیت‌های انسانی نیز بستگی می‌یابد. فعالیت‌های کشاورزی باعث ورود املاح، سموم و فلزات سنگین به رودخانه‌ها و فعالیت‌های شهری و روستایی باعث ورود فاضلاب، مواد سمی و فلزات سنگین به داخل رودخانه می‌شود (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به اهمیت بررسی کیفیت آب و رسوبات در منابع آب و اهمیت رودخانه حبله رود در منطقه، در این تحقیق به بررسی تغییرات غلظت عناصر سنگین در آب و رسوبات رودخانه حبله رود (از سرشاخه نمرود تا دلیچای) و همچنین بررسی عوامل زمین‌زاد و بشرزاد مؤثر بر آن پرداخته شده است.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

رودخانه‌ها در حقیقت منابع حیاتی آب شیرین جهت استفاده در امور کشاورزی و شرب به‌شمار می‌روند و هر نوع آلودگی در آنها می‌تواند بر کیفیت سایر بخش‌های مختلف محیط زیست (خاک و موجودات زنده) تأثیرگذار باشد (پوراصغر و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه ساختار اکولوژیکی

رودخانه‌ها به‌طور دائم در حال تغییر است، با ورود آلودگی‌های زمین‌زاد و بشرزاد به میزان بیش از ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها، توالی طبیعی اکولوژیکی این منابع آبی با اختلالات شدیدی روبرو می‌شود (برقی، ۱۳۸۸).

با توجه به اهمیت بررسی و ارزیابی کیفیت آب و رسوبات رودخانه‌ها و با توجه به اهمیت و مصارف گوناگون (شرب و کشاورزی) رودخانه حبله‌رود و وجود فعالیت‌های کشاورزی و روستایی و شرایط متنوع زمین‌شناسی در حوضه آبریز این رودخانه و در نهایت با توجه به عدم وجود تحقیق جامع در مورد نحوه توزیع آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه حبله‌رود (از سرشاخه نمرود تا سرشاخه دلیچای) و ارتباط آن با عوامل زمین‌شناسی و فعالیت‌های بشرزاد در منطقه، انجام این تحقیق در منطقه اهمیت و ضرورت می‌یابد.

۱-۴- اهداف تحقیق

هدف کلی این مطالعه بررسی آلودگی فلزات سنگین و کیفیت آب و رسوبات بستر رودخانه حبله‌رود (از سرشاخه نمرود تا دلیچای) و همچنین بررسی و ارتباط آن با شرایط زمین‌شناسی و فعالیت‌های بشرزاد در منطقه می‌باشد. اهداف فرعی این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تعیین روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه حبله‌رود.
- ۲- ارزیابی پارامترهای رسوب‌شناسی در رسوبات رودخانه حبله‌رود (دانه‌بندی رسوبات، pH، EC، مقدار مواد آلی و کربنات کلسیم).
- ۳- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌هایی مانند فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (Igeo)، فاکتور آلودگی و غیره.
- ۴- تعیین روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه حبله‌رود.
- ۵- ارزیابی کیفیت و آلودگی آب رودخانه با استفاده از استانداردها و نمودارهای مختلف مانند شولر، ویلکاکس و غیره.

۶- بررسی ارتباط بین کیفیت آب و رسوب در رودخانه با عوامل زمین‌زاد و بشرزاد در منطقه.

۱-۵- روش تحقیق

به‌طور کلی مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر است:

۱- جمع‌آوری اطلاعات: شامل بازدید از منطقه، بررسی مطالعات پیشین انجام شده در منطقه و مطالعات مشابه در سطح ایران و جهان و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سمنان، ۱/۱۰۰۰۰۰ دماوند، ۱/۱۰۰۰۰۰ گرمسار و شرح نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ فیروزکوه.

۲- نمونه‌برداری از آب و رسوب: تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب و رسوب بر اساس تغییرات لیتولوژی، کاربری اراضی، وجود منابع آلاینده بشرزاد و انجام نمونه‌برداری.

۳- انجام آنالیزهای مورد نیاز.

- تعیین دانه‌بندی، اندازه‌گیری EC، pH، مواد آلی، کربنات کلسیم و همچنین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب.

- اندازه‌گیری غلظت آنیون و کاتیون‌ها و همچنین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب.

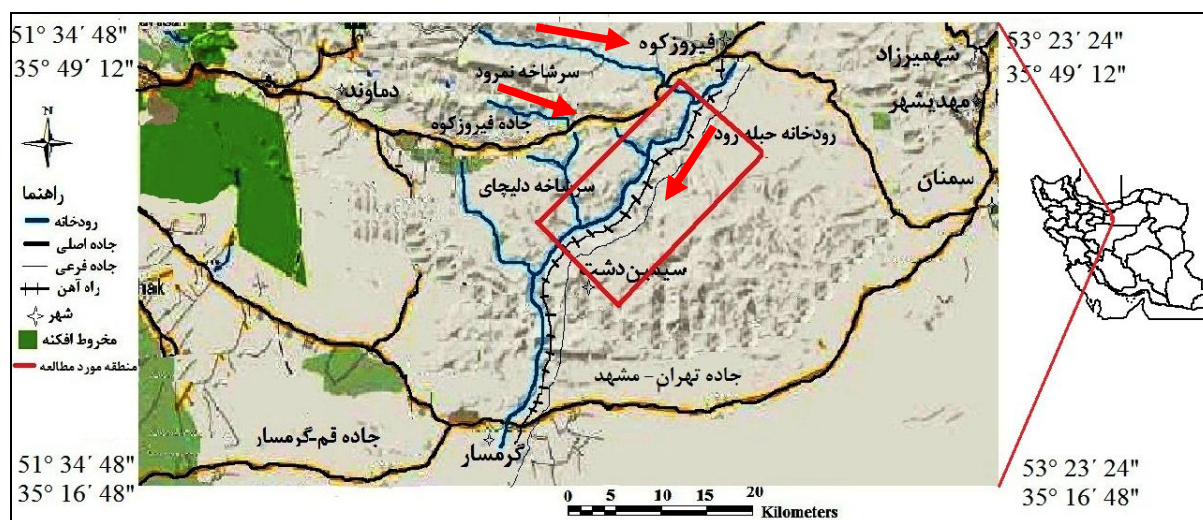
۴- تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از آنالیزها: با مطالعه مقالات و کتاب‌های مرتبط با موضوع تحقیق، ترسیم نمودارهای مرتبط با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، AQQA، PHREEQC، تهیه نقشه پهنه‌بندی غلظت عناصر در محیط GIS، استفاده از استانداردها و شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی و تکمیل و تدوین پایان‌نامه.

۱-۶- خصوصیات منطقه مورد مطالعه

۱-۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه حبله‌رود واقع در حوضه آبریز حبله‌رود به‌عنوان یک منبع مهم آب سطحی در منطقه شرق استان تهران و غرب استان سمنان مطرح می‌باشد. منطقه مورد مطالعه بخشی از رودخانه حبله‌رود از سرشاخه نمرود تا دلیچای می‌باشد که با طول تقریبی ۲۷ کیلومتر، در بین طول‌های جغرافیایی ۱۵"

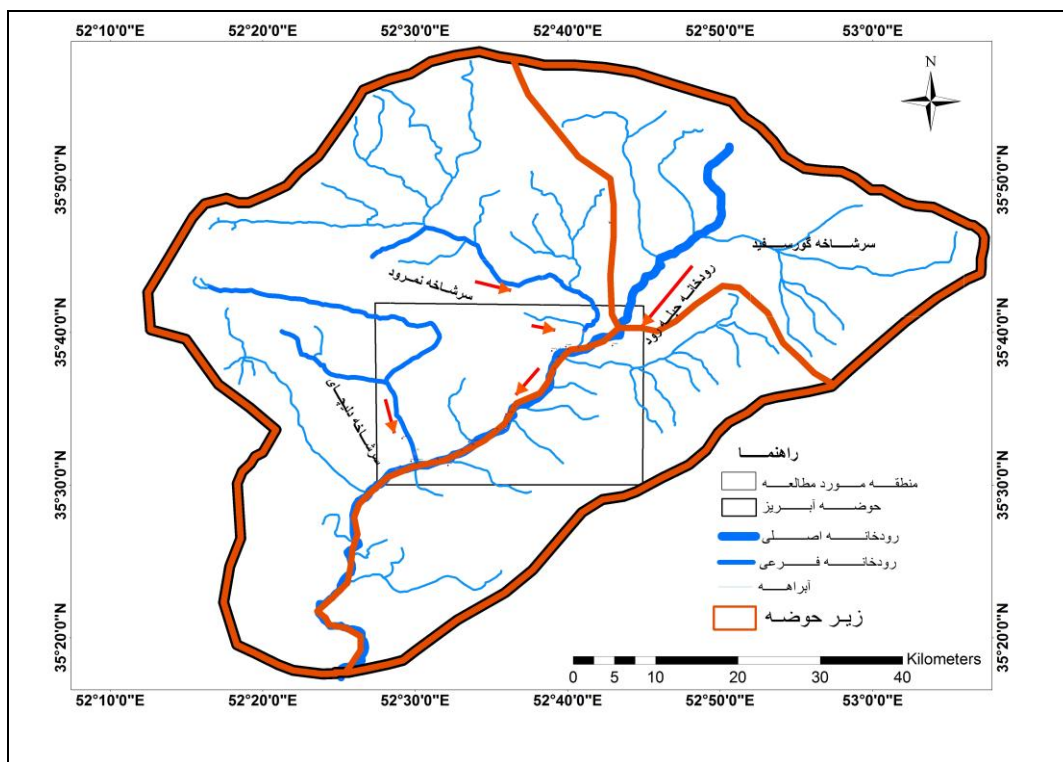
۵۲° ۳۰' تا ۵۲° ۴۰' ۷۶" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۳۱' ۳۴" تا ۳۵° ۳۹' ۱۱" شمالی قرار دارد (شکل ۱-۱). آورد متوسط سالیانه حبله‌رود حدود ۲۳۰ تا ۲۷۰ میلیون متر مکعب است. پرآب‌ترین ماه، اردیبهشت بوده و ماه‌های مرداد، شهریور و مهر به‌عنوان کم‌آب‌ترین ماه‌های سال مطرح می‌باشند (باطبی و منصوریان، ۱۳۸۱). راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه مسیرهای جاده فیروزکوه و جاده فرعی فیروزکوه- گرمسار می‌باشد که در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه

۱-۶-۱- حوضه آبریز حبله‌رود

حوضه‌ی آبریز حبله‌رود از نظر تقسیمات سیاسی جزو استان تهران و سمنان می‌باشد. سه سرشاخه نم‌رود، گورسفید و دلیچای رودخانه حبله‌رود را تغذیه می‌کنند. این حوضه، شهرستان فیروزکوه و قسمتی از شهرستان دماوند در استان تهران و قسمت‌هایی از شهرستان‌های گرمسار و ایوانکی در استان سمنان را پوشش می‌دهد. شکل ۲-۱ بخشی از حوضه آبریز حبله‌رود را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- بخشی از حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود

حوضه‌ی آبریز حبله‌رود به سه زیر حوضه فرعی حبله‌رود شرقی، غربی و مرکزی تقسیم شده است و مساحت کل آن ۱۲۶۶۱ کیلومتر مربع است. بخش شمالی حوضه، اغلب کوهستانی بوده و به تدریج به سمت جنوب، از ارتفاعات کاسته شده، تا جایی که قسمت‌های جنوبی شامل اراضی پایاب حبله‌رود می‌باشند. ارتفاعات اصلی حوضه شامل کوه‌های علمدار، سلیمان‌کش (ارتفاع ۳۶۲۵ متر) و شاهسون (ارتفاع ۳۶۴۲ متر) می‌باشند. رودخانه حبله‌رود هنگام ورود به گرمسار به ارتفاع حدود ۹۸۰ متر از سطح دریا می‌رسد. رودخانه حبله‌رود تنها رودخانه دائمی این حوضه محسوب می‌گردد (آب منطقه‌ای استان سمنان، ۱۳۸۱).

۱-۶-۳- شرایط آب و هوایی

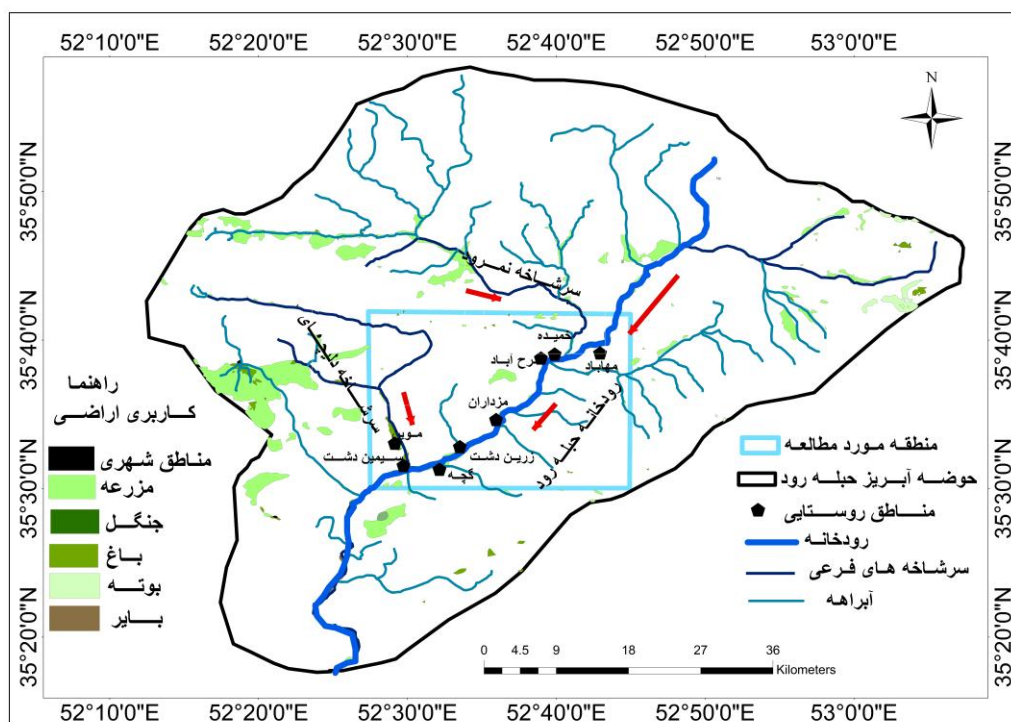
قسمت شمالی حوضه حبله‌رود به علت توده پرفشار مدیترانه‌ای از بارش‌های جوی نسبتاً خوبی برخوردار است. به طور کلی در مناطق شمالی حوضه، میزان بارش‌های جوی بیش از ۵۰۰ میلی‌متر

بوده و غالباً در فصول پاییز، زمستان و بهار صورت می‌پذیرد و بارش‌های جوی در فصول سرد اغلب به صورت برف می‌باشد. هر چه از قسمت شمالی به سمت قسمت جنوب حوضه (منطقه مورد مطالعه) حرکت کنیم به دلیل افزایش درجه حرارت میزان رطوبت نیز کم می‌شود، به طوری که در سال ۱۳۸۱ در ایستگاه سیمین‌دشت میزان ریزش جوی به ۳۵۰ میلی‌متر و در ایستگاه بنکوه به ۱۵۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد. مناطق شمالی حوضه به دلیل ریزش جوی مناسب و کمی تبخیر و یکنواخت بودن درجه حرارت از پوشش گیاهی نسبتاً خوبی برخوردار است. میانگین دما از ۱۸+ درجه در گدوک به ۴۰+ در گرمسار می‌رسد. میانگین تبخیر در نواحی شمالی ۲۴۷ میلی‌متر بوده، در حالیکه در گرمسار به ۲۱۷۰ میلی‌متر می‌رسد (باطبی و منصوریان، ۱۳۸۱).

از نظر آب و هوایی، حوضه حبله‌رود در منطقه فیروزکوه دارای آب و هوای سرد و زمستانی و همین‌طور تابستانی خنک می‌باشد (باطبی و منصوریان، ۱۳۸۱). آب و هوای شهرستان گرمسار که در پایین دست منطقه مورد مطالعه قرار دارد گرم و خشک می‌باشد. (سالنامه آماری، ۱۳۸۹).

۱-۶-۴- کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

در این حوضه ۲۹۵ روستا و آبادی وجود دارد. بیشترین تعداد روستاها (۱۸۳ روستا) در قسمت جنوبی می‌باشد و در بخشی از آن که در استان تهران قرار دارد ۱۱۲ روستا وجود دارد. از روستاهای مهم واقع در این حوضه می‌توان به روستای لزور و آرو، سله‌بن، حصاربن، گرمابسر، شاه‌بلاغ بالا، حسین‌آباد کرده، فروان، داورآباد، کهن‌آباد، قالیباف، سیمین‌دشت، مهاباد، فرح‌آباد و زرین‌دشت اشاره نمود. این حوضه شامل بخشی از ارتفاعات جنوبی کوه‌های البرز مرکزی می‌باشد و قسمت جنوبی حوضه شامل مناطق مربوط به انشعابات انتهایی رودخانه‌های کرج و جاجرود می‌باشد (آب منطقه‌ای استان سمنان، ۱۳۸۱). شکل ۱-۳ کاربری اراضی در حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- کاربری اراضی در حوضه آبریز حبله رود

پوشش گیاهی نیمه پایینی یا بخش جنوبی حوضه که منطقه مورد مطالعه در آن واقع می‌شود، اکثراً به صورت بوته‌ها و درختچه‌هایی از نوع شورگز، خارشتر، گون، درمنه، ختمی، علف‌های گندمی و تاج خروس، باغات انار و گردو نمایان است. به طور کلی به علت خشکی هوا و کمی رطوبت، شوری خاک و ماسه‌های نرم و غلتان، منطقه مورد مطالعه از پوشش گیاهی کمی برخوردار است (باطبی و منصوریان، ۱۳۸۱).

۹-۱- پیکربندی پایان نامه

نتایج این پژوهش به ترتیب زیر پیکربندی شده است:

فصل اول: کلیات

فصل دوم: زمین‌شناسی

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

فصل چهارم: مواد و روشها

فصل پنجم: ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله رود

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

فصل دوم

زمین شناسی

۲-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در بخش شمال غربی برگه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان و ۱:۱۰۰۰۰۰ فیروزکوه قرار دارد. نظر به اینکه نقشه فیروزکوه هنوز چاپ نشده است از ورقه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان و تهران برای تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. مهمترین رودخانه جاری در سطح منطقه حبله‌رود می‌باشد. اکثر سنگهای رخنمون یافته در منطقه از نوع رسوبی بوده و بجز سنگهای آتشفشانی به سنهاى مختلف، رخنمونی از سنگهای نفوذی مشاهده نمی‌شود. قسمت عمده منطقه مورد مطالعه در محدوده استان سمنان قرار دارد و جزیی از زون ساختاری البرز مرکزی به‌شمار می‌آید. بیشتر سنگهای رخنمون یافته متعلق به مزوزویک تا عهد حاضر هستند (برهمند، ۱۳۹۰). در این بخش به بررسی زمین‌شناسی منطقه و واحدهای تأثیرگذار بر کیفیت آب و رسوب رودخانه حبله‌رود پرداخته شده است.

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه

نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۲-۱ آورده شده است. حوضه آبریز حبله‌رود در اراضی جنوبی البرز مرکزی قرار دارد و مشخصات اصلی زون زمین‌ساختی و تکتویکی البرز در آن مشاهده می‌شود. سه سرشاخه دلیچای، نمروود و گورسفید تغذیه کننده این رودخانه هستند. شاخه گورسفید از سازندهای زمین‌شناسی متعلق به ژوراسیک میانی- فوقانی، میوسن و پلیستوسن عبور می‌کند که لیتولوژی غالب آنها به ترتیب شامل آهک و دولومیت، مارن و سیلتستون، شیل، کنگلومرا و ماسه‌سنگ می‌باشد. شاخه نمروود بیشتر از سازندهای لار، کرج و رسوبات کوارترنری می‌گذرد. سرشاخه دلیچای بیشتر در سازندهای لار و فجن جریان دارد. رودخانه حبله‌رود نیز بیشتر در سازندهای دلیچای، لار، قم، کرج و قرمز فوقانی جریان دارد. در منطقه مورد مطالعه (از سرشاخه نمروود تا دلیچای)، حد فاصل فیروزکوه و سیمین‌دشت در کناره سمت چپ رودخانه، رسوبات آبرفتی مربوط به پلیستوسن و توف و مارن‌های گچ‌دار، گچ و آهک با سن ائوسن میانی و فوقانی رخنمون دارد. همچنین

ماسه‌سنگهای قرمز فجین در بخش‌هایی از مسیر در مجاورت توف‌های سبزرنگ سازند کرج مشاهده می‌شوند. در کناره سمت راست این محدوده سنگهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن میانی - فوقانی و سنگهای ژوراسیک میانی - فوقانی با درزه و شکستگی فراوان وجود دارند (باطبی و منصوریان، ۱۳۸۱).

۳-۲- چینه‌نگاری منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی متنوعی از مزوزوییک تا عهد حاضر، به شرح زیر و به ترتیب از کهن به جوان شناخته شده‌اند:

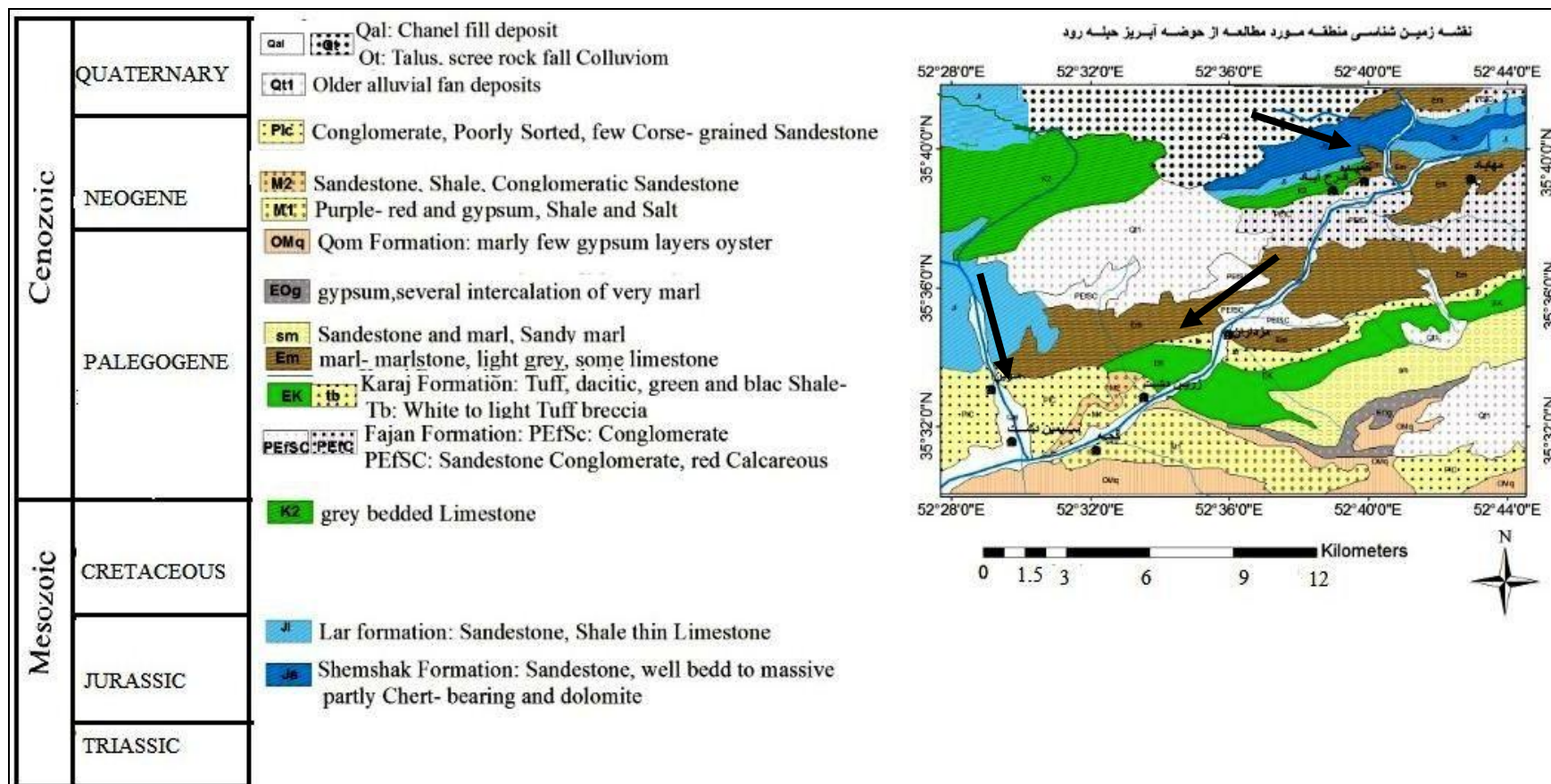
- سنگهای رسوبی مزوزوییک

- سنگهای رسوبی سنوزوییک

۳-۲-۱- سنگهای رسوبی مزوزوییک

۳-۲-۱-۱- سازند شمشک (Js)

داده‌های زمین‌شناسی موجود گویای آن است که شرایط کولابی - دریا کناری تریاس پسین تا اوایل ژوراسیک ادامه یافته است. بدین ترتیب می‌توان گفت که سنگهای ژوراسیک زیرین البرز، رسوب‌های چند رخساره‌ای از نوع قاره‌ای، دریا کناری و دریایی هستند که به تناوب جایگزین یکدیگر شده‌اند. مجموعه‌ی رسوب‌های مورد نظر سازند شمشک نام دارد که برش الگوی آن را آسرتو (۱۹۶۶) در بالادست دره‌ی روته، در شمال گردنه لازیم، بررسی کرده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این واحدهای سنگ‌چینه‌ای متعلق به کرتاسه بالایی - ژوراسیک زیرین در البرز دارای رخساره‌های قاره‌ای، مردابی و دریاچه‌ای بوده، غالباً حاوی آثار گیاهی می‌باشند و تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل زغال‌دار و سنگهای رسی است. نام این سازند از روستایی به همین نام در مسیر رودهن - فیروزکوه گرفته شده



شکل ۱-۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تهران و سمنان)

است (درویش‌زاده، ۱۳۸۵). این سازند بیشتر در ناحیه بالادست منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد و شیل‌های زغال‌دار موجود در این سازند باعث جذب فلزات سنگین از آب و افزایش آنها در رسوب می‌شوند. بعلاوه لایه‌های زغال‌دار این سازند منبعی برای کادمیوم، سرب، روی، گوگرد، آهن و مس ورودی به آب رودخانه محسوب می‌شوند.

۲-۳-۱-۲- سازند لار (J1)

آسترو (۱۹۶۶) با استفاده از نام دره‌ی لار، نام سازند لار را به سنگ آهک‌های صخره‌ساز با سن ژوراسیک پسین نسبت داده است که در نواحی وسیعی از البرز، بر روی نهشته‌های ژوراسیک میانی (سازند دلیچای) و یا رسوب‌های زغال‌دار گروه شمشک قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). به عقیده اشتایگر (۱۹۶۶)، در نواحی واقع در باختر فیروزکوه، سنگ‌های آهکی سازند لار در ژرفا و شرایط رسوبی متفاوتی برجای گذاشته شده‌اند. ویژگی‌های عمومی سازند لار در منطقه باختر فیروزکوه نشانگر وجود حوضه‌های رسوبی با پلانکتون‌های جانوری فراوان بوده که گاهی به دلیل انباشت آنها در این سازند، آن را به‌عنوان سنگ مادر ذخایر نفتی پیشنهاد می‌کنند (برهمند، ۱۳۹۰).

در منطقه مورد مطالعه این سازند بیشتر از آهک، چرت و دولومیت تشکیل شده است. تأثیر این سازند بر آب رودخانه احتمالاً به‌صورت افزایش یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و کاهش میزان فلزات در آب رودخانه می‌شود.

۲-۳-۱-۳- رسوبات آهکی کرتاسه فوقانی (K2)

مرز کرتاسه پایینی- بالایی، همانند دیگر نقاط ایران (بجز زاگرس) با فاز کوهزایی استرین و ناپیوستگی رسوبی و گاه تکاپوهای آتشفشانی مشخص می‌شود. ردیف‌های کرتاسه بالایی البرز جنوبی در شرایط رسوبی متفاوتی نهشته شده‌اند و به همین دلیل تغییر رخساره‌ای زیادی دارند. تاکنون ردیفی که نشانگر ویژگی‌های عمومی کرتاسه بالایی البرز جنوبی و مرکزی باشد، قابل نامگذاری و معرفی نبوده است. در اواخر آلبین در اثر فاز کوهزایی استرین البرز جنوبی از آب خارج شده ولی

مجدداً با پیشروی دریای سنومانین، رسوبات آهکی همراه با فسیل‌های فراوان بر روی کنگلومرای قاعده‌ای برجای گذاشته شده که این شرایط تا اواخر تورونین برقرار بوده است (برهمند، ۱۳۹۰). این واحد رسوبی در منطقه مورد مطالعه از آهک و مارن تشکیل شده است. این رسوبات که در ایستگاه‌های ابتدایی و قسمتی از رودخانه دلیچای رخنمون دارد و می‌تواند باعث افزایش یون‌های کربنات و بی‌کربنات و افزایش TDS آب رودخانه شود.

۲-۳-۲- سنگهای رسوبی سنوزوییک

۲-۳-۱- سازند فجن (PEf)

سازند کنگلومرای فجن نشانگر چرخه‌های فرسایشی پس از رویداد کوهزایی لارامید است که عموماً ردیف‌های کهن‌تر را با ناپیوستگی زاویه‌دار (دگرشیبی) می‌پوشاند (آقانیاتی، ۱۳۸۳). سازند کنگلومرای فجن از کنگلومرای چندزادی، ماسه‌سنگهای قرمز و مارن‌های ماسه‌ای، آگلومرا و گدازه‌های آندزیتی به‌صورت میان لایه‌ای تشکیل شده که در نزدیکی کوه‌های فجن در شرق تهران مطالعه شده است. سن این سازند را به پالئوسن تا ائوسن زیرین نسبت داده‌اند. این سازند به دو زیر واحد PEfC و PEfSc تقسیم شده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۵). این سازند در منطقه مورد مطالعه از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک و مارن تشکیل شده، و احتمالاً باعث افزایش یون بی‌کربنات و افزایش TDS در آب رودخانه می‌شود.

- واحد (PEfC)

در بیشتر نقاط البرز جنوبی، رخساره پالئوسن، قاره‌ای (سازند کنگلومرای فجن) است که در کمتر مکانی آثار فسیل از آن گزارش شده است. در منطقه فیروزکوه، کنگلومرای فجن، به‌طور دگرشیب سنگ‌آهک‌های اوریتولین‌دار کرتاسه زیرین (سازند تیزکوه) را می‌پوشاند و در بالا با سازند کرج هم‌شیب است. سازند فجن بیشتر بر اساس جایگاه چینه‌شناسی به پالئوسن-ائوسن نسبت داده شده است، ولی با توجه به اینکه در پاره‌ای از نقاط البرز دارای ارتباط تدریجی و بین‌انگشتی با سازند زیارت

است، احتمال ائوسن بودن این نهشته‌های کنگلومرایی نیز وجود دارد (برهمند، ۱۳۹۰).

– واحد (PEfSc)

این واحد شامل رسوبات قرمز رنگی است که در نقاط مختلف، گسترش کمی داشته و عمدتاً شامل تناوب لایه‌های ماسه‌سنگ، شیل و مارن قرمز رنگ هستند. در شمال پیرده این واحد شامل کنگلومرا با قلوه‌های آهکی از سازندهای قدیمی و احیاناً سیمان آهکی در قسمت زیرین و تناوب لایه‌های ماسه‌سنگی قرمز رنگ و شیل‌های قرمز تا خاکستری و لایه‌های مارنی قرمز رنگ همراه با اینتراکلاست‌های آهکی قرمز کم رنگ می‌باشد. جایگاه چینه‌شناسی رسوبات مذکور در نواحی مختلفی هم‌چون فرح‌آباد، مهاباد، فیروزکوه، سرخ‌دشت و گورسفید، بررسی شده است. تناوب لایه‌های قرمز رنگ ماسه‌سنگی، شیلی و مارنی که با کنگلومرای قاعده‌ای در بعضی از مناطق شروع می‌شود، از نظر واقع شدن روی رسوبات قدیمی شرایط یکسانی ندارند. رسوبات مذکور در شرق فیروزکوه عمدتاً روی آهک‌های لار با دگرشیبی و مرز فرسایشی قرار می‌گیرد در حالیکه در نواحی جنوب و غرب فیروزکوه روی رسوبات کرتاسه بالایی صرفاً با ناپیوستگی فرسایشی واقع می‌شوند. هر جا که کنگلومرای قاعده‌ای وجود نداشته و یا دیده نشود، قرارگیری رسوبات پائوسن به‌صورت دگرشیب (تقریباً ۲۰-۳۰ درجه) بر روی رسوبات قدیمی‌تر بوده و در مناطقی که کنگلومرای قاعده‌ای مشاهده می‌گردد، قرارگیری به‌صورت ناپیوستگی فرسایشی است. در مناطق غربی‌تر و در اطراف شهرستان دماوند، رسوبات سازند فجن بر روی رسوبات کرتاسه بالایی (با ناپیوستگی فرسایشی) و بر روی لار و احیاناً سازند شمشک با ناپیوستگی زاویه‌دار (دگرشیبی) قرار می‌گیرند. این امر بدین علت است که رسوبات کرتاسه بالایی تغییرات جانبی شدید در منطقه دماوند و فیروزکوه داشته و در فاصله‌های نه چندان زیاد، ظهور و خفای زیادی را از خود نشان می‌دهند که بیانگر حوضه رسوبی بسیار متغیر در کرتاسه بالایی می‌باشد (برهمند، ۱۳۹۰).

۲-۳-۲-۲- سازند کرج (E_k)

سازند کرج به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای البرز جنوبی، شامل توالی نسبتاً ضخیمی از توف‌های سبز رنگ، سنگهای رسوبی و گدازه‌های آتشفشانی و به‌ندرت تبخیری است که در گذشته به نام‌های گوناگون سری سبز (تییزه، ۱۸۷۷)، لایه‌های سبز (ریویه، ۱۹۳۴)، توفیت‌های سبز البرز (درویش‌زاده، ۱۳۶۰) و غیره از آن یاد شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). نام آن از رودخانه و شهر کرج گرفته شده است. از ۵ بخش با ضخامت کلی ۳۳۰۰ متر تشکیل شده که مهمترین بخش آن توف‌هایی می‌باشد که به آن توف سبز البرز یا توفیت می‌گویند. بر اساس شواهد چینه‌شناسی سن سازند کرج، ائوسن میانی- فوقانی تعیین شده است. پس از لوتسین میانی فعالیت آتشفشانی شدیدتر شده و توف‌های حاصله بخش وسیعی از کوه‌های البرز را تشکیل داده‌اند. این واحد در مجموع شامل توف و توفیت سبز رنگ، شیل، داسیت و سنگ گچ است. سنگهای آتشفشانی سازند کرج دارای چند واحد می‌باشند که از میان آنها توف برشی (t_b) در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. t_b شامل توف‌های ستبر لایه با رنگ سبز آبی تا سبز روشن است که در رأس و قسمت‌های بالایی به شیل آهکی ختم می‌شوند (درویش‌زاده، ۱۳۸۵).

این سازند در محل ایستگاه‌های میانی رخنمون دارد. تیپ آب در این ایستگاه‌ها بی‌کربناته کلسیک و احتمالاً باعث کاهش غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و کلر در آب این ایستگاه‌ها می‌شود.

۲-۳-۳-۲- واحد سنگهای مارنی ائوسن (E_m)

این واحد به طور کلی از مارن و مقداری توف تشکیل شده است. این مارن‌ها به رنگ خاکستری روشن بوده و گاهی به‌طور یکنواخت و فاقد لایه‌بندی دیده می‌شوند و در میان آنها لایه‌های آهکی، ماسه‌سنگی با نودول‌های ماسه‌ای و لایه‌های توفی دیده می‌شوند که سن آنها ائوسن میانی می‌باشد (برهمند، ۱۳۹۰). این واحد سنگی احتمالاً باعث افزایش میزان TDS و EC در آب رودخانه می‌شود.

۲-۳-۲-۴- واحد ماسه‌سنگی - مارنی و مارن ماسه‌ای ائوسن (Sm)

این واحد مارنی- ماسه‌ای با رنگ خاکستری روشن، دارای سیمان آهکی می‌باشند و لایه‌بندی در آنها به وضوح دیده می‌شود. لایه‌بندی این واحد خیلی مشخص‌تر از واحد قبلی می‌باشد، چرا که لایه‌های ماسه‌سنگی و مارنی کم و بیش به اندازه مساوی تمام ضخامت را در بر گرفته‌اند که سن آنها ائوسن میانی- بالایی می‌باشد (برهمند، ۱۳۹۰).

۲-۳-۲-۵- واحد تبخیری ائوسن (Eog)

این واحد شامل لایه‌های گچ سفید رنگ و گاهی قرمز رنگ می‌باشند. ترکیب این گچ‌ها عمدتاً ژپس می‌باشد و انیدریت به ندرت یافت می‌شود. در این واحد می‌توان لایه‌های چندی از مارن خاکستری تا سبز کم‌رنگ را نیز مشاهده کرد. مارن‌های مذکور گاهی به مارن‌های گچی تبدیل شده و در میان آنها نیز می‌توان بنتونیت یافت. در قسمت مارنی زیر گچ‌ها و یا درون آنها لایه‌های آهکی فسیل‌دار دیده می‌شود که به احتمال زیاد متعلق به ائوسن بالایی- الیگوسن می‌باشند. به همین علت می‌توان سن این واحد را تا الیگوسن هم در نظر گرفت (برهمند، ۱۳۹۰).

این واحد در قسمت‌های پایین‌دست منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد و احتمالاً باعث افزایش سولفات، کلسیم، سدیم، کلر و TDS آب رودخانه می‌شود.

۲-۳-۲-۶- سازند قم (OMq)

این سازند شامل مارن، سنگ آهک و در بخش زیرین همراه با کنگلومرا است که به‌طور ناپیوسته و هم‌شیب بر روی نهشته‌های واحد Eog قرار گرفته است. در این سازند تغییر و تبدیل‌های زیاد جانبی و عمودی رخساره‌ها، گسل خوردگی‌های فراوان غالباً ناپیدا و فرسایش منطقه باعث شده که تقسیم‌بندی و به‌ویژه تطابقات آن با برش‌های مجاور و دورتر دشوار شود و در روی نقشه، به گونه‌ای تفکیک نشده نشان داده شوند. در منطقه مورد مطالعه، همبری این واحد با نهشته‌های میوسن پایینی

(سازند قرمز فوقانی)، پیوسته و هم‌شیب و گاهی ناپیوسته و با یک تا دو متر کنگلومرا در قاعده است. ویژگی خاص و اهمیت سازند قم در این است که با توجه به اینکه سازندی تخریبی، دریایی و تبخیری می‌باشد، جهت اکتشاف مواد هیدروکربنی از جمله نفت و گاز حائز اهمیت می‌باشد. همچنین واحدهای گچ و نمک‌دار در این سازند پتانسیل خوبی برای استخراج این مواد هستند. سن این سازند الیگومیوسن تا میوسن پیشین و آن را معادل سازند آسماری در زاگرس می‌دانند (درویش‌زاده، ۱۳۸۵). بیرون‌زدگی این واحدها به علت خاصیت محلول‌شدگی بسیار بالای واحدهای تبخیری چون گچ و نمک، کیفیت آب حوضه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این سازند در پایین‌دست منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد و احتمالاً باعث افزایش سولفات، کلسیم، سدیم، کلر و TDS می‌شود و کیفیت آب رودخانه را پایین می‌آورد (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- نمایشی از رودخانه در محل سازند تبخیری قم

۲-۳-۲- سازند قرمز فوقانی

سازند قرمز فوقانی به علت قرار داشتن در بالای سازند قم و به علت تشابه اسمی و لیتولوژیکی با سازند قرمز پایینی، به این اسم نامگذاری شده است. این نام در سال ۱۳۵۰ توسط زمین‌شناسان شرکت نفت برای بیرون‌زدگی‌هایی که در تپه ماهورهای دشت قم وجود داشت بکار رفت. این سازند شامل لایه‌های ضخیم قرمز رنگ گچ و نمک‌دار است که رسوبات سازند قم را می‌پوشاند. سن این سازند را در ناحیه‌ی قم به میوسن میانی تا فوقانی نسبت می‌دهند. زمین‌شناسان شرکت نفت این سازند را در این

ناحیه به دو زیر واحد تقسیم کرده‌اند (آقابات، ۱۳۸۳).

این سازند در ایستگاه‌های انتهایی منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد و احتمالاً باعث افزایش یون‌های کلسیم، سولفات، کلر، سدیم و TDS در آب رودخانه و همچنین لایه‌های آهن‌دار در این سازند از طریق اکسی-هیدروکسیدهای آهن بر توزیع فلزات سنگین در منطقه مؤثر می‌باشد، به این صورت که میزان فلزات سنگین را در آب رودخانه کاهش و در رسوبات افزایش می‌دهند (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- نمایی از لایه‌های آهن‌دار سازند قرمز فوقانی، دید به سوی شمال

- زیر واحد تبخیری زیرین (M1)

در منطقه مورد مطالعه زیر واحد تبخیری زیرین (M1) رخنمون دارد. این زیر واحد دارای ضخامت ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر، متشکل از نمک، انیدریت، لایه ریگدار، شیل‌های نازک لایه قیری و رس‌های نمک‌دار قرمز تیره می‌باشد (آقابات، ۱۳۸۳).

- زیر واحد تبخیری فوقانی (M2)

این واحد تبخیری متشکل از مارن‌های گچ‌دار و ماسه سنگهای قرمز-قهوه ای تیره رنگ در قسمت تحتانی، مارن و ماسه سنگهای زرد قهوه ای تا قرمز روشن در قسمت فوقانی است.

۲-۳-۸- سری قاره‌ای پلیوسن (Plc)

رخساره عمومی این واحد شامل تناوب کنگلومرا، مارن قرمز رنگ سیلت‌دار و گاهی میان لایه‌های ماسه‌سنگی و سیلت سنگی می‌باشد. کنگلومراهای این واحد، چندزادی‌اند. قلوه‌های آنها، نیمه مدور تا مدور و با قطری از ۱۰-۲۰ سانتی‌متر و گاهی بیشتر در زمینه ماسه‌ای-سیلتی کمی آهکی و گاهی رسی قرمز رنگ قرار دارند. لایه‌بندی‌هایی به ضخامت ۱ متر تا ۴-۶ متر و گاهی بیشتر از آنها دیده شده است (برهمند، ۱۳۹۰). این سازند در ایستگاه‌های انتهایی منطقه مورد مطالعه (سرشاخه دلیچای) رخنمون دارد که بیشتر از ماسه‌سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است و تا حدودی باعث تصفیه آب می‌شود.

۲-۳-۹- نهشته‌های کواترنری و رسوبات آبرفتی

این رسوبات و نهشته‌ها که عملاً بدون چین‌خوردگی ناحیه‌ای می‌باشند، بیشتر شامل رسوبات بر جای گذاشته شده توسط رودخانه‌های عهد حاضر می‌باشند. این رسوبات، واریزه‌ها و مخروط‌افکنه‌های رسی هستند که در دامنه ارتفاعات و با کم شدن شدت و سرعت آب رودخانه بر جای گذاشته شده‌اند. نهشته‌های کواترنری بر اساس عامل بوجود آورنده آنها به چند دسته زیر تقسیم می‌شوند (برهمند، ۱۳۹۰).

- نهشته‌های آبرفتی (Qt)

بر اثر فعالیت رودخانه‌ها و سیلاب‌ها در دشت‌ها و دامنه‌های ما بین کوه‌ها و در دو پهلوی مسیر رودخانه‌ها به‌وجود آمده‌اند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی به‌صورت Qt1 و آبرفت‌های جدید که در ارتفاع پایین‌تری قرار دارند، به‌صورت Qt2 مشخص شده‌اند و عمدتاً دارای پوشش گیاهی می‌باشند. در منطقه مورد مطالعه آبرفت‌های قدیمی وجود دارند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی از درجه چسبندگی نسبتاً ضعیف و مورفولوژی تپه ماهوری برخوردارند. اجزا تشکیل دهنده آنها عمدتاً شامل گراول‌های آهکی و ماسه‌سنگی است که در زمینه سیلتی-رسی قرار دارند. از دید کلی این رسوبات دارای

ویژگی‌هایی هستند که آنها را از نهشته‌های قدیمی‌تر متمایز می‌سازد. این ویژگی‌ها شامل: لایه‌بندی افقی و عدم چین و گسل خوردگی، جورشدگی، گردشدگی و سخت‌شدگی ضعیف و فرسایش‌پذیری بالا می‌باشد (برهمند، ۱۳۹۰).

– نهشته‌های کانال (Qal)

این واحد، شامل انباشته‌های آبرفتی سخت نشده و سست بستر رودخانه‌هاست که شامل شن و ماسه می‌باشند. ماسه‌ها و شن‌ها در پاره‌ای از نقاط رودخانه‌ها جهت آسفالت و عملیات ساختمانی مورد استخراج قرار گرفته‌اند. گاهی گیاهان خودرو و بخش کشاورزی قسمت‌هایی از این رسوبات را پوشانده است (برهمند، ۱۳۹۰).

فصل سوم

مروری بر مطالعات پیشین

۳-۱- مقدمه

رودخانه‌ها، شاخص آب‌های روان هستند که در مقابل، آب‌های ساکن نظیر دریاچه‌ها قرار دارند. با وجود وابستگی‌هایی که محیط‌های آبی با یکدیگر دارند این دو محیط از نظر خصوصیات زیستگاهی از یکدیگر متمایزند. خصوصیات ویژه رودخانه‌ها و دامنه گسترده آنها، امکان حفاظت، کنترل و نظارت آنها را به‌عنوان یک زیستگاه، بسیار دشوار می‌سازد (پورقاسم، ۱۳۸۸). فرایندهای فیزیکی از جمله انحلال و رقیق شدن، تخلیه آلاینده‌ها به ساحل و جذب آلاینده‌ها توسط رسوب و تبخیر آلاینده‌ها باعث خودپالایی رودخانه‌ها می‌شوند. همچنین فرایندهای شیمیایی از جمله هیدرولیز، تحولات فتوشیمیایی و اکسیداسیون-احیاء به کاهش آلودگی رودخانه‌ها کمک می‌کنند (Ostroumov, 2004).

فلزات سنگین نشأت گرفته از ساختارهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی اغلب در آب و رسوبات رودخانه‌ها تشخیص داده شده‌اند. آلودگی فلزات سنگین به‌تدریج به یک نگرانی عمده در سراسر جهان تبدیل شده است. توزیع فلزات سنگین در آب معمولاً به شکل گونه‌های محلول در آب، کلوئید، به حالت تعلیق و فاز رسوبی می‌باشند. با این حال بر خلاف آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین توسط فرایندهای طبیعی تجزیه نمی‌شوند، بلکه آنها معمولاً در رسوبات توسط ارگانیسم‌ها یا دیگر ترکیبات غنی می‌شوند. در اغلب موارد بیش از ۹۹٪ فلزات ورودی به رودخانه‌ها در رسوبات ذخیره می‌شوند. بعضی از فلزات موجود در رسوب در زمان‌های طولانی به‌صورت نامحلول باقی می‌مانند اما برخی دیگر به‌دلیل تنوع ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب، در شرایط خاص وارد آب شده و در دسترس موجودات زیستی قرار می‌گیرند. فلزات سنگین معمولاً دارای سمیت قابل توجهی برای موجودات آبی می‌باشند و از طریق زنجیره غذایی بر سلامت انسان اثر می‌گذارند (Gomez-Para et al., 2000).

فلزات سنگین پس از ورود به بدن با مولکول‌های زیستی بدن مانند پروتئین‌ها و آنزیم‌ها واکنش داده و در متابولیسم بدن دخالت می‌نمایند (Duruibe et al., 2007). برخی از فلزات سنگین اهمیت زیستی دارند اما برخی از آنها در بدن موجودات زنده و انسان اثرات سمی می‌گذارند و باعث بیماری‌های مختلف می‌شوند. از این‌رو درک درستی از شرایط شامل غلظت فلزات و حالت‌های

اکسیداسیونی آنها و چگونگی واکنش‌های بیوشیمیایی و همچنین منابع و فرایندهای شستشو و چگونگی رسوب کردن فلزات در منابع آب امری لازم به‌شمار می‌رود.

در این فصل به بررسی عوامل مؤثر در تحرک عناصر سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌ها و پیشینه تحقیق درباره آنها در ایران و جهان و مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۳-۲- عوامل مؤثر در تحرک عناصر سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه

۳-۲-۱- Eh-pH

pH یک پارامتر کلیدی در کنترل انتقال و تحرک فلزات سنگین در آب و رسوبات می‌باشد. با کاهش pH در رسوبات، رقابت بین H^+ و فلزات محلول برای اتصال به لیگاندهایی مانند (OH^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , S^{2-} and Phosphates) بیشتر می‌شود. در نتیجه این امر باعث کاهش جذب و افزایش زیست دسترس‌پذیری فلزات سنگین می‌شود (Gundersen et al., 2003). در pH های مشابه فلزات سنگین تحرک‌های متفاوتی دارند (Valerie et al., 2004). به طور کلی تحرک عناصر در محیط‌های رسوبی وابسته به تغییرات فیزیکوشیمیایی از جمله Eh-PH در آب همجوار رسوب می‌باشد. افزایش pH آب و قلیایی شدن محیط آب می‌تواند عامل مهمی در رسوب عناصر سنگین به شکل هیدروکسیدهای نامحلول، کربنات‌ها و اکسیدها باشد (El Bouraie et al., 2010). از نحوه واکنش و تغییرات گونه‌های حساس به pH در یک محیط، می‌توان برای تعیین اثر ورود یک عامل آلاینده به‌خصوص عامل انسان‌زاد استفاده کرد (Eby, 2004). برای بررسی و تحلیل تهنشینی و انحلال فلزات در محیط‌های مختلف، تعیین شرایط Eh-pH محیط امری مهم و ضروری می‌باشد (Bradl, 2005). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شرایط Eh-pH نقش بسیار مهمی در انحلال‌پذیری، قابلیت تحرک، دسترس‌پذیری و رسوبگذاری عناصر در محیط‌های آبی ایفا می‌کند.

۳-۲-۲- مواد آلی

ترکیب‌های کربن با منشأ طبیعی یا انسان‌زاد در محیط زیست پراکنش گسترده‌ای دارد. کربن در آب، عموماً به شکل کربن آلی حل شده^۱ (DOC)، کربن آلی ذره‌ای^۲ (POC)، یا کربن آلی کل^۳ (TOC) گزارش می‌شود. منابع کربن می‌تواند برجا (ماده گیاهی و خاک) و نابرجا (جلبک‌ها و تجزیه باکتریایی و شیمیایی) باشد. در محیط‌های آبی کوچک نظیر رودها و دریاچه‌های کوچک منابع نابرجا غالب هستند، در حالیکه در محیط‌های بزرگ از جمله در اقیانوس‌ها منابع برجا چیرگی دارند. روند کاهشی کربن آلی در محیط‌های آبگین به‌ترتیب: باتلاق، مرداب، دریاچه پرغذا، رودخانه، دریاچه کم غذا، بارش، آب زیرزمینی و آب دریا می‌باشد (Eby, 2004).

در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها مواد آلی عمدتاً هومیک و فولویک هستند. کمپلکس مواد آلی با فلزات سنگین معمولاً برای تشخیص مسیر واکنش‌های مهم از جمله واکنش‌های گونه‌سازی و زیست‌دسترس‌پذیری و همچنین در ردیابی تحرک فلزات سنگین در محیط‌های آبی مؤثر می‌باشد. در رودخانه‌های به‌شدت آلوده، با توجه به تنوع مواد آلی، انواع واکنش بین مواد آلی و فلزات سنگین پیش‌بینی می‌شود و غالباً ماده آلی همبستگی بالایی با این فلزات در رسوبات را دارا می‌باشند (Feng Peng et al., 2009). ماده آلی باعث لخته کردن فلزات سنگین در آب و رسوبات گردیده و با جذب این فلزات در نهایت بر توزیع فلزات سنگین مؤثر می‌باشد (Zourarah et al., 2008). وجود مواد آلی می‌تواند باعث افزایش تحرک و انتقال فلزات سنگین و یا باعث کاهش تحرک این عناصر شود (Kalbitz and Wennrich, 1998). اگر فلزات سنگین با مواد آلی کمپلکس‌های محلول تشکیل دهند تحرک آنها افزایش می‌یابد و اگر کمپلکس‌های نامحلول تشکیل دهند، این امر باعث تثبیت فلزات سنگین می‌شوند (Feng Peng et al., 2009). در واقع حضور مواد آلی در رسوبات عامل مهمی در

^۱- Dissolve Organic Carbon

^۲- Particulate Organic Carbon

^۳- Total Organic Carbon

گونه‌سازی، نگهداشت و جذب فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ها محسوب می‌گردد.

۳-۲-۳- بافت رسوب

در رودخانه‌ها با حرکت از سمت بالادست به سمت پایین‌دست، ذرات موجود در رسوبات دانه‌ریزتر می‌شوند. اندازه دانه عامل مهمی در توزیع فلزات سنگین در رودخانه‌ها می‌باشد. به‌طوری‌که به‌عنوان مثال در رودخانه Keelung در تایوان با افزایش درصد رسوبات ریزدانه غلظت آهن و آلومینیوم افزایش یافته است (Huang and lin, 2003). جذب سطحی گونه‌های آلی و غیرآلی توسط ذرات، نقش مهمی در توزیع این گونه‌ها در محیط دارند. مساحت سطح ذره در جذب و آزادسازی عناصر عامل مهمی می‌باشد. هرچه اندازه ذره کوچکتر باشد نسبت سطح به حجم بزرگتر شده و مکانیسم جذب سطحی نقش مؤثرتری در نگهداشت عناصر سنگین در رسوبات را ایفا می‌کند (Eby, 2004). بنابراین دانه‌ریز بودن ذرات عامل مهمی در جذب و آزادسازی عناصر می‌باشد.

۳-۲-۴- پتانسیل یونی

یون‌های هر محلول، مولکول‌های آب را به طرف خود جذب کرده و یون‌های آبپوشانی شده را تشکیل می‌دهند. پتانسیل یونی هر عنصر در تعیین چگونگی رسوب کردن آن، در حین تشکیل سنگهای رسوبی، نقش اساسی داشته و در تمام فرایندهای کانی‌ساز محیط‌های آبگین نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. عناصری که پتانسیل یونی پایینی دارند، مانند سدیم، کلسیم و منیزیم، در ضمن فرایندهای هوازگی و انتقال به‌صورت محلول در محیط‌های آبی باقی می‌مانند. عناصر دارای پتانسیل یونی حدواسط، به‌وسیله‌ی فرایند هیدرولیز رسوب کرده و یون آنها با گروه‌های هیدروکسیل محلول‌های آبگین، هم‌جوار می‌شود. عناصری که پتانسیل یونی بیشتری دارند آنیون‌های اکسیژن‌دار تشکیل می‌دهند (میسون و مر، ۱۳۸۳). در واقع پتانسیل یونی با تأثیر بر انحلال و رسوبگذاری عناصر از جمله عوامل مهم در مکانیسم پراکنش عناصر در محیط‌های آبی محسوب می‌گردد.

۳-۳- پیشینه تحقیق در ایران

آلودگی آب و رسوبات سطحی رودخانه‌ها موضوع و هدف بسیاری از تحقیقات در کشور ما بوده و می‌باشد.

قاسم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه کشکان (از اتصال سرشاخه مادیانرود) به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب رودخانه کشکان بیشتر تحت تأثیر سازندهای تبخیری و کربناته می‌باشد. آب رودخانه کشکان نسبت به کانیهای کلسیت، دولومیت، همتیت، آراگونیت و گوتیت فوق‌اشباع می‌باشد. غلظت آهن و آلومینیوم بالاتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2008) می‌باشد و غلظت مس، کبالت، سلنیوم، آهن، نیکل و استرانسیوم بالاتر از متوسط غلظت عناصر در آب رودخانه‌ها می‌باشند.

رستمی و همکاران (۱۳۹۱) کیفیت آب رودخانه سیاهرود، استان مازندران را بررسی کردند به این نتیجه رسیدند که تیپ آب این رودخانه در بیشتر نقاط بی‌کربناته و رخساره آن کلسیک و آب رودخانه در رده آب‌های کاملاً سخت قرار می‌گیرد. همچنین بر اساس نمودارهای شولر و ویلکاکس آب رودخانه سیاهرود برای مصارف کشاورزی مانعی ندارد اما برای شرب مناسب نیست.

پوررحیم نجف‌آبادی (۱۳۸۸) آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی شمال شرقی تنگه هرمز (بنادر سیریک و جاسک) و منشأ احتمالی آنها را مورد ارزیابی قرار داد. بررسی غلظت عناصر در سیریک نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، کروم و منگنز در رسوبات سطحی سیریک و میانگین غلظت جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم و آهن در رسوبات سطحی جاسک بیشتر می‌باشد. محاسبه فاکتور آلودگی نشان‌دهنده آلودگی کم تمام فلزات مورد بررسی (غیر از نیکل) در رسوبات سطحی سیریک و جاسک بود. بررسی نحوه پراکنش و منشأ فلزات در آب و رسوبات رودخانه‌ها در تحقیقات مختلف نشان داد که منابع مختلف زمین‌زاد و بشرزاد در حضور این فلزات در رسوبات می‌توانند نقش اساسی داشته باشند.

دریکوند (۱۳۸۹)، در تحقیقی به بررسی منشأ آلودگی در رودخانه سفید رود پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که رودخانه سفیدرود با معضل ورود انواع پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری

مواجهه است. در بعضی از نقاط رودخانه، کیفیت آب در شرایط کمتر از حد استاندارد حیات آبریان می‌باشد که می‌بایست تمهیدات لازم صورت بگیرد.

در حال حاضر میزان زیادی فاضلاب صنعتی، شهری و کشاورزی وارد رودخانه زرجوب می‌گردد، این امر موجب آلوده شدن آب این رودخانه و خاک‌های کشاورزی اطراف آن گردیده است. آلودگی خاک و آب به فلزات سنگین ضمن کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولید کشاورزی و سلامت افراد جامعه را به خطر می‌اندازد. با توجه به بررسی‌های آماری و آنالیزهای انجام شده، غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه و خاک‌های تحت کشت اطراف آن بالا و این مناطق در معرض آلودگی شدید می‌باشد (خزایی و همکاران، ۱۳۹۰).

برآورد سهم طبیعی و بشرزاد عناصر سنگین در رسوبات رودخانه جاجرود توسط کرباسی و همکاران (۱۳۸۷) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق بیانگر بالا بودن ورودی عناصر سرب و منگنز از منابع انسان‌زاد می‌باشد که می‌تواند نگران کننده باشد. نتیجه شاخص‌های ژئوشیمیایی بیانگر آلودگی کم رسوبات رودخانه به دو فلز سرب و منگنز بوده است.

خراط صادقی و کرباسی (۱۳۸۵)، طی مطالعه و ارزیابی غلظت و منشأ فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه شیروود بیان کردند که عناصر Ni و V بالاترین درصد آلودگی را در مصب رودخانه داشته‌اند که این دو عنصر نشان‌دهنده آلودگی نفتی در منطقه می‌باشد.

۳-۴- پیشینه تحقیق در جهان

تحقیقات بسیاری در راستای ارزیابی آلودگی آب و رسوبات رودخانه‌ها در جهان صورت پذیرفته است که در ادامه به نمونه‌هایی از آنها اشاره می‌گردد.

ارزیابی وضعیت آلودگی زیست محیطی در رسوبات و ذرات معلق رودخانه Danube در آلمان در سال ۲۰۰۱ انجام شد. وضعیت آلودگی رودخانه با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی بررسی شد. در ۷۴ نمونه مورد بررسی، بجزء یک نمونه میزان فلزات آرسنیک، نیکل، جیوه، کروم، سرب و روی پایین بود. با این

حال میزان غلظت کادمیوم در رسوبات و ذرات معلق از بالادست به سمت پایین‌دست افزایش نشان داد (Woitke et al., 2003).

آکی و همکاران در سال ۲۰۰۳ به مطالعه آلودگی فلزات مس، کبالت، کروم، منگنز، آهن، مس، روی، سرب و نیکل در رسوبات دو رودخانه Buyak Menderes و Gediz در ترکیه پرداختند. نتایج نشان‌دهنده آلودگی قابل توجه به‌خصوص برای فلزات سرب، کروم، منگنز و روی در رودخانه Gediz و کبالت و منگنز و روی در رودخانه Buyak Menderes می‌باشد. مقایسه بین کیفیت رسوب در قبل و بعد از صنعتی شدن و استفاده از کودهای کشاورزی در این دو رودخانه نشان داد که بخش اعظم آلودگی در این رودخانه از فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی سرچشمه می‌گیرید (Akçay et al., 2003).

افزایش شدید و سریع میزان غلظت فلزات سنگین در رودخانه می‌تواند یکی از نشانه‌های آلودگی بشرزاد باشد. افزایش مستمر در آلودگی فلزات سنگین رودخانه‌ها باعث افزایش نگرانی توانایی ورود فلزات به بدن موجودات زنده و تراکم و توزیع موجودات آبرزی گردیده است. رسوبات رودخانه‌ها و باتلاق‌های مجاور به‌عنوان مخازنی برای فلزات سنگین عمل کرده و غلظت آنها را با عوامل فیزیکی و شیمیایی کنترل می‌کنند. غلظت کروم، مس، سرب، روی، تیتانیوم، منگنز، استرانسیوم و قلع در مصب و قسمتی از رودخانه Swartkops در آفریقای جنوبی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت در مناطقی بود که فاضلاب‌های مسکونی و صنعتی وارد رودخانه می‌شد. مقایسه این نتایج با نتایج ۲۰ سال قبل نشان می‌دهد که اکوسیستم رودخانه Swartkops در حال تخریب شدن است (Binning and Baird, 2001).

هوازگی شیمیایی و در نتیجه ترکیب آب در رودخانه Ganga در هیمالیا مورد مطالعه قرار گرفت. برای اولین بار نمونه‌برداری زمانی و مکانی به فواصل ماهانه به‌مدت یک سال برای تجزیه و تحلیل عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی انجام شد. نتایج نشان داد که تغییرات فصلی و هوازدگی فیزیکی و شیمیایی عامل تغییرات غلظت عناصر در آب رودخانه می‌باشد. تیپ آب رودخانه بی‌کربناته می‌باشد.

همچنین نتایج نشان داد که سنگ کربناته، سنگ غالب در شیمی آب این رودخانه می‌باشد. بیش از ۸۰٪ سدیم و پتاسیم از سیلیکات سنگها مشتق شده است (Chakrapani, 2005).

غلظت فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، جیوه، مس، روی، سرب و آرسنیک) در میانه و پایان دست رودخانه یانگ‌تسه در چین مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل حاصل از همبستگی و آنالیز PCA نشان داد که فلزات سنگین (جیوه، کادمیوم، سرب، روی، کروم و مس) به‌طور عمده از فرآوری فلزات، آبکاری صنایع، فاضلاب صنعتی و فاضلاب خانگی منشأ گرفته‌اند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آرسنیک و نیتروژن در این رودخانه نیز مشاهده شده است. نتایج این تحقیق برای بهبود محیط زیست آبزیان، بهبود شرایط هیدرولوژیکی و کاهش تخلیه فاضلاب‌های داخلی و صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. به‌طور خلاصه کنترل غلظت آلاینده‌های ورودی و کاهش بار آلودگی رودخانه‌ها از جمله موثرترین اقدامات برای کنترل کیفیت رودخانه می‌باشد (Yi et al., 2011).

روش‌های آماری چند متغیره مانند FA, DA, PCA, CA در طول سه سال (۱۹۹۹-۲۰۰۱) جهت نظارت بر داده‌های کیفیت آب رودخانه Gomti در هند بکار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که هوازدگی خاک، آبشویی و رواناب، فاضلاب شهری و صنعتی و محل دفن زباله از عوامل افت کیفیت آب رودخانه بوده‌اند. همچنین سینک و همکاران در سال ۲۰۰۵ میزان غلظت کروم در رسوبات رودخانه Gomti در کشور هند را مورد بررسی قرار دادند. ایشان بالا بودن میزان غلظت این عنصر را به استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی اطراف رودخانه و همچنین ورود پساب صنعت رنگرزی اطراف رودخانه دانستند (Singh et al., 2005).

بر اساس مطالعاتی که توسط هویتزنگا در سال ۲۰۰۴ بر روی تأثیر عوامل طبیعی و انسان‌زاد روی کیفیت آب رودخانه‌ها انجام گرفت، علت بالا رفتن بعضی از فاکتورهای کیفیت آب را چنین بیان کرد (Hhuizenga, 2004):

۱- بالا رفتن میزان فسفات در آب‌های سطحی به سبب انحلال کانیه‌های فسفات‌دار (آپاتیت) می‌باشد.

۲- انحلال کانی فلوئورید (CaF_2) در سنگها باعث بالا رفتن فلوئور در آب‌های سطحی می‌شود.

۳- میزان pH پایین در آب‌های سطحی به سبب حضور کانیهای سولفیدی در سنگهاست. در تحقیقی دیگر تأثیر فعالیت‌های انسانی و عوامل محیطی بر روی پارامترهای شیمیایی و فیزیکی (دما، سختی، pH، کربن آلی و اکسیژن محلول) در آب رودخانه Pinios در کشور یونان مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی نشان داد که علت افزایش دمای آب در نزدیکی شهرها، آلودگی حرارتی ناشی از فاضلاب شهری و صنعتی می‌باشد. همچنین میزان بالای سختی و هدایت الکتریکی را به فعالیت انسانی و زمین‌شناسی منطقه نسبت دادند (Bellos and Sawidis, 2005).

۳-۳-۳- مطالعات انجام گرفته در محدوده مورد مطالعه

تحقیقاتی که تاکنون در منطقه مورد مطالعه انجام شده است، در ادامه به‌طور خلاصه آورده شده است:

- قره چلو و حسینی (۱۳۹۰) طی تحقیقی تحت عنوان بررسی راهکارهای کاهش شوری آب رودخانه حبله‌رود از دیدگاه مسائل عمرانی با استفاده از GIS و RS، راهکارهایی جهت کنترل شوری مانند جلوگیری از پیوستن آبراهه‌های شور به رودخانه اصلی با تزریق آب‌های شور به چاه‌های عمیق، مسدود کردن چشمه‌ها با سیمان، انتقال آب به حوضچه‌های ساخته شده توسط کانال و تبخیر نمک آنها، جداسازی و انتقال آب شور به مناطق دیگر پیشنهاد دادند.

- تغییرات بار رسوبی یک رودخانه، شاخصی جهت نشان دادن وضعیت فرسایش خاک و شرایط اکولوژیکی حوضه رودخانه می‌باشد. از دیدگاه زیست‌محیطی نقش رسوبات معلق در انتقال عناصر، سموم و آلاینده‌ها مهم می‌باشد. سبهبانی و ملکیان (۱۳۹۰) در تحقیقی برآورد میزان ذرات معلق به روشهای مختلف (مطالعه موردی حوضه آبخیز حبله‌رود)، توسط سه روش مدل خطی، حدوسط و مدل چند خطی را آزمایش کردند، آنها به این نتیجه رسیدند که روش آماری حدوسط در مقایسه با دو روش دیگر دارای کمترین میزان خطا بوده و به‌عنوان روش مناسب انتخاب شد.

- نقشه حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود توسط سازمان آب منطقه‌ای استان سمنان تهیه شده است.

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ رودخانه حبله‌رود توسط سازمان منابع طبیعی استان سمنان تهیه

شده است.

- بررسی جایگزنی PAC به جای آلوم در تصفیه‌خانه آب گرمسار، توسط دهرآزما و ساغروانی در سال ۱۳۸۹ زیر نظر شرکت آب و فاضلاب شهری استان سمنان انجام شد. در این تحقیق کیفیت آب رودخانه حبله‌رود در هنگام ورود به تصفیه‌خانه گرمسار مورد ارزیابی قرار گرفت.

- پایش کیفی رودخانه حبله‌رود، توسط باطبی و منصوریان در سال ۱۳۸۱ زیر نظر شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان انجام شد به این نتیجه رسیدند که با انتقال آب از سیمین‌دشت تا گرمسار توسط کانال سیمین‌دشت تأثیر تشکیلات شور بر کیفیت آب رودخانه حبله‌رود را کاهش و از هرگونه فعالیت صنعتی در اطراف رودخانه جلوگیری کنند.

لازم به ذکر است تاکنون هیچ‌گونه مطالعه جامعی در مورد بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه حبله‌رود مطالعه صورت نگرفته است.

فصل چہارم

مواد و روشہا

۴-۱- مقدمه

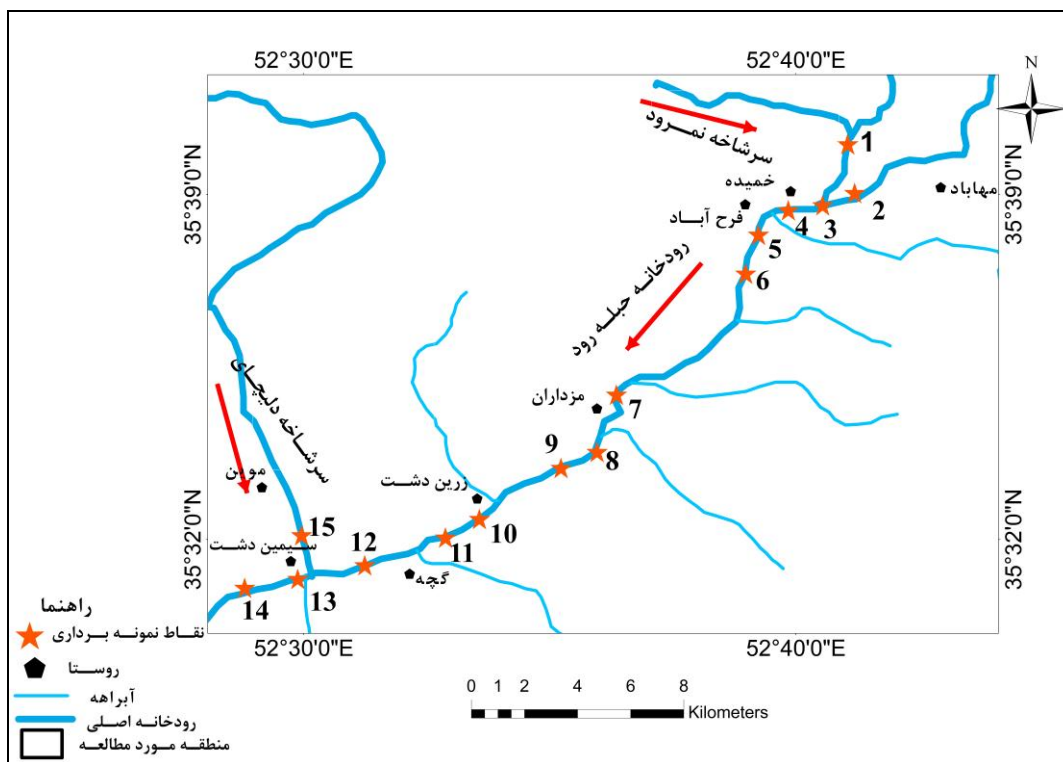
برای دستیابی به نتایج دقیق و تعیین ارتباط آلودگی با عوامل به وجود آورنده آن در رودخانه حبله رود، بکارگیری روشهای مناسب در طول تحقیق امری ضروری است. در این فصل به بیان نحوه نمونه برداری، مشخصات ایستگاههای نمونه برداری، روشهای بکار رفته، شاخصهای ژئوشیمیایی، روشهای آماری و نرم افزارهای مورد استفاده پرداخته شده است.

۴-۲- تعیین ایستگاههای نمونه برداری آب و رسوب

با توجه به تحقیقات و مطالعات مشابه انجام شده، بازدیدهای صحرایی از منطقه و همچنین با در نظر گرفتن نحوه توزیع روستاها، شهرها و مناطق کشاورزی، شاخههای فرعی ورودی به رودخانه و تغییرات لیتولوژی منطقه، ایستگاههای نمونه برداری تعیین و نمونه برداری از آب و رسوب صورت گرفت. موقعیت و نام ایستگاهها به ترتیب از بالادست به سمت پایین دست روخانه در شکل (۴-۱) و جدول (۴-۱) آورده شده است. سرشاخههای مهم ورودی به رودخانه در منطقه مورد مطالعه، سرشاخه نمرود و دلیچای می باشند.

جدول ۴-۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاههای نمونه برداری

ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)
1	سر شاخه نمرود	E 50 40 76	N 35 39 11
2	حبله رود قبل از تلاقی با نمرود	E 52 40 72	N 35 39 02
3	تلاقی حبله رود و نمرود و بالادست روستای خمیده	E 52 40 67	N 35 39 01
4	پایین دست روستای خمیده و بالادست روستای فرح آباد	E 52 40 28	N 35 38 78
5	پایین دست روستای فرح آباد	E 52 39 17	N 35 38 14
6	بالادست روستای مزاران	E 52 37 46	N 35 35 45
7	روستای مزاران	E 52 35 98	N 33 34 21
8	پایین دست روستای مزاران	E 52 35 40	N 35 33 48
9	بالادست روستای زرین دشت	E 52 35 21	N 35 32 98
10	روستای زرین دشت	E 52 32 78	N 35 31 90
11	پایین دست روستای زرین دشت	E 52 32 25	N 35 31 97
12	بالادست روستای سیمین دشت	E 52 30 18	N 35 31 19
13	روستای سیمین دشت و تلاقی دلیچای و حبله رود	E 52 30 15	N 35 31 14
14	پایین دست روستای سیمین دشت	E 52 30 13	N 35 31 13
15	سرشاخه دلیچای	E 52 29 70	N 35 31 34



شکل ۴-۱- رودخانه حبله‌رود و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۴-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های رسوب و آب

پس از تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، از آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله‌رود (از محل اتصال نم‌رود تا محل اتصال دلیچای به رودخانه حبله‌رود) از ۱۵ ایستگاه در پاییز ۱۳۹۱ نمونه‌برداری صورت پذیرفت. در محل نمونه‌برداری علاوه بر برداشت آب و رسوب پارامترهایی چون طول و عرض جغرافیایی، دما، pH و EC اندازه‌گیری شدند.

۴-۳-۱- نمونه‌های رسوب منطقه

نمونه‌برداری از رسوبات سطحی رودخانه حبله‌رود از ۱۵ ایستگاه در طول رودخانه و از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری و هم‌زمان با نمونه‌برداری آب و پس از کنار زدن قلوه‌سنگ‌های درشت از سه محل در هر ایستگاه (جناح راست، میانه و چپ) جمع‌آوری و در نهایت یک نمونه ترکیبی تهیه گردید. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه در هوای اتاق خشک و برای انجام دیگر آنالیزها آماده گردید.

۴-۳-۲- نمونه‌های آب منطقه

نمونه‌برداری از آب رودخانه حبله‌رود در ۱۵ ایستگاه و در هر ایستگاه در سه محل در عرض رودخانه (جناح راست، میانه و چپ) انجام شد. نمونه‌های برداشت شده با هم مخلوط و به‌عنوان نمونه آب شاخص یک ایستگاه در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری آب به روش نمونه‌برداری ساده انجام گرفت. قبل از نمونه‌برداری برای کاهش خطا نکات زیر رعایت گردید:

- ۱- از ظروف پلی‌اتیلنی بدون هر گونه استفاده قبلی جهت نمونه‌برداری استفاده گردید.
 - ۲- قبل از نمونه‌برداری، ظروف چندین بار با آب رودخانه در همان ایستگاه شستشو داده شدند.
 - ۳- درب ظروف نمونه‌برداری در زیر آب باز و پس از نمونه‌برداری در زیر سطح آب هم بسته شدند.
 - ۴- نمونه‌برداری آب از عمق ۱۵-۲۰ سانتی‌متری زیر سطح آب صورت گرفت.
 - ۵- نمونه‌های آب هر ایستگاه در دو ظرف پلی‌اتیلنی جمع‌آوری شد:
- ظرف یک لیتری: بدون اسید، برای تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها.
- ظرف ۷۵۰ میلی‌لیتری: با اسید نیتریک ۱۰٪ مقدار pH آن به $\text{pH}=3$ رسانده شد.

۴-۴- دانه‌بندی رسوبات

برای تعیین دانه‌بندی، ابتدا رسوب برداشت شده از هر ایستگاه در هوای اتاق خشک و به‌صورت مخروطی شکل در آورده شد و به چهار قسمت تبدیل و یک قسمت آن، (۱۰۰۰ گرم) برای دانه‌بندی جدا گردید. در این مرحله از روش غربال و دستگاه لرزاننده استفاده گردید. از الک ۱۰ مش برای جداسازی ذرات گراول از ماسه و جهت تفکیک انواع ماسه (خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز) از الک‌های ۱۸، ۳۵، ۱۲۰ و ۱۲۰ مش و برای جداسازی ذرات ماسه از گل (سیلت و رس) از الک ۲۳۰ مش استفاده شد. برای دانه‌بندی ذرات، سری الک‌های مذکور را در دستگاه لرزاننده به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده و سپس وزن ذرات بر روی هر الک اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از

مثلت فولک (۱۹۵۴) بافت رسوبات مشخص شد.

۵-۴- تعیین pH

۴-۵-۱- رسوبات

pH، منفی لگاریتم غلظت یونهای H^+ آزاد شده در محیط است. برای اندازه‌گیری pH از روش (EPA SW-846 METOD 9045) استفاده شد. بر طبق این روش، ۲۰ گرم از پودر همگن نمونه رسوب توسط ترازوی حساس وزن گردید و به بشر ۵۰ cc منتقل شد و ۲۰ mL آب مقطر نیز به رسوب اضافه گردید. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه بر روی همزن قرار داده شد. سپس مخلوط حاصل به مدت یک ساعت به حال سکون قرار گرفت و در نهایت pH آن توسط pH سنج (مدل Lutron 2K-2001 CT)، اندازه‌گیری شد.

۴-۵-۲- آب

اندازه‌گیری pH آب رودخانه حبله‌رود با pH متر مدل (Lutron 2K-2001 CT) بعد از نمونه‌برداری از آب رودخانه بلافاصله در محل صورت گرفت.

۴-۶- اندازه‌گیری مواد آلی رسوب

یکی از روشهای غیرمستقیم در اندازه‌گیری مواد آلی، اندازه‌گیری افت وزن در اثر احتراق است. برای اندازه‌گیری مواد آلی موجود در رسوبات از روش APHA, 1995, Standard metod 209f استفاده شد. برای این کار ابتدا بوتلهای چینی مورد استفاده را وزن کرده و یک گرم از نمونه‌های رسوب پودر شده را در داخل بوتلهای چینی ریخته و به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. سپس نمونه‌ها مجدداً وزن شده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از گذشت این زمان نمونه‌ها از کوره خارج شده و دوباره وزن شدند.

از تفاضل وزن قبل و بعد از حرارت دادن در کوره مقدار ماده آلی رسوبات با استفاده از رابطه زیر

محاسبه گردید (Heiri et al., 2001).

$$L.O.I_{550} = (DW_{105} - DW_{550} / DW_{105}) \times 100 \quad \text{رابطه ۱-۴}$$

$L.O.I_{550}$: میزان کاهش وزن در اثر گرما و در واقع درصد مواد آلی، DW_{105} : وزن نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و DW_{550} : وزن نمونه در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۷-۴- اندازه‌گیری میزان کربنات کلسیم رسوبات

برای تعیین درصد کربنات کلسیم از روش کاور (Carver, 1971) استفاده شد. در این روش جهت تعیین میزان کربنات کلسیم، رسوبات موجود در بوته‌چینی بعد از وزن کردن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش تعیین مقدار ماده آلی، دوباره به کوره باز گردانده شده و به مدت دو یا سه ساعت در دمای ۹۰۰ قرار داده شدند. لازم به ذکر است که برای رسیدن دمای کوره به دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۲-۳ ساعت زمان لازم می‌باشد که جزء زمان حرارت محسوب نشد. از روی کاهش وزن نمونه‌های قبل و بعد از حرارت دادن در کوره با استفاده از رابطه ۲-۴ درصد کربنات کلسیم محاسبه گردید.

$$L.O.I_{900} = (DW_{550} - DW_{900} / DW_{550}) \times 100 \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

$L.O.I_{900}$: میزان کاهش وزن در اثر گرما و در واقع درصد کربنات کلسیم، DW_{550} : وزن نمونه در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، DW_{900} : وزن نمونه‌ها در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۸-۴- تعیین EC

۸-۴-۱- رسوب

جهت اندازه‌گیری EC رسوبات از نسبت ۱ به ۵ رسوب به آب مقطر استفاده شد (EPA, 2006). ابتدا ۱۰ گرم از نمونه عبور داده شده از الک ۱۰ مش توسط ترازوی حساس وزن گردید و به بشر ۲۵۰cc

منتقل شده و ۵۰ mL آب مقطر نیز به رسوب اضافه گردید. مخلوط به مدت ۱ ساعت بر روی همزن قرار داده شد. سپس مخلوط را به حال خود گذاشته تا زلال شود و EC آن توسط EC سنج مدل Lutron 2K-2001 CT اندازه‌گیری شد.

۴-۸-۲- آب

EC آب رودخانه حبله‌رود بعد از نمونه‌برداری از آب رودخانه در همان محل با EC متر صحرایی Lutron 2K-2001 CT اندازه‌گیری شد.

۴-۹- تعیین غلظت فلزات سنگین

برای تعیین غلظت عناصر سنگین موجود در نمونه‌های آب از نمونه‌های آبی که در زمان نمونه‌برداری اسیدی شدند استفاده گردید. هضم اسیدی نمونه‌های رسوب با استفاده از تیزاب سلطانی انجام گرفت. غلظت عناصر سنگین شامل سرب، روی، مس، آهن، نیکل، کروم و کادمیوم در نمونه‌های آب و رسوب هضم شده توسط دستگاه جذب اتمی مدل (AA240PS) در آزمایشگاه سازمان محیط‌زیست سمنان اندازه‌گیری شد.

طریقه هضم اسیدی رسوبات (Enviromental Canada, 1990):

- ۱- یک گرم رسوب رد شده از الک ۱۰ مش و کاملاً پودر شده در بشر ریخته شد.
- ۲- ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (16N) به آرامی به بشر اضافه شد.
- ۳- سپس ۴۰ میلی‌لیتر H_2O_2 به مخلوط اضافه شد. بشر را به حال خود گذاشته تا زمانی که هیچ جوششی در آن رخ ندهد.

- ۴- بشر حاوی محلول و رسوب روی Hot Plate برای جوشیدن به مدت یک ساعت گذاشته شد.
- ۵- سپس آنرا از روی Hot Plate برداشته، بعد از سرد شدن، ۲۰۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (مخلوط اسید نیتریک و اسید هیدروکلریدریک به نسبت یک به سه) به آن اضافه کرده و یک شب محلول در

دمای اتاق کنار گذاشته شد.

۶- سپس محلول را به بهم زده و به حال خود گذاشته تا زلال شود.

۷- محلول را فیلتر کرده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد.

۴-۱۰- تعیین غلظت آنیون ها و کاتیون ها و سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی

نمونه های آب

غلظت آنیون ها و کاتیون ها در آزمایشگاه سازمان محیط زیست سمنان اندازه گیری شد. پارامترهایی چون کلسیم، منیزیم و بی کربنات از طریق تیتراسیون، سختی، نیترات، فسفات، کلرید و سولفات از طریق کیت های مخصوص آزمایش مربوط به هر آنیون و یون های سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر (Flame Photometr) اندازه گیری شدند.

۴-۱۱- ارزیابی آلودگی در آب و رسوب رودخانه

جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده های بدست آمده از آنالیزها، از شاخص های ژئوشیمیایی و زیست محیطی و روش های آماری مختلف استفاده گردید که در زیر به آنها اشاره شده است:

- ضریب غنی شدگی (Enrichment Factor).

- شاخص زمین انباشتگی (Geoaccumulation Index).

- ضریب آلودگی (Contamination Factor).

- درجه ی آلودگی اصلاح شده (Modifide Contamination Degree).

- شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index).

- ضریب همبستگی (Correlation Coefficient).

- تحلیل مؤلفه ی اصلی (Principal Component Analysis).

- راهنمای کیفیت رسوب (Sediment Quality Guidance).

شایان ذکر می‌باشد که در این تحقیق جهت ترسیم نمودارها، نقشه‌ها و محاسبات مختلف از

نرم‌افزارهای Arc GIS 9.3, Chemistry, SPSS16, PHREEQC 2.15, Aq.QA, Microsoft Office

استفاده گردید.

فصل پنجم
کیفیت آب و رسوبات رودخانه
حبله رود

۵-۱- مقدمه

در این بخش در ابتدا به بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله رود پرداخته شده و همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها و همچنین همبستگی بین عناصر و پارامترهای مورد مطالعه بررسی شده است. در ادامه نقشه هم‌غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه حبله رود مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ارتباط بین شرایط زمین‌شناسی و فعالیت‌های بشرزاد با نحوه پراکنش این فلزات در آب و رسوبات بررسی شده است. در نهایت آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی و مطالعات آماری ارزیابی شده است.

۵-۲- نتایج اولیه آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در آب و

رسوبات رودخانه حبله رود (از سرشاخه نمرود تا دلیچای)

در جدول‌های ۵-۱ و ۵-۲ نتایج آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌های آب و رسوب منطقه مورد مطالعه، رودخانه حبله رود (سرشاخه نمرود تا دلیچای) آورده شده است.

۵-۳- بررسی تغییرات pH و EC در آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله رود

۵-۳-۱- بررسی تغییرات pH

pH، عامل بسیار مهم و مؤثر بر انحلال، خنثی‌سازی، رسوبگذاری و جهت‌گیری واکنش‌های شیمیایی در فازهای جامد و مایع در محیط‌زیست می‌باشد (Wang et al., 2005). در شکل ۵-۱ و ۵-۲ نقشه پراکنش و مقادیر pH در نمونه‌های آب و رسوب آورده شده است. سازمان بهداشت جهانی، دامنه pH قابل قبول برای آب شرب را بین ۵/۶ تا ۸/۵ اعلام کرده است (WHO, 2011). pH آب رودخانه در تمام طول مسیر رودخانه در محدوده بین ۸/۱۴ تا ۸/۷۸ قرار گرفته است که میانگین آن ۸/۴۱ می‌باشد. دلیل قلیایی بودن آب رودخانه حبله رود را می‌توان تأثیر واحدهای رسوبی آهکی (از جمله

جدول ۵-۱- مقادیر برخی از پارمترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های آب منطقه

Cr	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	TH (mg/L as CaCO ₃)	EC (µmhos/cm)	TDS (mg/L)	pH	Stations
(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)					
۱۹	۲۴	۲۰	۲/۶۰	-	۳	۷۲	۶۴/۰۰	۵۴/۹۱	۲۴/۸۳	۷/۸۶	۲۶۲/۳۰	۹/۱۰	۰/۱۱	۶۴	۲/۷۸	۲۸۵/۱۳	۵۰۳	۳۴۰	۸/۲۵	W1
۲۱	۱۷	۲	۱۲/۹۰	-	۳	۱۵۰	۸۹/۶۰	۹۹/۷۲	۴۰/۸۰	۲۵/۰۴	۳۰۵/۰۰	۱۵/۵۰	۰/۰۸	۱۱۴	۱/۷۶	۶۳۲/۸۵	۷۷۱	۵۱۴	۸/۷۸	W2
۲۳	۲۰	-	۸/۴۰	-	۵	۴۳	۸۹/۶۰	۸۷/۵۲	۳۴/۹۱	۹/۰۰	۲۹۸/۹۰	۱۵/۰۰	۰/۲۲	۹۶	۲/۹۴	۵۸۲/۸۳	۶۸۵	۴۵۸	۸/۵۳	W3
۳۳	۱۷	۳۰	۳/۷۰	-	۶	۹۸	۷۱/۵۲	۳۰/۰۰	۲۶/۵۱	۷/۶۳	۱۸۹/۱۰	۱۶/۵۰	۰/۰۴	۶۶	۲/۳۷	۳۰۱/۸۰	۵۱۵	۴۲۵	۸/۶۳	W4
۲۷	۲۲	۲۰	۲۳/۰۰	-	۳	۱۱۸	۷۸/۴۰	۳۹/۲۶	۲۹/۰۳	۷/۸۶	۲۳۱/۸	۱۲/۵۰	-	۶۵	۲/۵۰	۳۵۶/۹۶	۵۳۹	۶۲۹	۸/۴۹	W5
۲۴	۲۰	۳۰	۲۷/۰۰	-	۴	۸۱	۷۸/۴۰	۳۶/۸۳	۲۹/۸۷	۸/۰۸	۲۵۰/۱۰	۶/۲۰	-	۷۳	۲/۰۲	۳۴۷/۰۰	۵۵۶	۵۶۰	۸/۲۸	W6
۲۷	۲۷	۱۰	۳۲/۰۰	-	۴	۱۲۷	۷۱/۵۲	۳۸/۵۱	۲۹/۸۷	۷/۹۷	۲۳۱/۸۰	۱۲/۵۰	-	۷۳	۱/۶۷	۳۳۶/۶۹	۵۵۰	۶۳۵	۸/۲۶	W7
۲۸	۳۰	۲	۸/۴۰	-	۶	۱۴۳	۷۸/۴۰	۳۴/۴۰	۲۹/۸۷	۸/۰۸	۲۵۰/۱۰	۷/۰۰	۰/۱۸	۷۶	۲/۷۷	۳۳۷/۰۴	۵۵۶	۵۳۹	۸/۳۹	W8
۲۵	۲۶	۲۰	۸/۲۰	-	۴	۲۰۹	۱۰۲/۴۰	۲۷/۳۰	۳۳/۲۳	۸/۲۰	۲۳۱/۸۰	۱۴/۰۰	-	۹۶	۰/۳۹	۳۶۷/۹۳	۵۸۵	۵۲۵	۸/۱۴	W9
۲۸	۲۳	-	۱۹/۸۰	-	۱	۱۲۸	۹۲/۰۰	۳۳/۵۳	۳۸/۲۸	۸/۴۳	۲۰۱/۳۰	۱۶/۰۰	-	۸۳	۱/۱۸	۳۶۷/۴۷	۵۷۹	۴۴۸	۸/۱۹	W10
۲۹	۲۸	۲۰	۳۸/۴۰	-	۵	۱۵۳	۱۰۲/۴۰	۴۳/۱۰	۴۳/۳۲	۷/۸۶	۲۶۲/۳۰	۳۲/۰۰	۰/۰۳	۹۷	۱/۱۸	۴۳۲/۷۱	۶۴۹	۴۰۱	۸/۴۰	W11
۳۴	۳۲	۱۰	۲۰/۱۰	-	۵	۲۰۴	۹۱/۲۰	۴۳/۴۴	۵۵/۹۲	۹/۰۰	۲۸۶/۷۰	۴۸/۰۰	۰/۰۴	۱۱۰	۱/۶۲	۴۰۶/۱۰	۹۰۵	۴۰۱	۸/۴۰	W12
۲۷	۳۱	۲۰	۲/۶۰	-	۶	۸۵	۹۲/۸۰	۶۰/۰۶	۵۴/۲۴	۹/۰۰	۲۴۴/۰۰	۳۸/۰۰	۰/۲۱	۱۱۸	۱/۶۲	۴۷۸/۲۴	۸۳۶	۳۸۱	۸/۳۵	W13
۲۱	۲۴	۳۰	۳/۱۰	-	۵	۱۲۰	۸۹/۶۰	۷۵/۴۲	۵۱/۷۲	۹/۰۰	۳۰۵/۰۰	۴۲/۰۰	۰/۰۴	۸۷	۲/۴۶	۵۳۳/۲۲	۹۳۹	۳۷۶	۸/۴۹	W14
۲۴	۲۴	۱۰	۵/۳۰	-	۸	۷۵	۸۸/۰۰	۶۸/۵۲	-	۷/۸۶	۲۷۴/۵۰	۱۳/۵۰	۰/۱۳	۷۵	۰/۳۶	۵۰۰/۹۳	۶۳۳	۳۴۹	۸/۶۳	W15
۳۴	۳۲	۳۰	۳۸/۴۰	-	۸	۲۰۹	۱۰۲/۴۰	۹۹/۷۲	۵۵/۹۲	۲۵/۰۴	۳۰۵/۰۰	۴۲/۰۰	۰/۲۲	۱۱۸	۲/۹۴	۶۳۲/۸۵	۹۳۹	۶۳۵	۸/۷۸	Max
۱۹	۱۷	۲	۲/۶۰	-	۱	۷۲	۶۴/۰۰	۲۷/۳	۲۶/۵۱	۷/۶۳	۱۸۹/۱۰	۷/۰۰	۰/۰۳	۶۴	۰/۳۶	۳۰۱/۸۰	۵۰۳	۳۴۰	۸/۱۴	Min
۵۰	۷۰	۱۰	۳۰۰۰/۰۰	۳	۲۰۰۰	۳۰۰	-	-	۲۰۰/۰۰	-	-	۲۵۰/۰۰	-	۲۵۰	۵۰/۰۰	-	-	-	۸/۵-۶/۵	(WHO* 2011)

*Drinking Water Standard

فصل پنجم: کیفیت آب و رسوبات رودخانه حبله رود

جدول ۵-۲- مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب منطقه

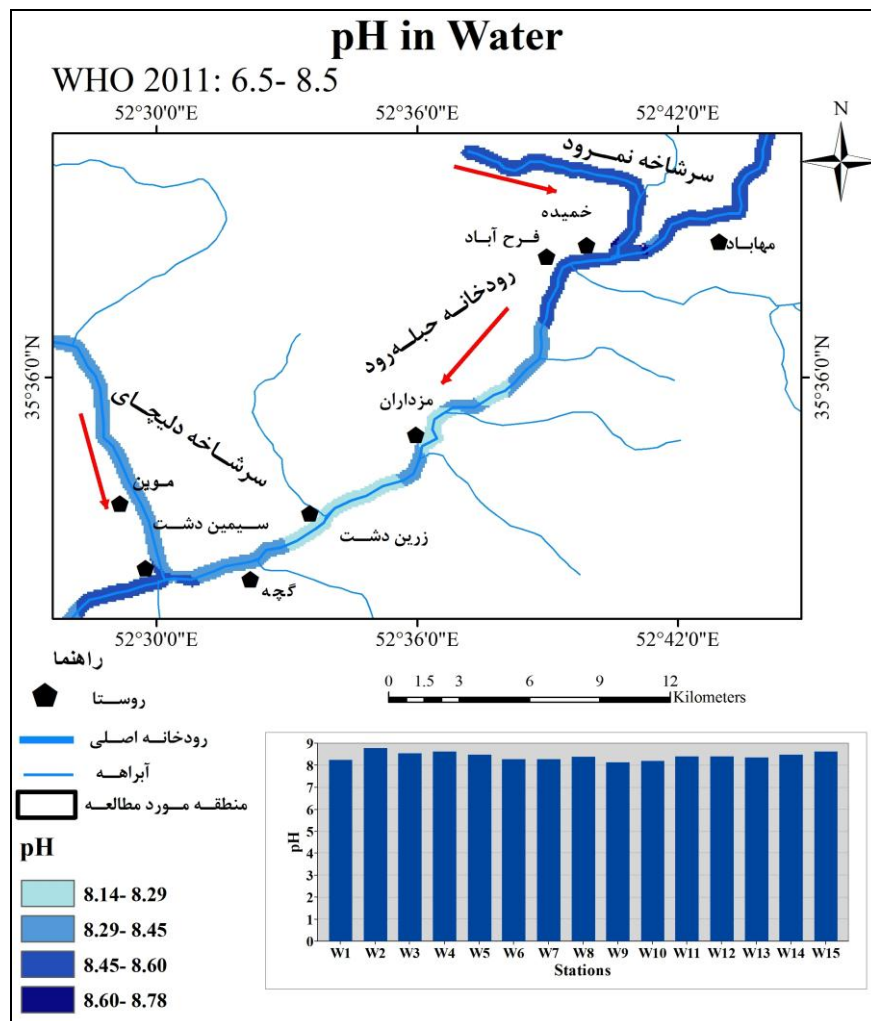
Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	CaCO3 (%)	OM (%)	EC (µmhos/cm)	pH	Stations
۲۰/۹۰	۲۳/۰۰	۲۱	۸۳/۸۴	۰/۸۰	۱۵/۶۰	۲۰۱۱۰	۲/۵۱	۰/۴۴	۲۴۶/۰۰	۸/۲۵	S1
۲۲/۴۰	۲۸/۳۰	۲۷	۱۳/۴۴	۱/۳۰	۱۳/۸۰	۲۷۱۸۰	۴/۴۰	۰/۹۹	۲۲۷/۰۰	۸/۶۵	S2
۲۳/۷۰	۲۹/۴۰	۷۵	۱۲۷/۶۳	۱/۰۰	۱۸/۷۰	۲۱۸۳۰	۵/۱۱	۱/۰۰	۲۲۲/۰۰	۸/۵۳	S3
۱۸/۵۰	۲۳/۱۰	۱۸	۶۱/۶۹	۰/۶۰	۹/۵۰	۱۰۵۲۰	۳/۶۰	۰/۴۶	۱۴۴/۰۰	۸/۵۴	S4
۱۷/۳۰	۲۰/۶۰	۲۲	۱۲۵/۲۸	۰/۶۰	۹/۶۰	۱۶۸۸۰	۲/۳۶	۱/۱۷	۲۰۵/۰۰	۸/۵۴	S5
۲۶/۴۰	۳۶/۴۰	۲۳	۱۰۶/۰۱	۱/۷۰	۱۵/۵۰	۲۱۷۳۰	۲/۹۰	۰/۹۴	۱۶۴/۰۰	۸/۲۳	S6
۲۲/۱۰	۴۶/۹۰	۲۸	۸۸/۰۴	۰/۸۰	۱۴/۱۰	۲۱۱۸۰	۱/۸۱	۱/۱۸	۱۴۷/۰۰	۸/۳۹	S7
۱۹/۱۰	۲۵/۷۰	۲۸	۸۹/۳۲	۰/۸۰	۱۰/۵۰	۱۵۱۲۰	۳/۲۸	۰/۵۵	۲۲۲/۰۰	۷/۹۶	S8
۲۶/۴۰	۲۳/۰۰	۳۰	۸۹/۰۴	۰/۸۰	۱۱/۵۰	۱۳۰۳۰	۲/۱۹	۱/۱۹	۲۲۳/۰۰	۸/۲۷	S9
۱۸/۱۰	۲۷/۷۰	۲۵	۹۱/۵۹	۱/۳۰	۱۰/۷۰	۱۵۴۲۰	۴/۰۲	۰/۱۷	۲۶۱/۰۰	۸/۸۷	S10
۲۰/۸۰	۲۹/۶۰	۲۶	۹۲/۶۳	۰/۹۰	۱۲/۳۰	۱۵۸۸۰	۲/۰۰	۰/۴۰	۲۳۸/۵۰	۷/۸۹	S11
۲۰/۴۰	۲۹/۳۰	۲۰	۷۸/۹۹	۰/۷۰	۱۲/۲۰	۱۵۸۱۰	۴/۲۲	۰/۶۱	۱۸۶/۰۰	۸/۲۱	S12
۱۹/۸۰	۲۶/۴۰	۳۱	۹۳/۶۵	۱/۱۰	۱۲/۶۰	۱۴۹۴۰	۳/۳۳	۱/۴۲	۳۰۶/۰۰	۸/۰۱	S13
۱۷/۹۰	۳۱/۶۰	۲۰	۸۸/۰۰	۰/۹۰	۱۳/۴۰	۲۰۹۵۰	۱/۵۴	۲/۰۷	۱۷۰/۰۰	۸/۰۶	S14
۲۲/۶۰	۲۲/۴۰	۱۹	۷۱/۷۶	۰/۹۰	۱۲/۲۰	۱۹۸۴۰	۳/۹۲	۱/۵۰	۱۸۴/۰۰	۸/۲۵	S15
۲۶/۴۰	۴۶/۹۰	۷۵	۱۲۷/۶۳	۱/۷۰	۱۸/۷۰	۲۷۱۸۰	۵/۱۱	۲/۰۷	۳۰۶/۰۰	۸/۷۸	Max
۱۷/۳۰	۲۰/۶۰	۱۸	۱۳/۴۴	۰/۶۰	۹/۵۰	۱۰۵۲۰	۱/۵۴	۰/۱۷	۱۴۴/۰۰	۷/۸۹	Min
۷۲/۰۰	۵۲/۰۰	۱۹	۹۵/۰۰	۰/۱۷	۳۳/۰۰	۴۱۰۰۰	-	-	-	-	W.M.S*

*World Mean Sediment: Bowen 1979

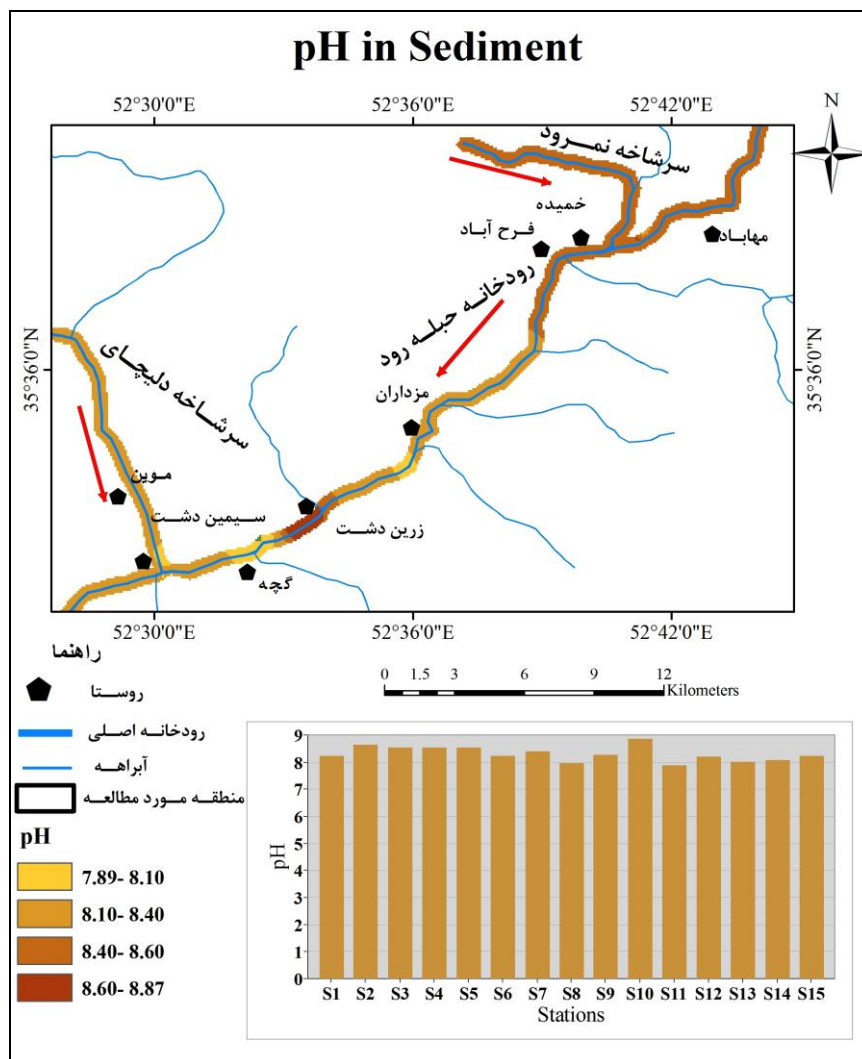
سازند لار و آهک‌های کرتاسه) در منطقه دانست. بالا بودن pH در نمونه W2 (حبله‌رود قبل از اتصال نمرود) تأکیدی بر تأثیر سنگهای آهکی مانند سازند لار و آهک‌های کرتاسه بر مقادیر pH در آب رودخانه می‌باشد.

میانگین pH رسوبات سطحی رودخانه حبله‌رود ۸/۳۱ می‌باشد که قلیایی می‌باشد. بالاتر بودن میزان آن در نمونه S2 (حبله‌رود قبل از تلاقی با نمرود) و نمونه S10 (روستای زرین‌دشت) به دلیل تأثیر سازند آهکی لار، آهک‌های کرتاسه و رخنمون مارن‌ها در منطقه دانست. از بالادست منطقه مورد مطالعه به سمت پایین‌دست میزان pH در آب و رسوبات کم می‌شود حضور بیشتر رخنمون سازندهای کربناته مانند سازند لار، مارن و آهک‌های ائوسن در بالادست را می‌توان دلیل این امر دانست. به طور کلی بازه تغییرات pH در طول مسیر رودخانه (آب و رسوب) کم بوده و روند تغییرات pH در آب و رسوبات تقریباً یکسان می‌باشد و قلیایی بودن هر دو فاز در رودخانه می‌تواند تأثیر بسزایی در میزان حلالیت و رسوب‌گذاری

فلزات سنگین در طول مسیر رودخانه داشته باشد.



شکل ۵-۱- تغییرات مقادیر pH در نمونه‌های آب منطقه

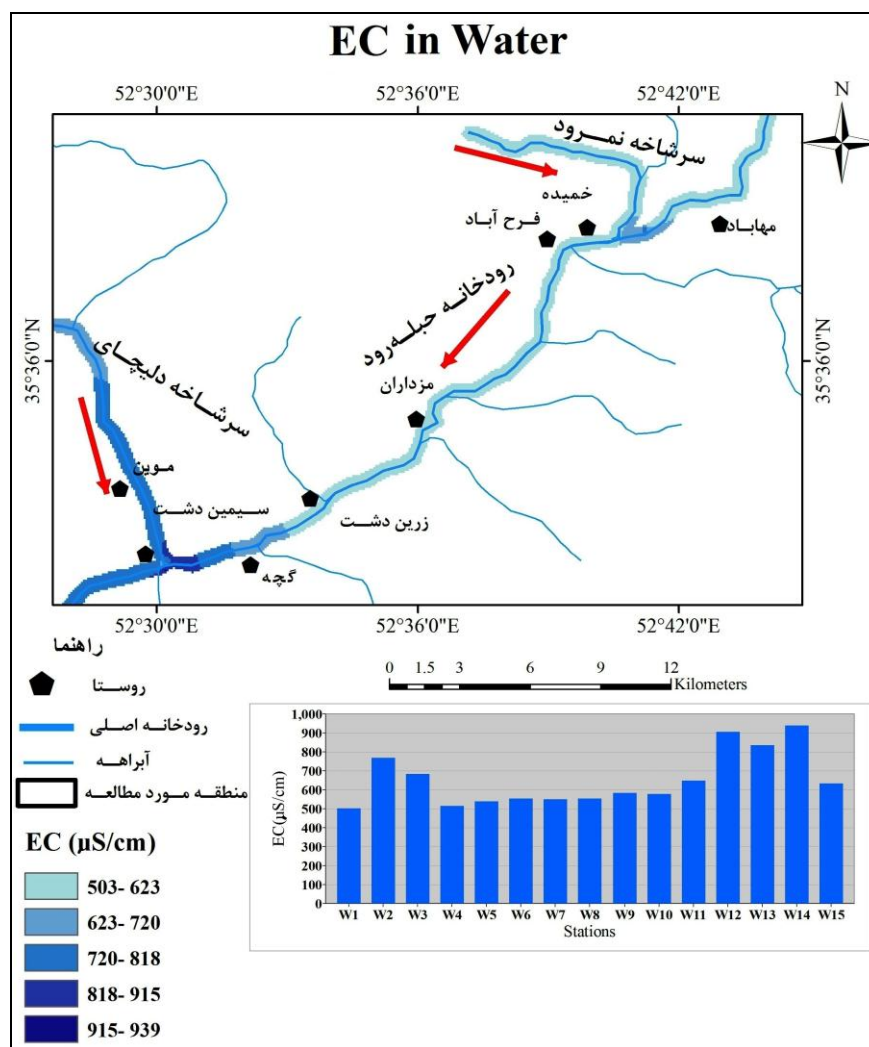


شکل ۵-۲- تغییرات مقادیر pH در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۳-۲- بررسی تغییرات EC

مقادیر هدایت الکتریکی به میزان یون‌ها، نوع یون‌ها و دما بستگی دارد (صداقت، ۱۳۹۰). EC یکی از مهم‌ترین پارامترهای آب می‌باشد زیرا نشان‌دهنده میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب و بیانگر کیفیت آن می‌باشد (Hounslow, 1995). سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران (EPA) حد مجازی برای مقدار EC در آب آشامیدنی تعیین نکرده‌اند. میانگین EC آب رودخانه حبله رود ۶۶۶/۵۳ میکروموس بر سانتی‌متر است که بیشترین میزان هدایت الکتریکی در آب

رودخانه مربوط به نمونه W14 (پایین‌دست روستای سیمین‌دشت) می‌باشد که دلیل افزایش EC در این ایستگاه را می‌توان ورود فاضلاب روستای سیمین‌دشت به رودخانه و تأثیر سازند تبخیری قم، قرمز فوقانی و واحدهای تبخیری و مارنی ائوسن دانست. شایان ذکر است که آب سرشاخه نمرود با EC معادل ۵۰۳ میکروموس بر سانتی‌متر تا حدی نقش رقیق‌سازی آب رودخانه حبله‌رود را بر عهده داشته است (شکل ۵-۳).

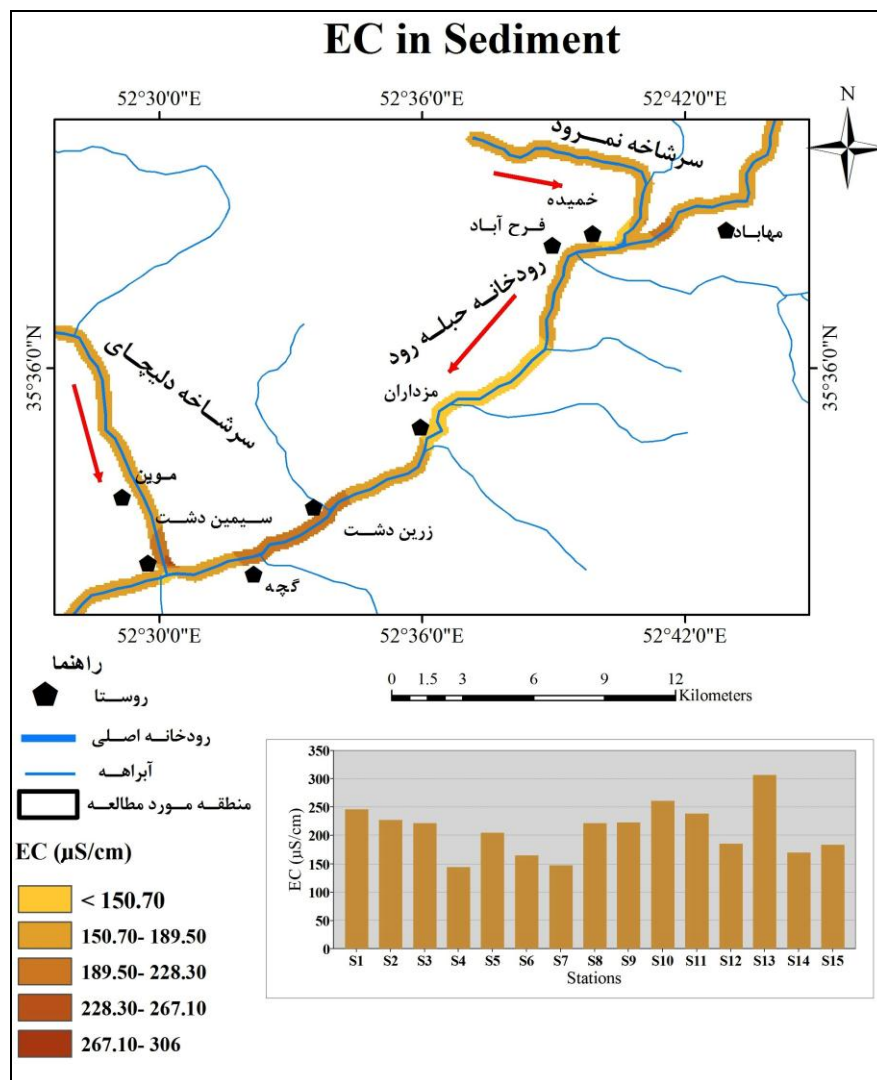


شکل ۵-۳- تغییرات مقادیر EC در نمونه‌های آب منطقه

سیر صعودی EC آب از نمونه W10 (روستای زرین‌دشت) تا W14 (پایین‌دست روستای سیمین‌دشت) به دلیل عبور رودخانه از تشکیلات با شوری بالا مانند سازند قم می‌باشد. همچنین کمترین میزان EC

مربوط به نمونه W1 (آب از سرشاخه نمروود) می باشد.

EC رسوبات روند خاصی را در منطقه مورد مطالعه نشان نمی دهد. میانگین EC رسوبات $208/88 \mu\text{S/cm}$ می باشد. حضور رخنمون مارن ها و سازندهای تبخیری باعث افزایش مقادیر EC در رسوبات (S13, S10) شده است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- تغییرات مقادیر EC در نمونه های رسوب منطقه

به طور کلی میزان EC در آب بیشتر از رسوبات می باشد که دلیل آن را می توان انحلال پذیر بودن سازندهای آهکی و تبخیری و همچنین ورود فاضلاب های روستایی و کودهای کشاورزی استفاده شده در

منطقه مورد مطالعه دانست.

۴-۵- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفیت آب رودخانه حبله رود

۴-۵-۱- غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها

سدیم

به طور کلی منابع سدیم در آب شامل انحلال پلاژیوکلازهای سدیک (آلبیت)، هالیت، شورابه‌ها، چشمه‌های آب گرم و تبادل یونی می‌باشند. برای مثال در طی فرایند تبادل یونی رس‌های سدیم‌دار، سدیم خود را در تبادل با کلسیم و منیزیم از دست داده و در نتیجه سدیم وارد محیط آب می‌شود (Hounslow, 1995). میزان غلظت قابل قبول سدیم در آب آشامیدنی طبق استاندارد ۱۰۵۳ ایران mg/L ۲۰۰ تعیین شده است و حد مجاز سدیم برای آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی نیز mg/L ۲۰۰ (WHO, 2011) تعیین شده است. میانگین غلظت سدیم در آب رودخانه معادل mg/L ۳۸/۲۷ می‌باشد که در محدوده قابل قبول است (شکل ۵-۵). سیر صعودی در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه می‌تواند به دلیل وجود رخنمون تشکیلات شور در این منطقه (سازند قم، قرمز فوقانی و واحدهای تبخیری ائوسن) باشد. غلظت سدیم در سر شاخه ورودی نمرود (mg/L ۲۴/۸۳) کمترین مقدار را دارد.

پتاسیم

پتاسیم یک عنصر ضروری برای گیاهان و حیوانات است. از ویژگی مهم پتاسیم نقش مهم آن در زیست‌کره به‌خصوص در پوشش گیاهی خاک است. در اغلب آب‌های طبیعی غلظت پتاسیم بسیار کمتر از سدیم است، زیرا با سختی بیشتری از سیلیکات‌ها آزاد می‌شود (Hem, 1985). منابع اصلی پتاسیم در آب‌های طبیعی فلدسپار پتاسیم، میکا و به مقدار کمتر سیلویت است (Hounslow, 1995). سازمان بهداشت جهانی حد مجازی برای پتاسیم تعیین نکرده است، ولی آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا

(EPA, 2006) حد مجاز پتاسیم در آب آشامیدنی را 12 mg/L تعیین کرده است. در آب رودخانه حبله رود میانگین غلظت پتاسیم $9/62 \text{ mg/L}$ است (شکل ۵-۵). غلظت پتاسیم در طول مسیر رودخانه تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد و در تمام ایستگاه‌ها پایین‌تر از این مقدار می‌باشد. تنها در نمونه W2 (حبله رود قبل از تلاقی با نمروود) غلظت پتاسیم افزایش نشان می‌دهد که این امر می‌تواند به دلیل رخنمون مارن‌های موجود در این ایستگاه می‌باشد.

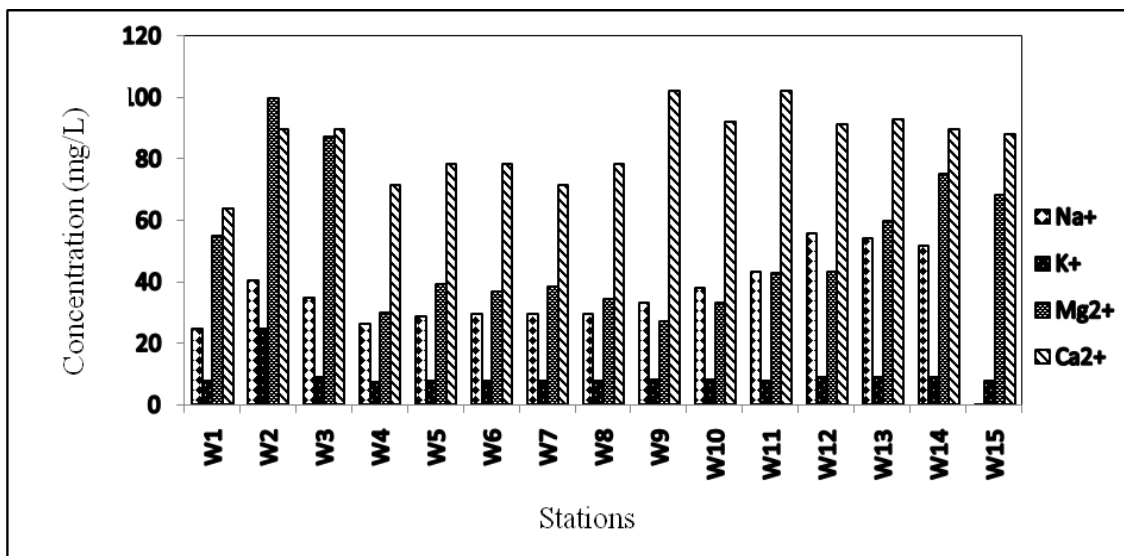
کلسیم

کلسیم یکی از فراوانترین فلزات قلیایی خاکی، یک عنصر ضروری برای حیوانات و گیاهان و همچنین یک جزء اصلی آب‌های طبیعی می‌باشد (Hem, 1985). منبع آن در آب‌های طبیعی شامل کلسیت، آراگونیت، دولومیت، ژیپس، انیدریت، فلوریت، پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول می‌باشد، اما منبع عمده آن شامل کلسیت و ژیپس می‌باشد (Hounslow, 1995). سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا و سازمان بهداشت جهانی مقداری برای حد مجاز کلسیم در آب آشامیدنی تعیین نکرده‌اند. غلظت قابل قبول برای کلسیم در آب آشامیدنی طبق استاندارد ۱۰۵۳ ایران، ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. میانگین کلسیم در آب رودخانه حبله رود $86/75 \text{ mg/L}$ می‌باشد که در محدوده قابل قبول قرار دارد. کاهش غلظت کلسیم در نمونه W4 (پایین‌دست روستای خمیده و بالادست روستای فرح‌آباد) می‌تواند به دلیل تأثیر آب سرشاخه نمروود و ورود آب از آبراهه‌های فرعی و رقیق‌سازی آب رودخانه حبله رود باشد. به طور کلی غلظت کلسیم از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه افزایش یافته است. همخوانی تغییرات کلسیم با سولفات منشأ مشترک آنها را بیان می‌کند و وجود کانی ژیپس در منطقه تأیید کننده این موضوع می‌باشد (شکل ۵-۵).

منیزیم

منیزیم از جمله فلزات قلیایی و یک عنصر ضروری برای حیوانات و گیاهان می‌باشد (Hem, 1985). منشأ معمول منیزیم در آب‌های طبیعی دولومیت می‌باشد (Hounslow, 1995). سازمان حفاظت محیط‌زیست

آمریکا (EPA, 2006) غلظت قابل قبول منیزیم در آب آشامیدنی را 50 mg/L تعیین کرده است. میانگین غلظت منیزیم در آب رودخانه حبله‌رود $49/93 \text{ mg/L}$ است، که در محدوده قابل قبول قرار دارد. بیشترین مقدار منیزیم در نمونه W2 (حبله‌رود قبل از تلاقی با نم‌رود) مشاهده می‌شود که به دلیل عبور رودخانه از واحدهای زمین‌شناسی از جمله سازند لار، مارن‌های ائوسن و آهک کرتاسه می‌باشد (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- نمودار تغییرات غلظت کاتیون‌ها در نمونه‌های آب منطقه

کلرید

از جمله رایج‌ترین یون‌های موجود در آب یون کلرید است، که مهم‌ترین منابع آن در آب‌ها شامل انحلال هالیت، فاضلاب‌های شهری و صنعتی و شورابه‌ها می‌باشد (Hounslow, 1995). کلرایدها معمولاً به صورت نمک‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم به طور گسترده در طبیعت وجود دارند. آلودگی آب با کلراید معمولاً در نتیجه تخلیه پساب‌های شیمیایی، صنایع، تأسیسات نفتی، تخلیه فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی و یا ورود پساب جاده‌هایی که در آنها برای کنترل برف و یخ نمک مصرف شده، بوجود می‌آید (عودی، ۱۳۷۳). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز کلراید در آب آشامیدنی را 250 mg/L تعیین کرده است و حد مجاز آنیون کلر توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران 600 mg/L تعیین شده است.

میانگین غلظت کلر در آب رودخانه حبله رود $21/16 \text{ mg/L}$ می باشد که در محدوده قابل قبول آب آشامیدنی قرار دارد. غلظت کلر از نمونه W10 (روستای زرین دشت) به بعد روند صعودی را نشان می دهد که می تواند به دلیل عبور از تشکیلات شور منطقه باشد (شکل ۵-۶).

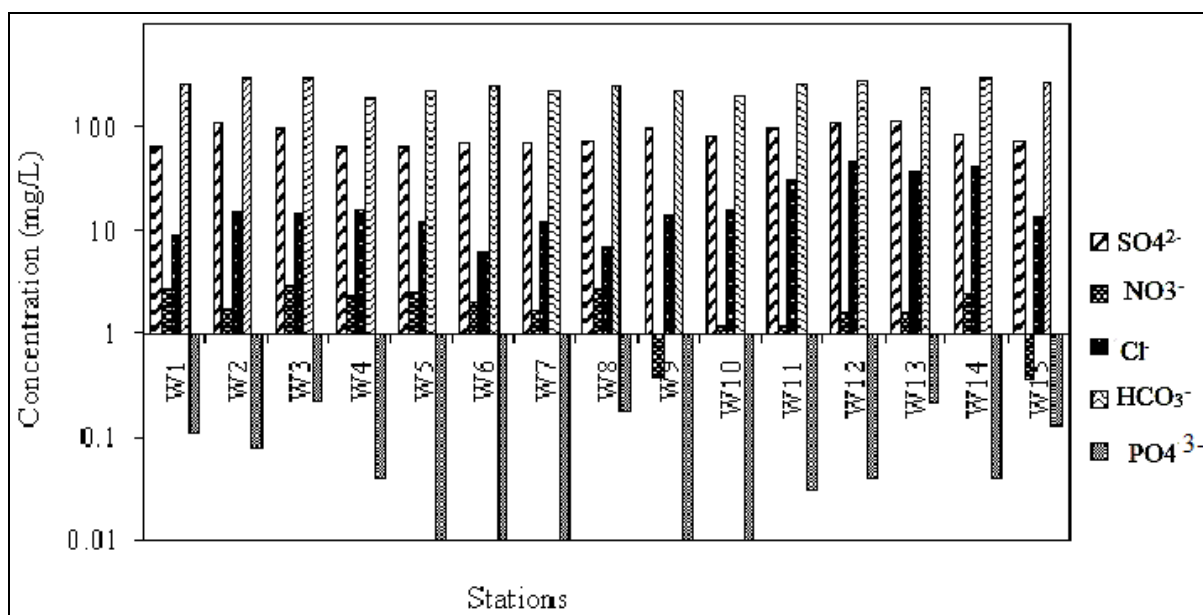
نیتрат

نیتрат از جمله پارامترهای مهم در تعیین کیفیت و آلودگی منابع آب توسط عوامل انسان زاد می باشد (Hounslow, 1995). از جمله منابع عمده آن شامل کودهای شیمیایی، تجزیه مواد گیاهی و جانوری، پساب های خانگی، پساب صنعتی، شیرابه زباله، فضولات شستشو شده جوی می باشد (عودی، ۱۳۷۳). حد مجاز تعیین شده نیترات توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) جهت مصارف شرب 50 mg/L می باشد. میانگین غلظت نیترات در آب رودخانه حبله رود $1/88 \text{ mg/L}$ می باشد (شکل ۵-۶) که در محدوده قابل قبول جهت شرب می باشد. فاضلاب روستاهای خمیده، فرح آباد، مزداران، زرین دشت و سیمین دشت بیشترین تأثیرات را بر تغییرات غلظت نیترات در آب رودخانه نشان داده اند.

سولفات

سولفات یکی از آنیون های اصلی آب است که کانیهای پیریت، ژیپس و انیدریت از جمله منشأ این آنیون محسوب می گردند. میزان کمی از سولفات از سولفورهای آلی مانند سوخت زغال و نفت و ذوب کانه های سولفیدی نیز حاصل می شود (Hounslow, 1995). سولفات آب ممکن است به صورت سولفات پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم باشد. سولفات های کلسیم و منیزیم در سختی آب دخالت دارند. سولفات منیزیم در افراد عادی با غلظت بیش از 1000 میلی گرم بر لیتر حالت اسهال ایجاد می کند (عودی، ۱۳۷۳). سازمان حفاظت محیط زیست ایران حد مجاز سولفات را برای مصارف کشاورزی 500 mg/L در نظر گرفته است و سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز این آنیون را برای مصارف شرب 250 mg/L تعیین کرده است. میانگین غلظت سولفات در رودخانه حبله رود، $88/76 \text{ mg/L}$ می باشد و آب رودخانه از

این لحاظ نیز در محدوده قابل قبول آب شرب می‌باشد. کاهش مقدار سولفات در نمونه W3 (تلاقی حبله‌رود با نم‌رود و بالادست روستای خمیده)، به‌علت ورود سرشاخه نم‌رود با غلظت سولفات پایین‌تر (64 mg/l) و در نتیجه رقیق‌سازی غلظت این یون در رودخانه حبله‌رود می‌باشد (شکل ۵-۶). همچنین غلظت سولفات در ایستگاه‌های پایین‌دست (W11, W12, W13) افزایش می‌یابد که این امر را می‌توان به افزایش حضور کانی ژئوپس در پایین‌دست منطقه نسبت داد. همخوانی روند تغییرات سولفات و کلسیم این مطلب را تأیید می‌نماید.



شکل ۵-۶- نمودار تغییرات غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب منطقه

بی‌کربنات

منابع عمده بی‌کربنات در آب، دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر و انحلال سنگ‌های کربناته می‌باشد (Hounslow, 1995; Drever and Hurcomb 1986). سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا و سازمان بهداشت جهانی مقداری برای حد مجاز بی‌کربنات در آب آشامیدنی تعیین نکرده‌اند. میانگین غلظت بی‌کربنات رودخانه حبله‌رود $252/91$ میلی‌گرم بر لیتر است. بیشترین مقدار آن در ایستگاه W2 (حبله‌رود قبل از تلاقی با نم‌رود) به‌دلیل تأثیر حضور سازندهای کربناته، مارن‌های ائوسن و آهک‌های کرتاسه در این

ایستگاه می باشد شکل (۵-۶).

فسفات

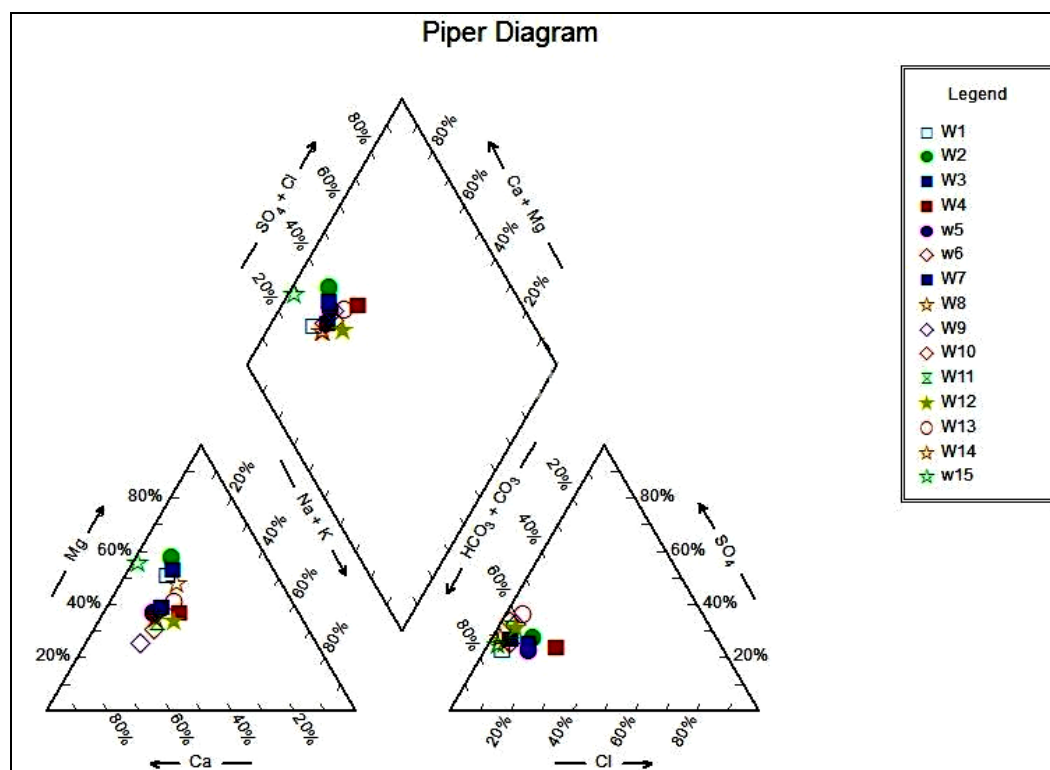
آب در اثر عبور از سنگهایی که دارای فسفات به صورت فسفات تری کلسیک هستند، مقداری از فسفات را در داخل خود حل می کند، ولی فسفات ها عموماً از فاضلاب خانگی، صنعتی و کشاورزی وارد آب می شوند (عودی، ۱۳۷۳). غلظت قابل قبول برای فسفات در آب آشامیدنی طبق استاندارد ۱۰۵۳ ایران، ۰/۲ میلی گرم بر لیتر می باشد. میانگین فسفات آب رودخانه حبله رود ۰/۰۶ میلی گرم بر لیتر می باشد که در محدوده قابل قبول برای شرب می باشد. تغییرات شدیدی در میزان غلظت فسفات در آب رودخانه دیده نمی شود (شکل ۵-۶).

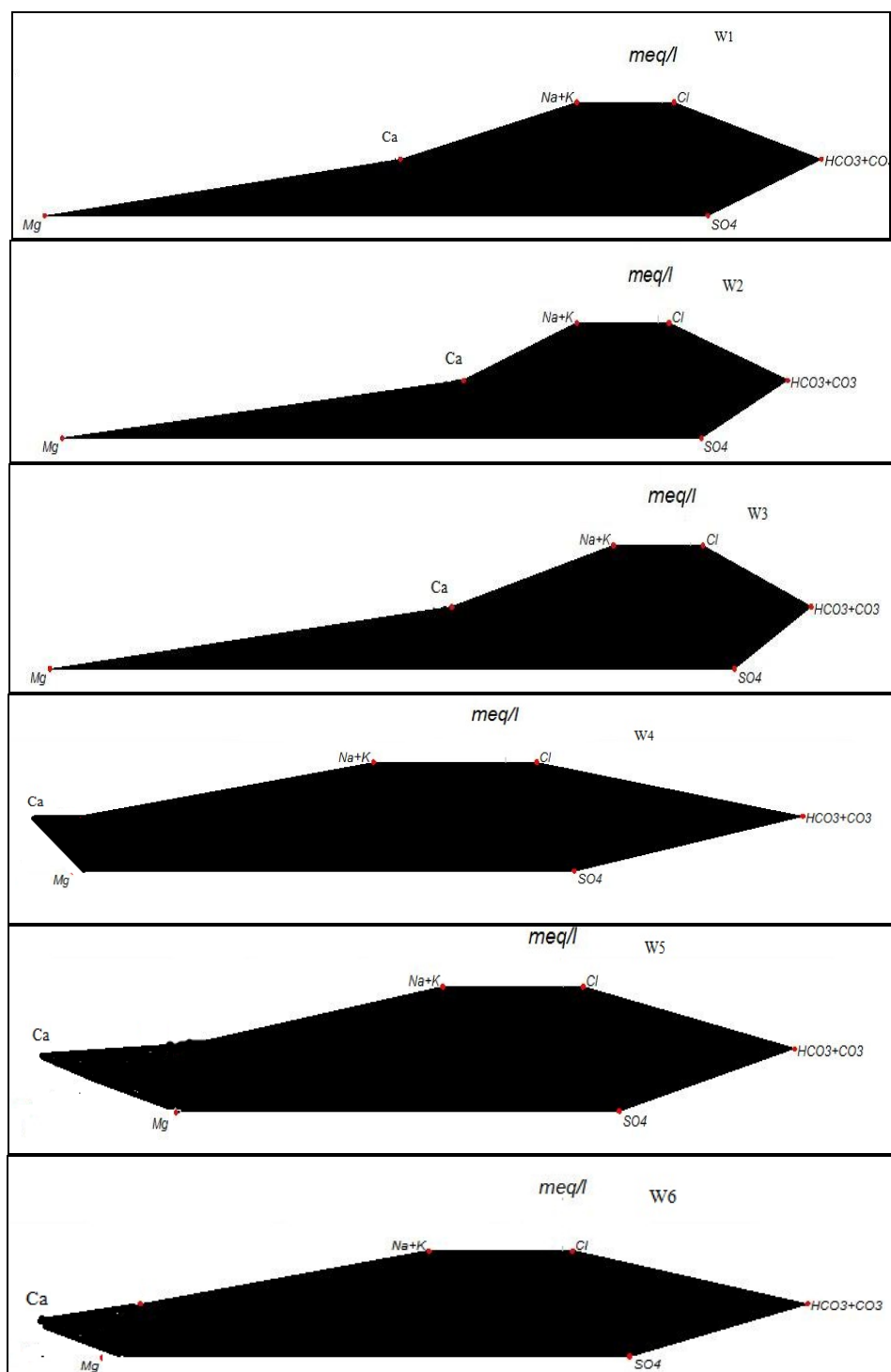
۵-۴-۲- تیپ و رخساره آب

برای تعیین تیپ آب از نمودار پایپر و استیف (نرم افزار AQQA) استفاده گردید. نمودار پایپر، نمودارهای مثلثی جهت نمایش داده های هیدروشیمیایی برای اولین بار توسط هیل و سپس توسط پایپر توسعه و در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفت. در نمودار پایپر تعداد زیادی نمونه در یک دیاگرام قرار می گیرند (اصغری مقدم، ۱۳۸۹). نمودار پایپر از دو مثلث و یک لوزی که درصد آنیون ها و کاتیون ها به میلی اکی والان بر لیتر در مثلث جایگذاری شده و برای بدست آوردن تیپ آب از لوزی استفاده می شود (مقیمی، ۱۳۸۵). با توجه به توالی غلظت آنیون ها و کاتیون ها و محل قرارگیری نمونه ها بر روی نمودارهای پایپر و استیف (جدول ۵-۳ و شکل های ۵-۷ و ۵-۸)، می توان نتیجه گرفت که تقریباً ۳۰/۷۶ درصد نمونه های آب رودخانه حبله رود بی کربناته منیزیک و ۶۹/۲۴ درصد نمونه های آب بی کربناته کلسیک می باشند.

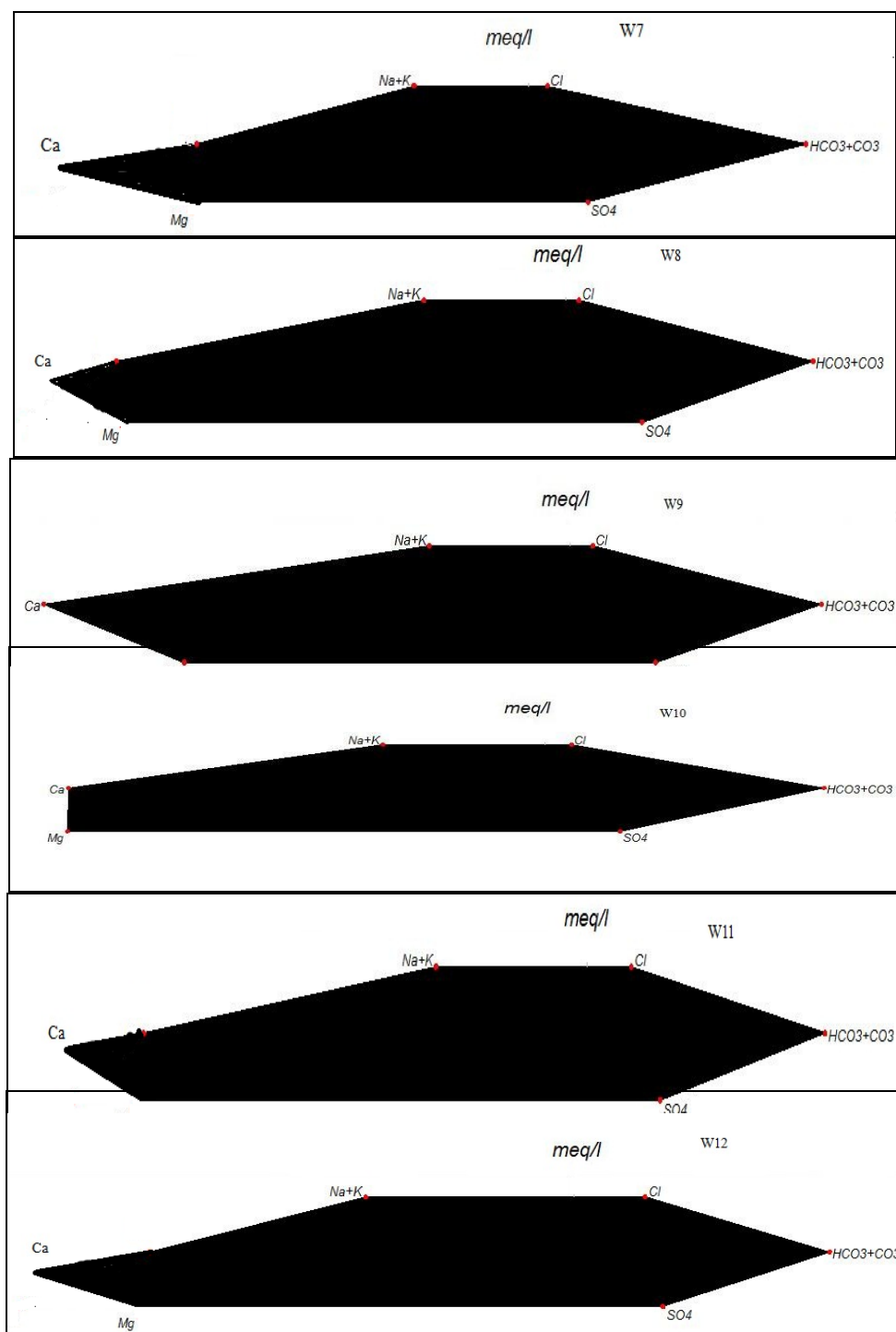
جدول ۵-۳- مقایسه غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تیپ و رخساره نمونه‌های آب منطقه

ایستگاه	مقایسه غلظت کاتیون‌ها	مقایسه غلظت آنیون‌ها	تیپ و رخساره آب
1	Mg>Ca>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته منیزیک
2	Mg>Ca>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته منیزیک
3	Mg>Ca>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته منیزیک
4	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
5	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
6	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
7	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
8	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
9	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
10	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
11	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
12	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته کلسیک
13	Mg>Ca>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته منیزیک
14	Mg>Ca>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته منیزیک
15	Mg>Ca>Na+K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	بی کریناته منیزیک

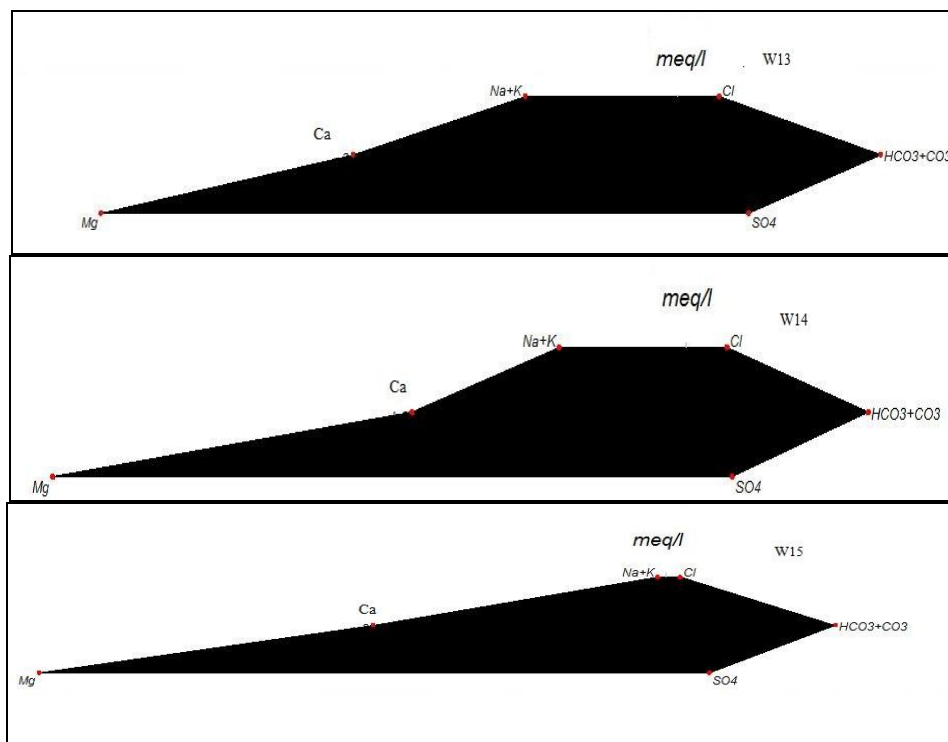




شکل ۵-۸- نمودار استیف نمونه‌های آب منطقه



ادامه شکل ۵-۸- نمودار استیف نمونه‌های آب منطقه



ادامه شکل ۵-۸- نمودار استیف نمونه‌های آب منطقه

۵-۴-۳- سختی

مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم را سختی می‌گویند و توانایی آب را در واکنش با صابون نشان می‌دهد. علاوه بر این، عناصر دیگری از جمله استرانسیم، باریم و فلزات سنگین نیز می‌توانند بر سختی مؤثر باشند. به طور کلی آب‌های زیرزمینی سختی بیشتری نسبت به آب‌های سطحی دارند. سختی موقت شامل یون‌های کلسیم و منیزیم است که در اثر جوشیدن، رسوب کرده و از آب خارج می‌شوند. سختی دائمی شامل یون‌های سولفید و کلرید است که در اثر جوشیدن از بین نمی‌روند (Hounslow, 1995). یکی از راه‌های از بین بردن سختی آب جایگزینی کلسیم و منیزیم توسط سدیم است که از طریق تبادل یونی و فرایند آهک و سودا انجام می‌شود (غضبان، ۱۳۸۱). با توجه به جدول‌های ۴-۵ و ۵-۵ تمام نمونه‌های آب رودخانه حبله‌رود در رده کاملاً سخت قرار دارند و میانگین سختی آب رودخانه حبله‌رود ۴۲۱/۶۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. سختی بالای آب رودخانه را می‌توان به حضور سازندهای

کربناته از جمله سازند لار و آهک‌های کرتاسه، مارن‌ها و همچنین حضور ژئوپس در منطقه نسبت داد. از

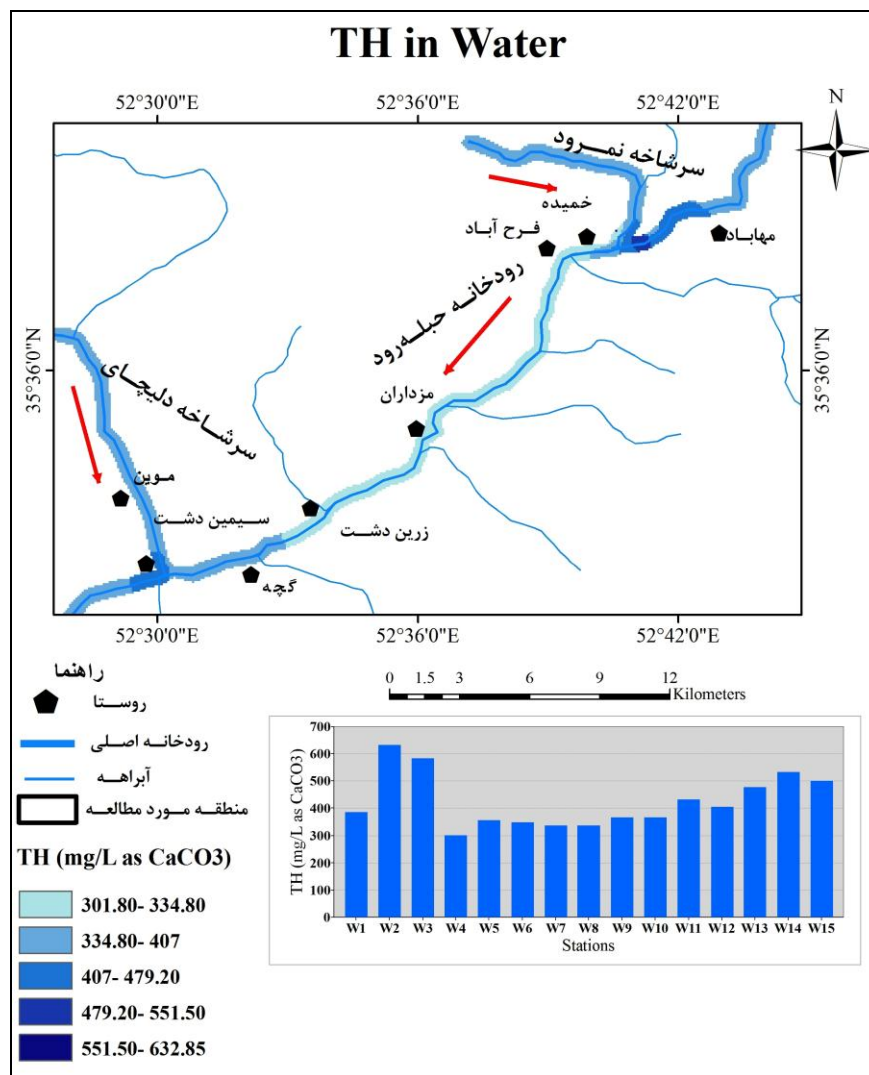
جدول ۵-۴- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی (Todd, 2005)

دامنه تغییرات	سختی (میلی گرم بر لیتر از CaCO_3)
۷۵-۰	نرم
۱۵۰-۷۵	متوسط
۳۰۰-۱۵۰	سخت
$۳۰۰ <$	کاملاً سخت

جدول ۵-۵- طبقه‌بندی نمونه‌های آب منطقه از نظر سختی

نمونه	سختی کل	کیفیت بر اساس سختی
W 1	۳۸۵/۱۳	کاملاً سخت
W 2	۶۳۲/۸۵	کاملاً سخت
W 3	۵۸۲/۸۳	کاملاً سخت
W 4	۳۰۱/۸۰	کاملاً سخت
W 5	۳۵۶/۹۶	کاملاً سخت
W 6	۳۴۷/۰۰	کاملاً سخت
W 7	۳۳۶/۶۹	کاملاً سخت
W 8	۳۳۷/۰۴	کاملاً سخت
W 9	۳۶۷/۹۳	کاملاً سخت
W 10	۳۶۷/۴۷	کاملاً سخت
W 11	۴۳۲/۷۱	کاملاً سخت
W 12	۴۰۶/۱۰	کاملاً سخت
W 13	۴۷۸/۲۴	کاملاً سخت
W 14	۵۳۳/۲۲	کاملاً سخت
W 15	۵۰۰/۹۳	کاملاً سخت

بالادست به سمت پایین دست میزان سختی کاهش یافته است. نمونه W2 (حبله رود قبل از تلاقی با نمرو) بیشترین میزان سختی را در بین نمونه ها دارد که می تواند به دلیل وجود سازندهای آهکی و کربناته در این محدوده می باشد. شکل ۵-۱۰ نقشه هم مقدار سختی نمونه های آب منطقه را نشان می دهد.

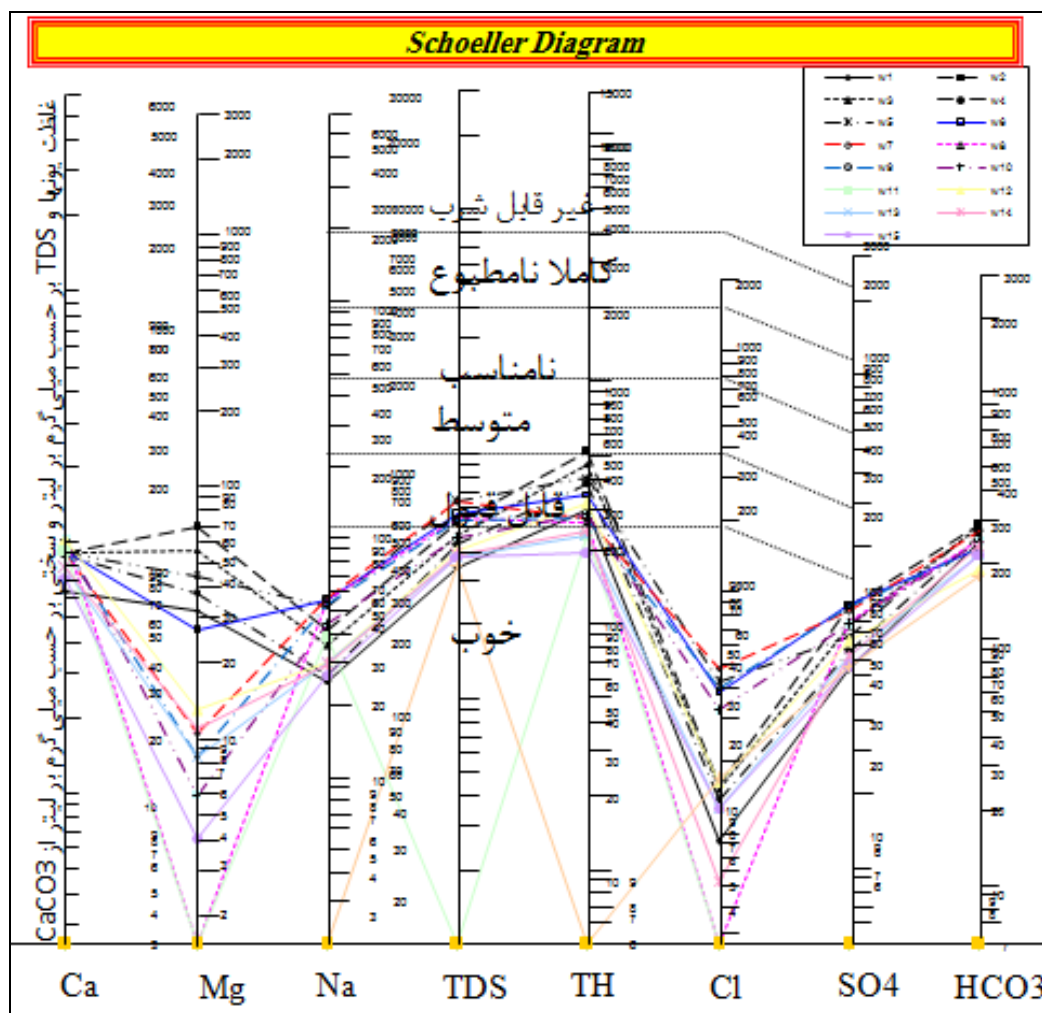


شکل ۵-۱۰- تغییرات مقادیر سختی در نمونه های آب منطقه

۵-۴-۴- ارزیابی کیفی آب از نظر شرب و کشاورزی

- نمودار شولر

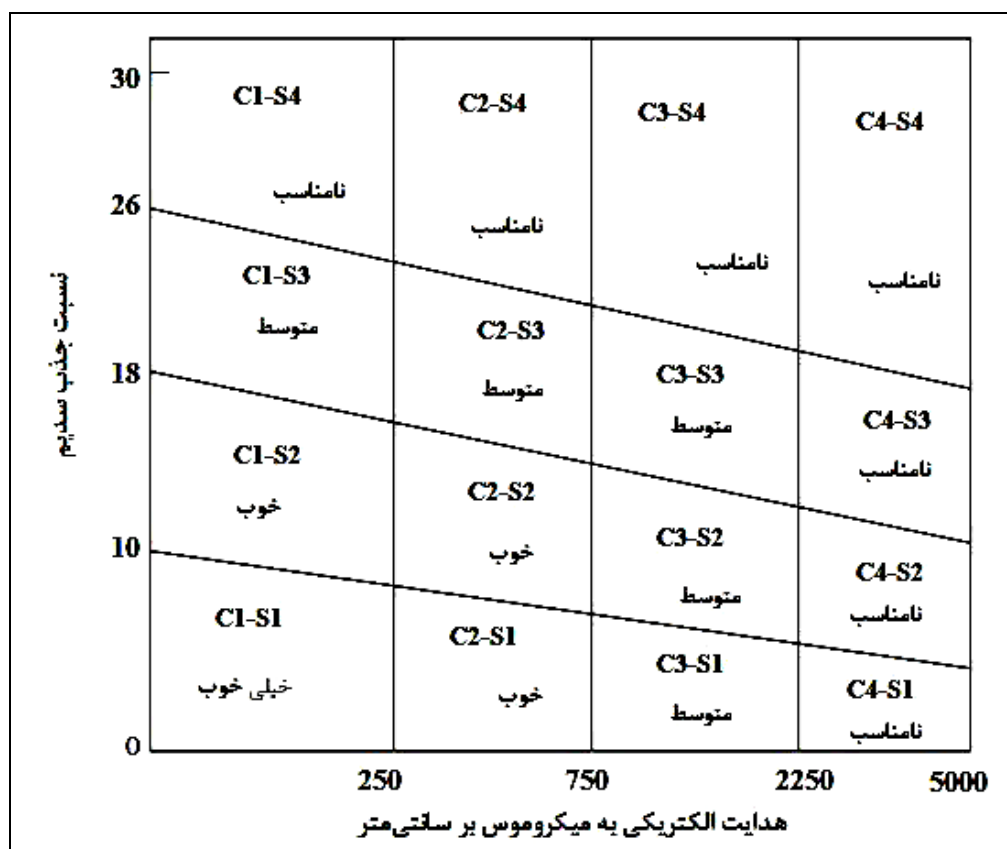
جهت تعیین کیفیت آب رودخانه برای مصارف شرب از نمودار شولر استفاده می‌شود. نمودار شولر نیمه‌لگاریتمی می‌باشد و برای طبقه‌بندی کیفیت آب کاربرد دارد. شولر در این نمودار آب‌ها را از نظر میزان کربنات، سولفات و کلرید، تغییرات یونی و روابط بین غلظت آنیون‌ها-کاتیون‌ها تقسیم‌بندی کرده است (مقیم، ۱۳۸۵). غلظت عناصر در این نمودار بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که یکی از مزیت‌های این نمودار بوده و غلظت واقعی عناصر را نشان می‌دهد (اصغری مقدم، ۱۳۸۹). شکل ۵-۱۱ موقعیت نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه را بر روی نمودار شولر نشان می‌دهد. بر این اساس آب رودخانه حبله‌رود از نظر مصرف شرب در محدوده قابل قبول قرار دارد.



شکل ۵-۱۱- نمودار شولر نمونه‌های آب منطقه

- نمودار ویلکاکس

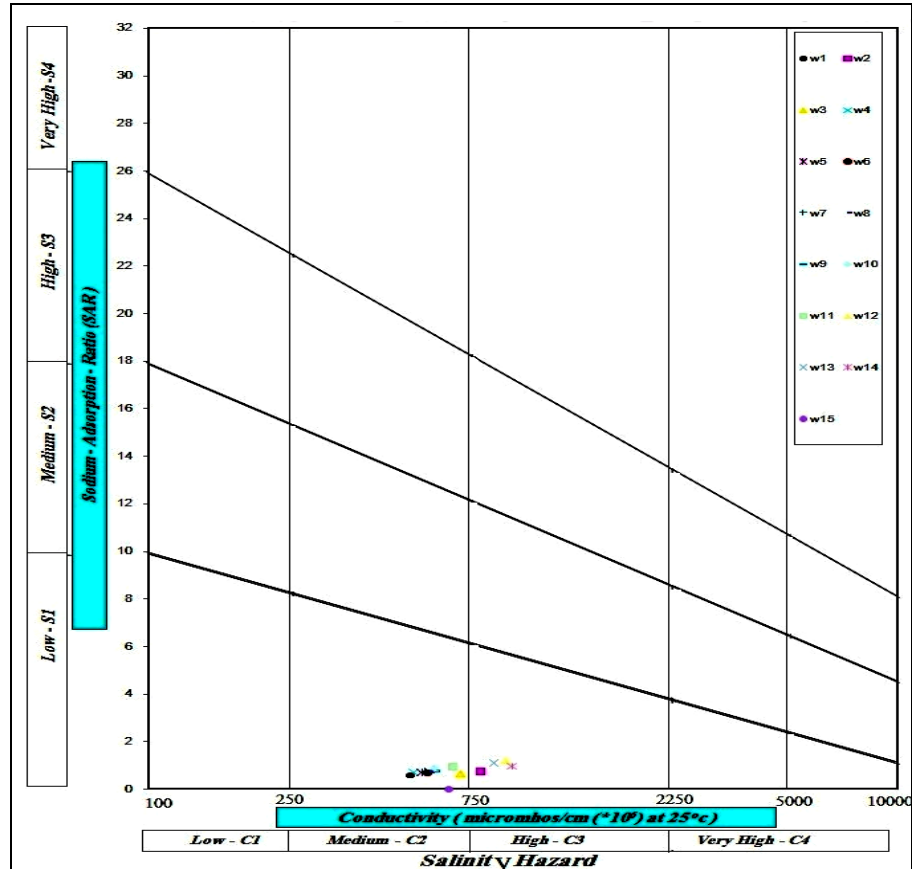
نمودار ویلکاکس توسط نرم افزار Chemistry برای طبقه بندی آب رودخانه حبله رود از نظر مصارف کشاورزی ترسیم گردید (شکل ۵-۱۲). این نمودار کاربردی ترین دیاگرام برای طبقه بندی آب از نظر مصارف کشاورزی می باشد. گروه های مختلف ذکر شده در این دیاگرام به صورت زیر طبقه بندی می گردند (مهدوی، ۱۳۸۰).



شکل ۵-۱۲- طبقه بندی آب ها از نظر کشاورزی (مهدوی، ۱۳۸۰)

این نمودار با استفاده از دو پارامتر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (Sodium Absorption Ratio) ترسیم می شود. بر اساس این نمودار، ۶۹/۲۳ درصد نمونه های آب رودخانه حبله رود در رده C_2S_1 (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) قرار می گیرند که نشان دهنده سدیم پایین و EC

متوسط در آب این نمونه‌ها بوده و $30/76$ درصد نمونه‌ها در رده C_3S_1 (شور- قابل استفاده برای کشاورزی) رسم می‌شوند که بیانگر سدیم پایین و EC بالا در آب این نمونه‌ها می‌باشد (شکل ۵-۱۳).

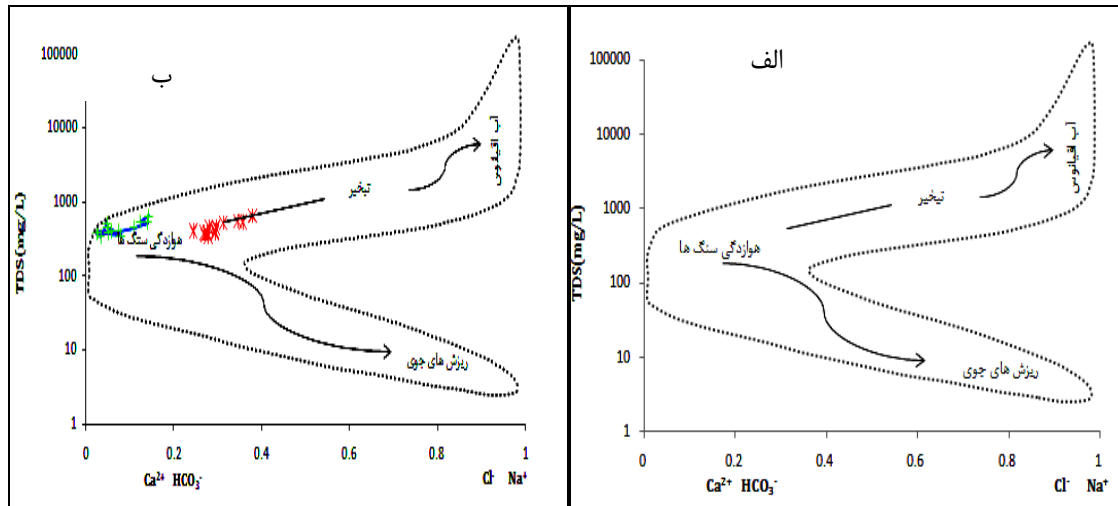


شکل ۵-۱۳- موقعیت نمونه‌های آب منطقه بر روی نمودار ویلکاکس

۵-۴-۵- عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب منطقه

از مدل گیبس (Gibbs, 1970) برای تعیین عامل کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب رودخانه‌ها یا آب‌های سطحی استفاده می‌شود. این مدل بر اساس نسبت‌های پارامترهای $Na/(Ca^{2+}+Na^+)$ ، Cl^- ، $TDS/(HCO_3^-+Cl^-)$ ارائه شده است. همانطور که در شکل (۵-۱۴- الف) دیده می‌شود، با توجه به مدل گیبس به طور کلی، عامل اصلی کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب‌های سطحی، هوازدگی سنگها، نزولات جوی، فرایند تبخیر و ترکیب آب اقیانوس‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب رودخانه حبله رود هوازدگی سنگها و تا حدی فرایند تبخیر می‌باشد (شکل

۵-۱۴-ب). این نتیجه‌گیری با توجه به ویژگی آب و هوایی گرم و خشک منطقه و نوع سنگهای منطقه قابل توجه می‌باشد.



شکل ۵-۱۴- ارزیابی عوامل کنترل کننده شیمی آب منطقه با استفاده از مدل گیبس، الف- مدل گیبس (Gibbs, 1970)، ب- نمایش نمونه‌های آب منطقه بر روی مدل گیبس

۵-۴-۶- بررسی شاخص اشباع‌شدگی در نمونه‌های آب منطقه نسبت به کانیهای اصلی

شاخص اشباع کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب نسبت به کانیهای اصلی کلسیت، دولومیت، آراگونیت، انیدریت، ژیپس و هالیت در نمونه‌های آب با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC محاسبه گردید. شاخص اشباع‌شدگی با اندازه‌گیری درجه حرارت، مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، EC و pH محاسبه می‌شود (جدول ۵-۶).

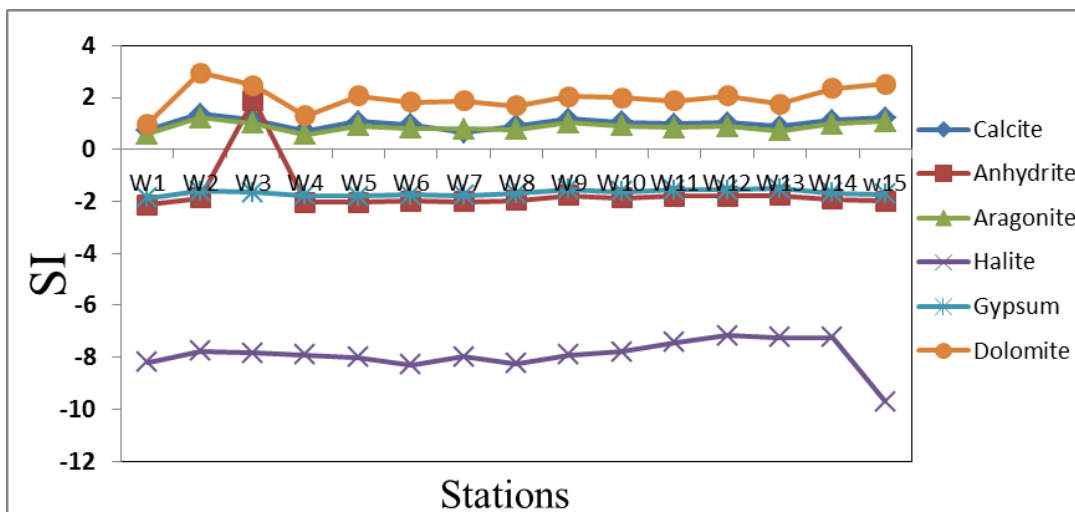
اگر میزان شاخص اشباع‌شدگی یک کانی برابر با صفر باشد، آب نسبت به آن کانی در حال تعادل می‌باشد، و در صورتیکه میزان شاخص اشباع‌شدگی کوچکتر یا بزرگتر از صفر باشد به ترتیب آب نسبت به آن کانی، تحت اشباع (انحلال‌پذیر) و فوق اشباع (ته‌نشینی) می‌باشد. از میان کانیهای موجود در منطقه مورد مطالعه دولومیت دارای بیشترین شاخص اشباع‌شدگی در میان سایر کانیهاست (شکل ۵-۱۵).

آب به ترتیب نسبت به کانیهای دولومیت، کلسیت و آراگونیت فوق‌اشباع می‌باشد که فوق‌اشباع بودن آب

نسبت به کانیهای کربناته نشان دهنده کنترل غلظت یونهای کلسیم، منیزیم و بی کربنات توسط کانیهای ته نشین شده می باشد. تمام نمونه های آب نسبت به ژپس و هالیت تحت اشباع و ۰/۹۲ درصد نمونه ها نسبت به انیدریت در حالت تحت اشباع قرار دارند

جدول ۵-۶- شاخص اشباع نمونه های آب نسبت به کانیهای اصلی

Anhydrite (CaSO ₄ .2H ₂ O)	Halite (NaCl)	Gypsum (CaSO ₄ .2H ₂ O)	Calcite (CaCO ₃)	Dolomite (CaMg(CO ₃) ₂)	Aragonite (CaCO ₃)	Stations
-۲/۱۳	-۸/۲۰	-۱/۸۸	۰/۷۵	۰/۹۸	۰/۶۰	W1
-۱/۸۶	-۷/۷۷	-۱/۶۰	۱/۳۷	۲/۹۴	۱/۲۱	W2
۱/۹۰	-۷/۸۵	-۱/۶۵	۱/۱۶	۲/۴۷	۱/۰۱	W3
-۲/۰۳	-۷/۹۱	-۱/۷۸	۰/۷۳	۱/۲۹	۰/۵۸	W4
-۲/۰۴	-۸	-۱/۷۹	۱/۰۷	۲/۰۵	۰/۹۲	W5
-۱/۹۸	-۸/۲۹	-۱/۷۴	۰/۹۶	۱/۸۲	۰/۸۱	W6
-۲/۰۲	-۷/۹۹	-۱/۷۷	۰/۹۵	۱/۸۶	۰/۸۰	W7
-۱/۹۶	-۸/۲۴	-۱/۷۱	۰/۹۱	۱/۶۷	۰/۷۶	W8
-۱/۷۷	-۷/۹۰	-۱/۵۳	۱/۱۷	۲/۰۳	۱/۰۲	W9
-۱/۸۷	-۷/۷۹	-۱/۶۴	۱/۰۶	۲/۰۰	۰/۹۲	W10
-۱/۸۰	-۷/۴۴	-۱/۵۶	۰/۹۸	۱/۸۷	۰/۸۴	W11
-۱/۸۰	-۷/۱۶	-۱/۵۶	۱/۰۴	۲/۰۵	۰/۸۹	W12
-۱/۷۷	-۷/۲۵	-۱/۵۲	۰/۸۸	۱/۷۵	۰/۷۳	W13
-۱/۹۳	-۷/۲۳	-۱/۶۸	۱/۱۳	۲/۳۴	۰/۹۸	W14
-۱/۹۸	-۹/۷۲	-۱/۷۲	۱/۲۳	۲/۵۱	۱/۰۷	W15



شکل ۵-۱۵- شاخص اشباع شدگی کانیهای اصلی در نمونه های آب منطقه

۵-۵- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه

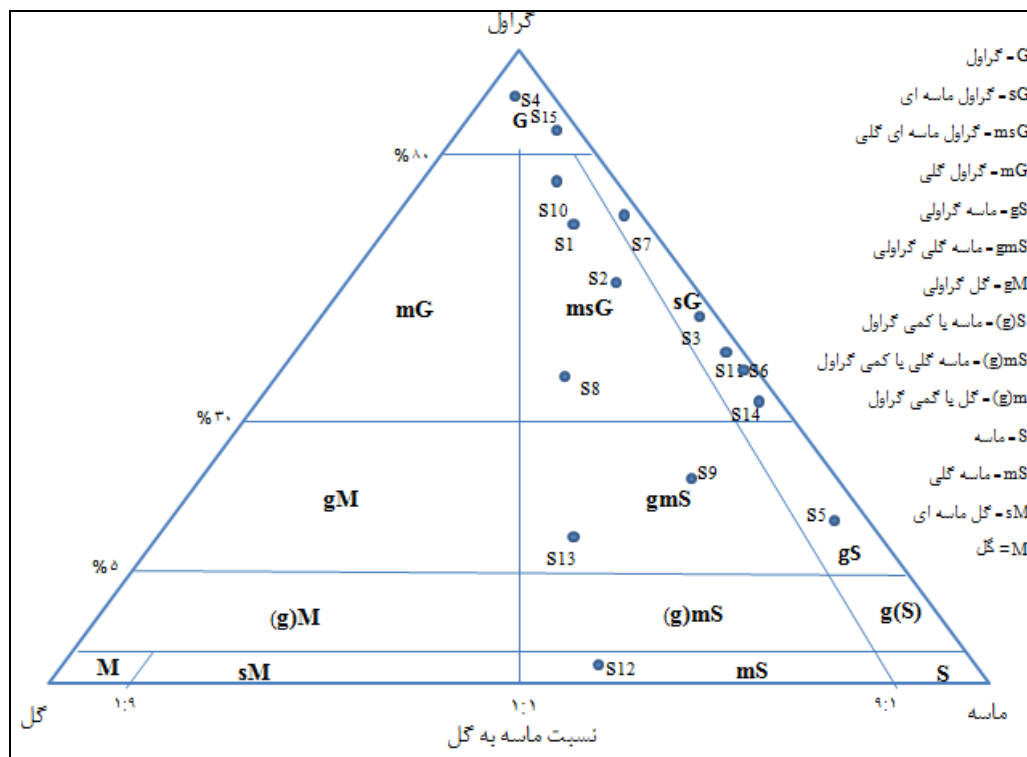
۵-۵-۱- بافت رسوبات

در جدول ۵-۷ اجزاء مختلف رسوبات و در شکل ۵-۱۶ طبقه‌بندی بافت رسوبات بر اساس مثلث دانه‌بندی فولک (Folk, 1954) نشان داده شده است.

جدول ۵-۷- بافت رسوبات و اجزاء مختلف رسوبات منطقه بر حسب درصد

ایستگاه	گل	ماسه	گراول	بافت رسوب
S1	۳/۱۱	۲۵/۹۴	۷۰/۹۴	گراول ماسه ای گلی
S2	۳/۵۷	۲۶/۴۲	۶۹/۹۹	گراول ماسه ای گلی
S3	۱/۴۱	۳۲/۴۲	۶۶/۱۵	گراول ماسه ای
S4	۲/۲۶	۱۰/۶۹	۸۷/۰۴	گراول
S5	۶/۶۸	۷۲/۵۲	۲۰/۷۸	ماسه با کمی گراول
S6	۱/۵۸	۴۶/۲۷	۵۲/۱۳	گراول ماسه ای
S7	۲/۴۱	۲۷/۳۶	۷۰/۲۲	گراول ماسه ای
S8	۱۱/۹۶	۳۶/۳۷	۵۱/۶۵	گراول ماسه ای گلی
S9	۹/۷۱	۶۹/۷۸	۲۰/۵۰	ماسه گلی گراولی
S10	۴/۷۸	۲۴/۴۳	۷۰/۷۸	گراول ماسه ای گلی
S11	۳/۳۰	۳۳/۸۱	۶۴/۸۸	گراول ماسه ای
S12	۱۵/۳۶	۸۲/۸۱	۱/۸۲	ماسه گلی
S13	۳۶/۰۴	۴۳/۷۱	۲۰/۴۴	ماسه گلی گراولی
S14	۱/۰۵	۶۰/۳۳	۳۸/۶۰	گراول ماسه ای
S15	۱/۲۲	۱۶/۴۱	۸۲/۳۵	گراول

رسوبات رودخانه حبله رود در منطقه مورد مطالعه (از سرشاخه نمرود تا دلیچای) دارای بافت‌های گراول، گراول ماسه‌ای، گراول ماسه‌ای گلی، ماسه گراولی، ماسه گلی گراولی و ماسه گلی می‌باشند. بافت‌های مذکور در منطقه مورد مطالعه با توجه به سرعت زیاد آب رودخانه حبله رود (دبی سالیانه: ۲۳۰-۲۷۰ میلیون متر مکعب) و وجود لایه‌های کنگلومرای و ماسه‌سنگی قابل توجه می‌باشند.

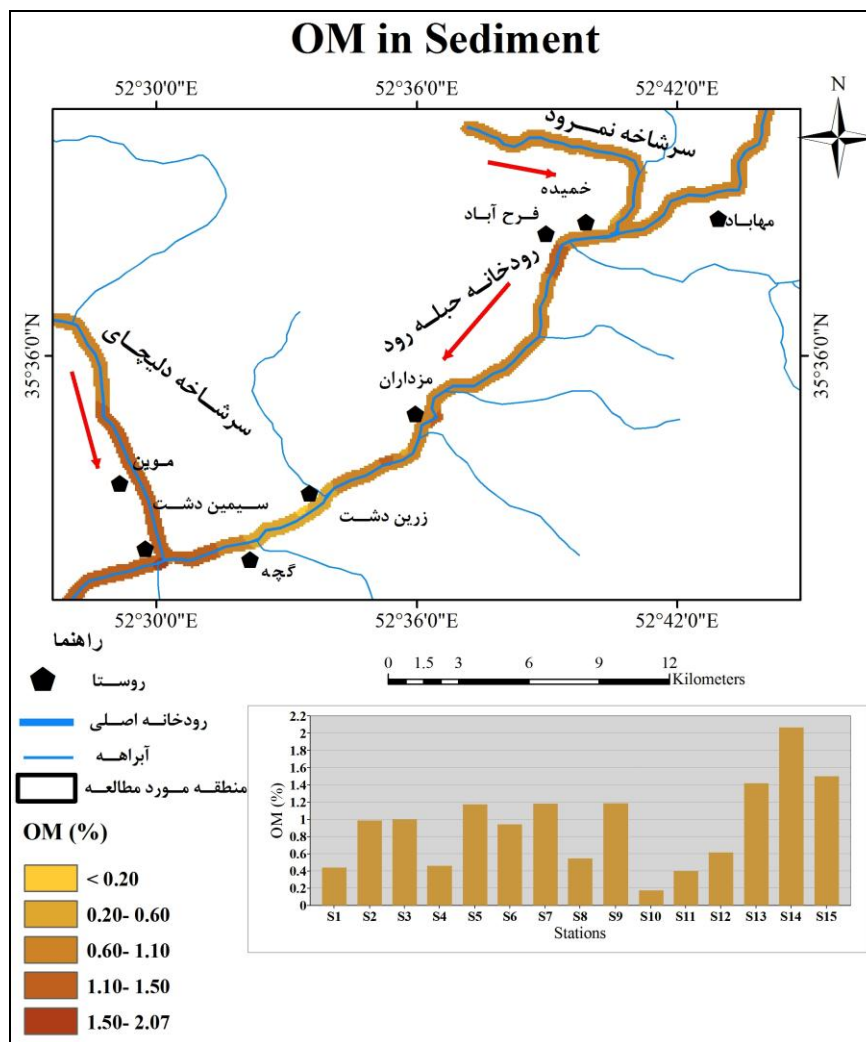


شکل ۵-۱۶- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۵۴)

۵-۲- مواد آلی

بسیاری از مواد آلی در داخل آب محلول‌اند. مواد آلی در سیستم طبیعی آب ممکن است از منابع طبیعی یا در اثر فعالیت‌های بشرزادی به‌وجود آمده باشند. اغلب ترکیبات آلی در اثر تجزیه مواد آلی جامد و تخلیه فاضلاب‌ها و عملیات کشاورزی وارد منابع آبی می‌شوند (پوی و همکاران، ۱۳۸۲).

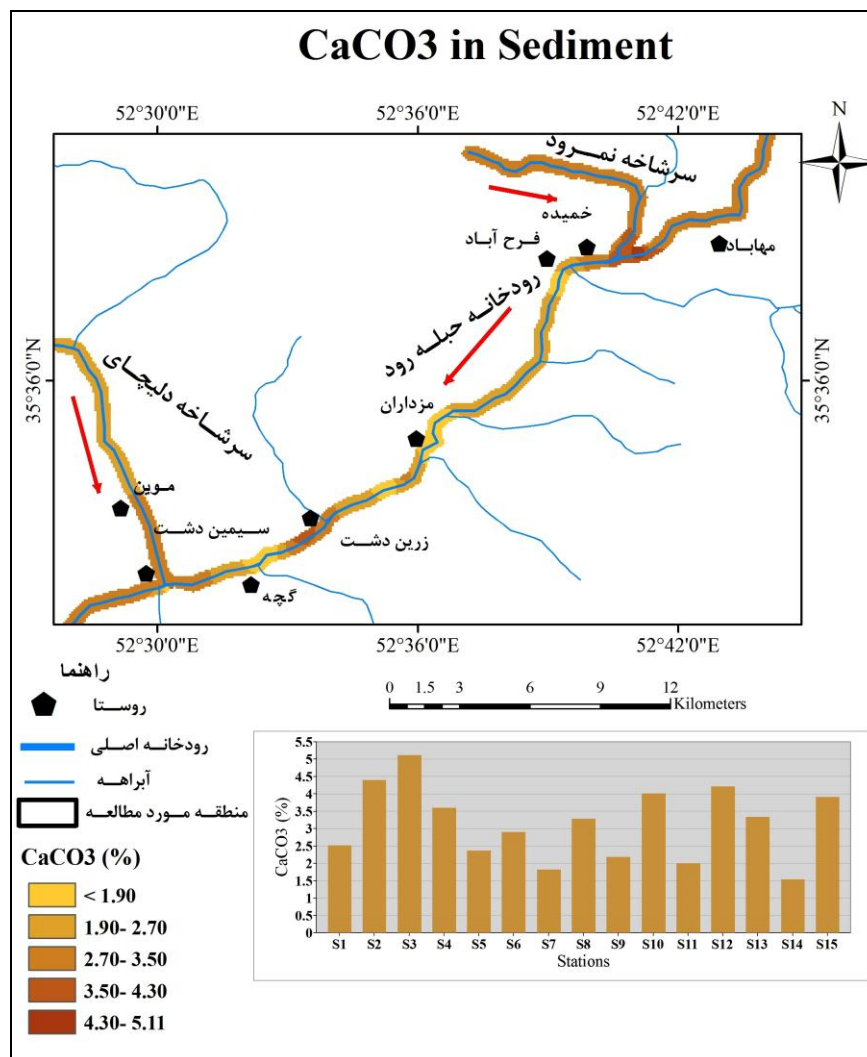
تغییرات میزان ماده آلی در رسوبات منطقه مورد مطالعه روند خاصی را نشان نمی‌دهد (جدول ۵-۲). میانگین مواد آلی رودخانه حبله‌رود ۰/۹۳٪ می‌باشد. بیشترین میزان ماده آلی (۲/۰۷) در نمونه S14 (پایین‌دست روستای سیمین‌دشت) به‌دلیل فعالیت کشاورزی و وجود فاضلاب روستایی در این ایستگاه می‌باشد (شکل ۵-۱۷).



۱۷-۵- تغییرات مقادیر مواد آلی نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۳- کربنات کلسیم

میانگین کربنات کلسیم در رسوبات منطقه ۳/۱۳٪ می‌باشد که روند خاصی ندارد ولی کاهش آن در ایستگاه‌های میانی به دلیل افزایش رخنمون سنگهای آتشفشانی (سازند کرج) می‌باشد (شکل ۵-۱۸).



شکل ۵-۱۸- تغییرات مقادیر کربنات کلسیم در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۶- همبستگی بین پارامترهای مختلف در آب و رسوبات منطقه

ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را نشان می‌دهد و اطلاعات مفیدی در مورد منشأ و سرنوشت آلاینده‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد (liu et al., 2005). دامنه تغییرات ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱+ می‌باشد. اگر تغییرات دو متغیر همسو باشند ضریب همبستگی مثبت و اگر غیر همسو باشند ضریب همبستگی منفی و اگر هیچ ارتباطی با هم نداشته باشند ضریب همبستگی بین آنها صفر می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج بدست آمده از آنالیزهای صورت گرفته بر روی نمونه‌های آب و

رسوب در منطقه مورد مطالعه از رودخانه حبله رود، همبستگی بین آنیون‌ها، کاتیون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب توسط نرم‌افزار SPSS16 محاسبه شده و در جدول‌های ۵-۸ و ۵-۹ آورده شده‌اند.

- آب

جدول ۵-۸ همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی با آنیون و کاتیون‌های زیر همبستگی نشان می‌دهد:

سدیم: ($r = 0.82, p < 0.01$)

کلر: ($r = 0.71, p < 0.01$)

بی‌کربنات: ($r = 0.65, p < 0.01$)

سولفات: ($r = 0.87, p < 0.01$)

کلسیم: ($r = 0.71, p < 0.01$)

پتاسیم: ($r = 0.77, p < 0.01$)

این همبستگی‌ها نشان‌دهنده تأثیر بالای غلظت این یون‌ها بر تغییرات هدایت الکتریکی باشد.

همبستگی بالا و مثبت منیزیم با فسفات ($r = 0.60, p < 0.01$) و منیزیم با بی‌کربنات ($r = 0.85, p < 0.01$)

(0.01) نشان‌دهنده منشأ یکسان (به ترتیب فاضلاب روستایی، مارن) آنها می‌باشد (Marghade et al., 2011).

همبستگی بین کلسیم، سولفات، سدیم، کلر و پتاسیم به صورت زیر می‌باشد:

کلسیم با سولفات = ($r = 0.83, p < 0.01$)

کلسیم با سدیم = ($r = 0.74, p < 0.01$)

سدیم با سولفات = ($r = 0.86, p < 0.01$)

سدیم با کلر = $(r = 0.65, p < 0.01)$.

سولفات با کلر = $(r = 0.65, p < 0.01)$.

پتاسیم با سولفات = $(r = 0.83, p < 0.01)$.

پتاسیم با سدیم = $(r = 0.74, p < 0.01)$.

این امر نشان دهنده منشأ مشترک آنها و وجود کانیهای تبخیری (سازند قم، سازند قرمز فوقانی و

واحدهای تبخیری ائوسن) تأیید کننده این موضوع می باشد (Vikram et al, 2010).

نیترات با کلسیم همبستگی $(r = -0.60, p < 0.01)$ که نشان دهنده هم منشأ نبودن آنها یعنی کلسیم

زمین زاد و نیترات بشرزاد می باشد.

جدول ۵-۸- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه های آب

pH	۱										
EC	۰/۲۶۳	۱									
Mg ⁺²	۰/۴۰۱	۰/۵۸۲*	۱								
K ⁺	۰/۳۸۱	۰/۷۷۷**	۰/۴۶۱	۱							
Ca ⁺²	۰/۰۴۷	۰/۷۱۷**	۰/۰۷۴	۰/۵۱۲	۱						
Na ⁺	-۰/۰۹۲	۰/۸۲۸**	۰/۲۸۳	۰/۷۶۷**	۰/۷۴۳**	۱					
SO ₄ ²⁻	۰/۰۹۶	۰/۸۷۷**	۰/۳۷۹	۰/۷۵۹**	۰/۸۳۴**	۰/۸۶۰**	۱				
HCO ₃ ⁻	۰/۳۰۹	۰/۶۵۶**	۰/۸۵۰**	۰/۵۰۸	۰/۱۵۱	۰/۳۵۳	۰/۴۲۸	۱			
Cl ⁻	-۰/۱۳۶	۰/۷۱۰**	۰/۲۷۰	۰/۴۱۱	۰/۶۱۲*	۰/۷۴۶**	۰/۶۵۶**	۰/۲۲۱	۱		
PO ₄ ³⁻	۰/۰۴۹	۰/۳۳۹	۰/۶۰۶*	۰/۲۵۱	-۰/۰۳۳	۰/۰۵۵	۰/۳۰۰	۰/۵۱۲	۰/۱۳۲	۱	
NO ₃ ⁻	-۰/۰۱۱	-۰/۲۸۶	۰/۲۰۹	-۰/۰۰۳	-۰/۶۰۲*	-۰/۲۱۷	-۰/۳۹۲	۰/۱۹۰	-۰/۳۲۴	۰/۳۳۱	۱
	pH	EC	Mg ⁺²	K ⁺	Ca ⁺²	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

رسوبات

جدول ۵-۹ همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۹- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب

pH	۱										
EC	-۰/۰۷۰	۱									
CaCO ₃	۰/۳۹۰	۰/۱۹۱	۱								
OM	-۰/۱۰۹	-۰/۲۷۹	-۰/۲۲۹	۱							
Zn	-۱/۵۰	۰/۲۴۳	-۰/۱۴۳	-۰/۰۰۴	۱						
Pb	-۰/۰۵۶	۰/۴۷۴	۰/۰۳۹	۰/۱۱۶	۰/۵۴۷*	۱					
Cd	۰/۰۰۱	۰/۳۶۰	۰/۲۷۴	۰/۰۳۶	۰/۲۴۶	۰/۳۵۶	۱				
Cu	-۰/۱۱۹	۰/۰۸۱	۰/۰۰۴	۰/۱۵۷	۰/۱۳۴	۰/۳۱۲	۰/۵۱۵*	۱			
Cr	-۰/۰۰۵	-۰/۰۴۱	۰/۱۶۶	۰/۱۶۳	-۰/۰۰۵	۰/۳۵۱	۰/۳۶۲	۰/۵۶۴*	۱		
Ni	-۰/۲۳۰	-۰/۲۴۷	-۰/۱۵۴	۰/۰۲۷	۰/۱۵۹	۰/۲۲۶	۰/۴۳۷	۰/۵۶۰*	۰/۱۸۰	۱	
Fe	۰/۱۷۲	-۰/۱۷۲	۰/۰۷۵	۰/۱۸۶	۰/۰۵۰	۰/۰۸۱	۰/۴۴۸	۰/۷۷۷**	۰/۳۸۴	۰/۴۸۶	۱
	pH	EC	CaCO ₃	OM	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Fe

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

مس با عناصر نیکل، کروم، آهن و کادمیوم همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان می‌دهد که نشان‌دهنده هم‌منشأ بودن آنها و نشان‌دهنده این امر که این عناصر عمدتاً با واحدهای آذرین بازیگ و محصولات هوازدگی آنها مثل بخش‌های لاتریتی بر روی سازند شمشک، سازند فجین و سازند قرمز فوقانی در ارتباط

هستند و در زیر به میزان همبستگی آنها اشاره شده است.

مس با نیکل = $(r= 0.56, p < 0.05)$.

مس با کروم = $(r= 0.564, p < 0.05)$.

مس با کادمیوم = $(r= 0.515, p < 0.05)$.

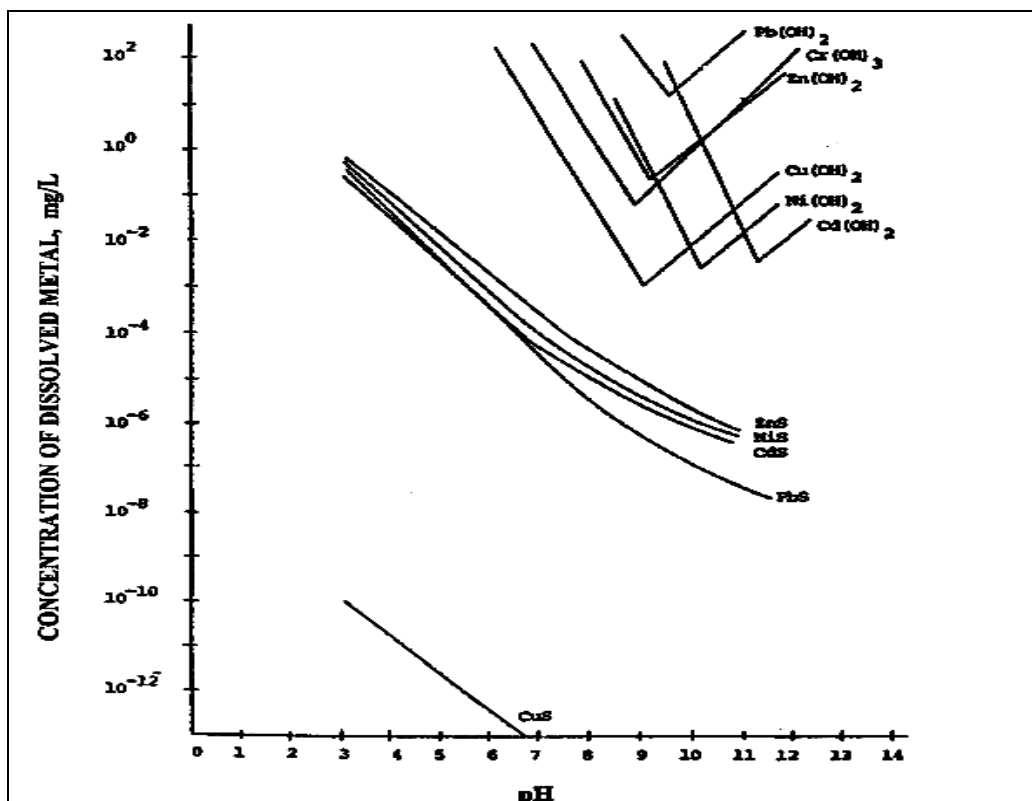
مس با آهن = $(r=0.777, p < 0.01)$.

عناصر کادمیوم، کروم و نیکل نیز با آهن همبستگی مثبت نشان می‌دهند که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده هم‌منشأ بودن آنها باشد (گراوند و همکاران، ۱۳۹۱).

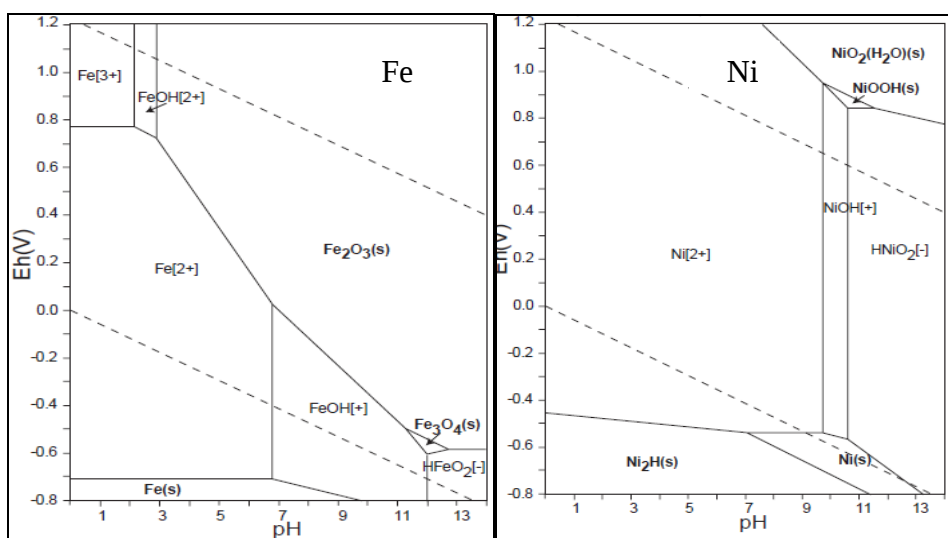
سرب با عنصر روی همبستگی بالا و مثبت $(r= 0.547, p < 0.05)$ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده منشأ مشترک آنها یعنی تحت تأثیر عوامل بشرزاد و سنگهای کربناته و آتشفشانی‌های اسیدی- حدواسط می‌باشند.

۵-۷- بررسی تغییرات و پراکنش غلظت عناصر در آب منطقه

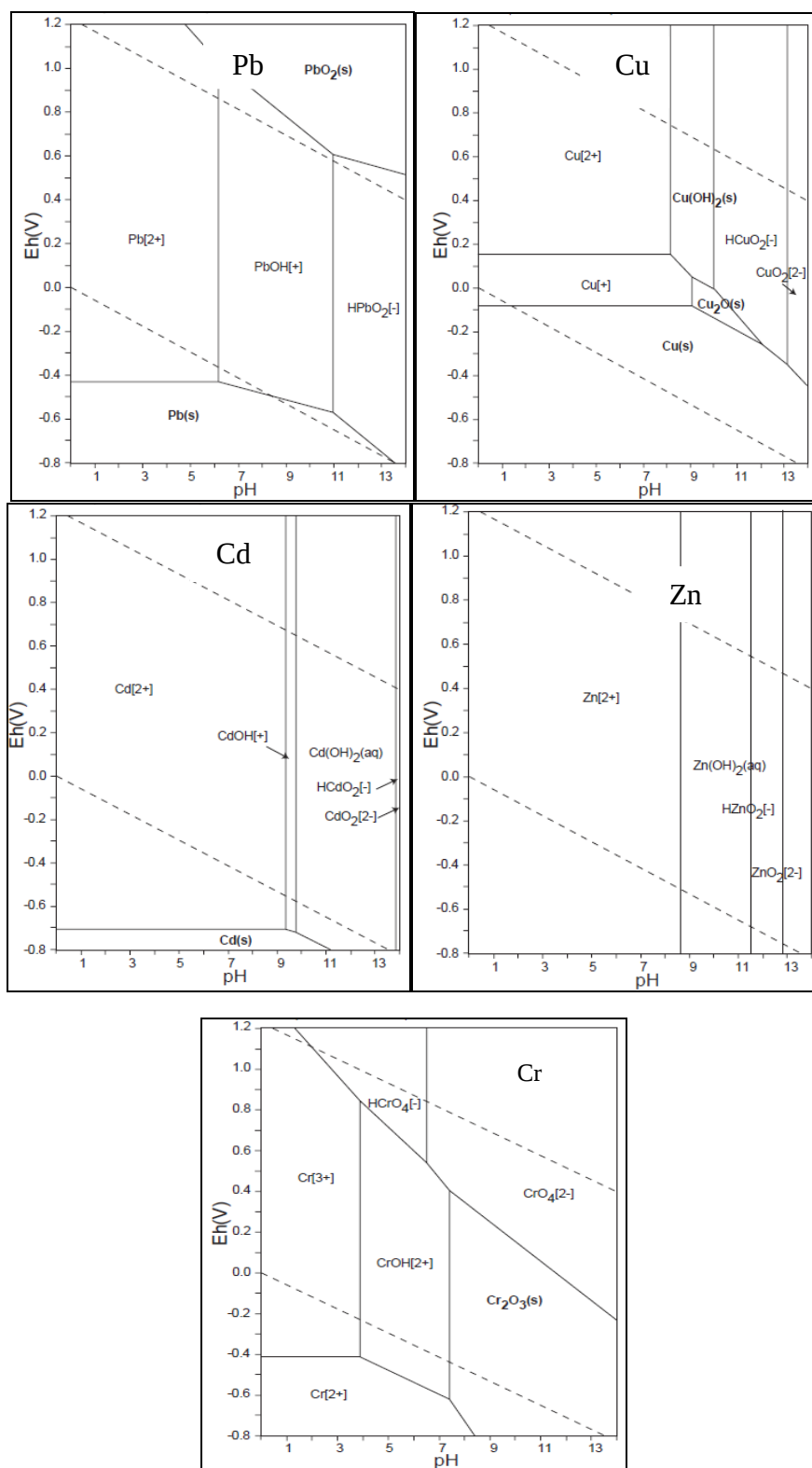
در این بخش به بررسی و ارزیابی نحوه‌ی توزیع و تغییرات عناصر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری آب و رسوبات رودخانه حبله‌رود پرداخته شده است. جذب عناصر توسط رسوبات و یا انحلال آنها در آب وابستگی شدیدی به pH دارد. روند توزیع و پراکنش غلظت فلزات مورد نظر در آب و رسوبات منطقه، با استفاده از نقشه هم‌غلظت عناصر، نتایج مطالعات پیشین و تغییرات انحلال عناصر در pH های مختلف (شکل ۵-۱۹)، و نمودارهای Eh- pH مورد تفسیر قرار گرفت (شکل ۵-۲۰).



شکل ۵-۱۹- انحلال پذیری عناصر در آب بر اساس pH (Wang et al., 2005)



شکل ۵-۲۰- نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh- pH در آب (Takeno, 2005)



ادامه شکل ۵-۲۰- نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh- pH در آب (Takeno, 2005)

۵-۷-۱- مس (Cu)

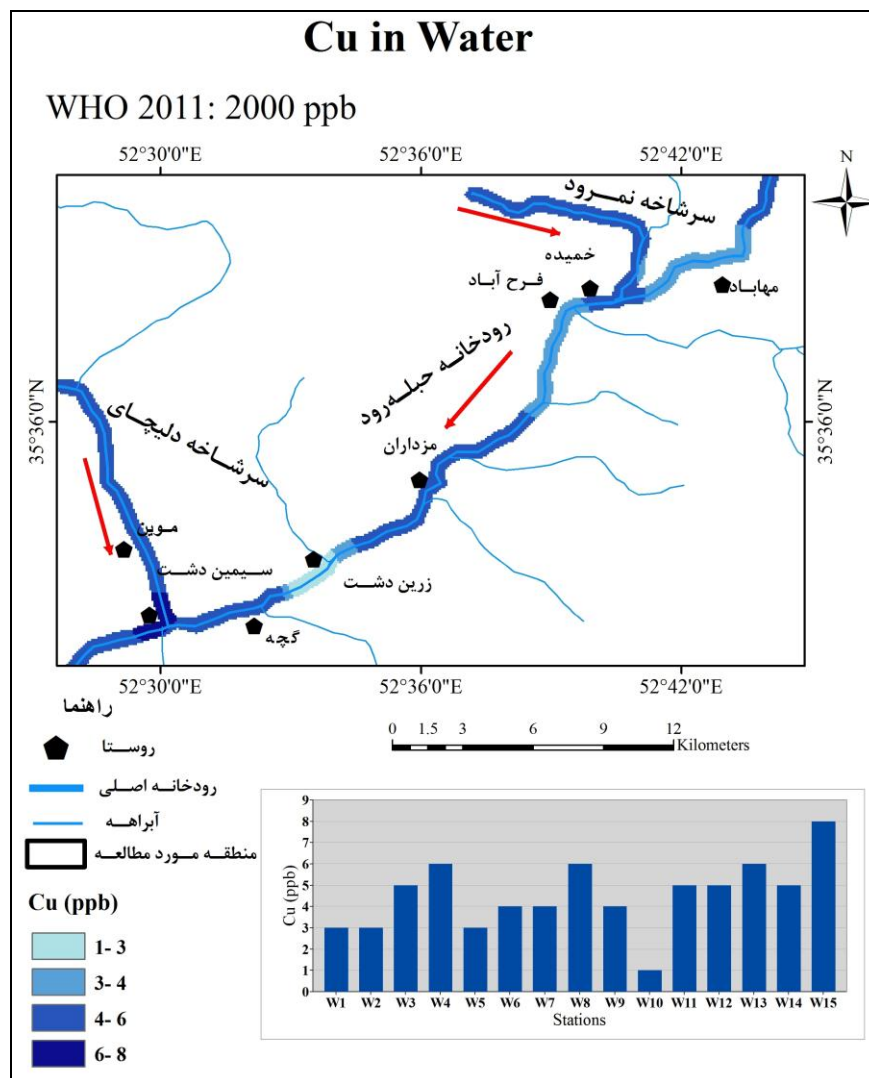
مس یک عنصر ضروری برای بدن انسان و کالکوفیل می باشد. کمبود مس در بدن انسان باعث کاهش رشد، کم خونی، کاهش وزن، اختلالات عصبی، مشکلات قلبی و عروقی و پوکی استخوان می شود. مس دارای دو منبع، انسان زاد (کوره ذوب، احتراق سوخت های فسیلی، ریخته گری، کود و فاضلاب شهری) و طبیعی (هواز دگی سنگ، آتشفشان ها) می باشد (Kabata pendias and Mukherjee, 2007). املاح مس برای جلوگیری از رشد جلبک در مخازن و به عنوان کاتالیزور در اکسیداسیون منگنز و نیز برای کنترل لجن در سیستم های پخش آب مصرف می شود (عودی، ۱۳۷۳). مهمترین منابع ورود مس به محیط های آبی شامل کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی، لجن فاضلاب، فعالیت معادن و کارخانه های ذوب مس و تخلیه فاضلاب های شهری و صنعتی می باشند (Keller et al, 2001; Kabata-Pendias, 2011).

گونه غالب مس با توجه به نمودار Eh-pH و محدوده pH رودخانه حبله رود (۸/۷۸-۸/۱۴)، به صورت Cu^{2+} می باشد (شکل ۵-۲۰). حد مجاز مس در آب های آشامیدنی بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011)، ۲۰۰ ppb می باشد. میانگین غلظت مس در آب رودخانه حبله رود ۴/۳۸ ppb می باشد که پایین تر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) است.

تغییرات غلظت مس در آب رودخانه حبله رود روند خاصی را نشان نمی دهد، به دلیل شرایط قلیایی منطقه (۸/۴۱ : pH متوسط)، و انحلال پذیری پایین مس در این pH، به طور کلی مس کمتر در آب حل شده و بیشتر در رسوب ته نشین شده است. بیشترین میزان مس در آب رودخانه حبله رود در نمونه W15 (سرشاخه دلیچای) مشاهده گردید. کمترین غلظت مس در رودخانه حبله رود مربوط به نمونه W10 (روستای زرین دشت) که احتمالاً به دلیل وجود رخنمون شیل های سازند کرج (دارا بودن مواد آلی) بوده است (شکل ۵-۲۱).

غلظت میانگین مس در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۳۳ mg/kg تعیین شده است. میزان غلظت

مس در رسوبات منطقه تغییرات چندانی نشان نمی‌دهد. میانگین غلظت مس در رسوب رودخانه حبله‌رود $12/64 \text{ mg/kg}$ می‌باشد که بسیار بالاتر از مقدار این عنصر در آب است. انحلال‌پذیری مس در pH قلیایی منطقه این امر را تأیید می‌نماید.

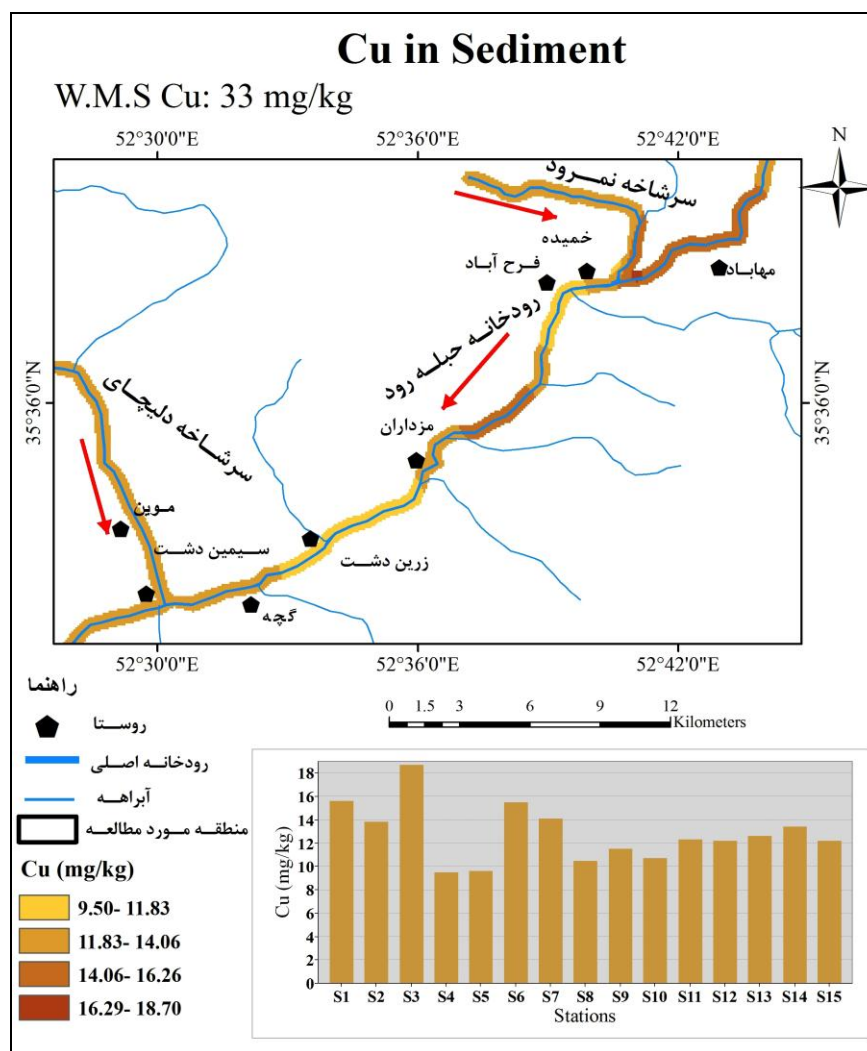


۵-۲۱- تغییرات مقادیر عنصر مس در نمونه‌های آب منطقه

بالاترین میزان مس در نمونه S3 (تلاقی حبله‌رود با نمروود و بالادست روستای خمیده) به‌دلیل سرشاخه نمروود، رخنمون‌های آهکی و شیل‌های زغال‌دار سازند شمشک می‌باشد (شکل ۵-۲۲). تأثیر ساختارهای کربناته بر نگهداشت عناصر فلزی از جمله مس توسط محققین دیگر نیز مورد تأیید می‌باشد

(Ibrahim Korfali and Davies, 2004).

تأثیر روستاها در روند تغییرات مس در آب و رسوبات نشان از تأثیر فعالیت‌های بشرزاد بر پراکنش این عناصر در منطقه می‌باشد. از سوی دیگر همبستگی مس با آهن در رسوبات ($r = 0.777$, $p < 0.01$) تأثیر ساختار زمین‌شناسی بر توزیع این عنصر در منطقه را روشن می‌سازد. بنابراین به طور کلی در توزیع عنصر مس در آب و رسوبات منطقه هر دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد مؤثر بوده‌اند.



۵-۲۲- تغییرات مقادیر مس در نمونه‌های رسوب منطقه

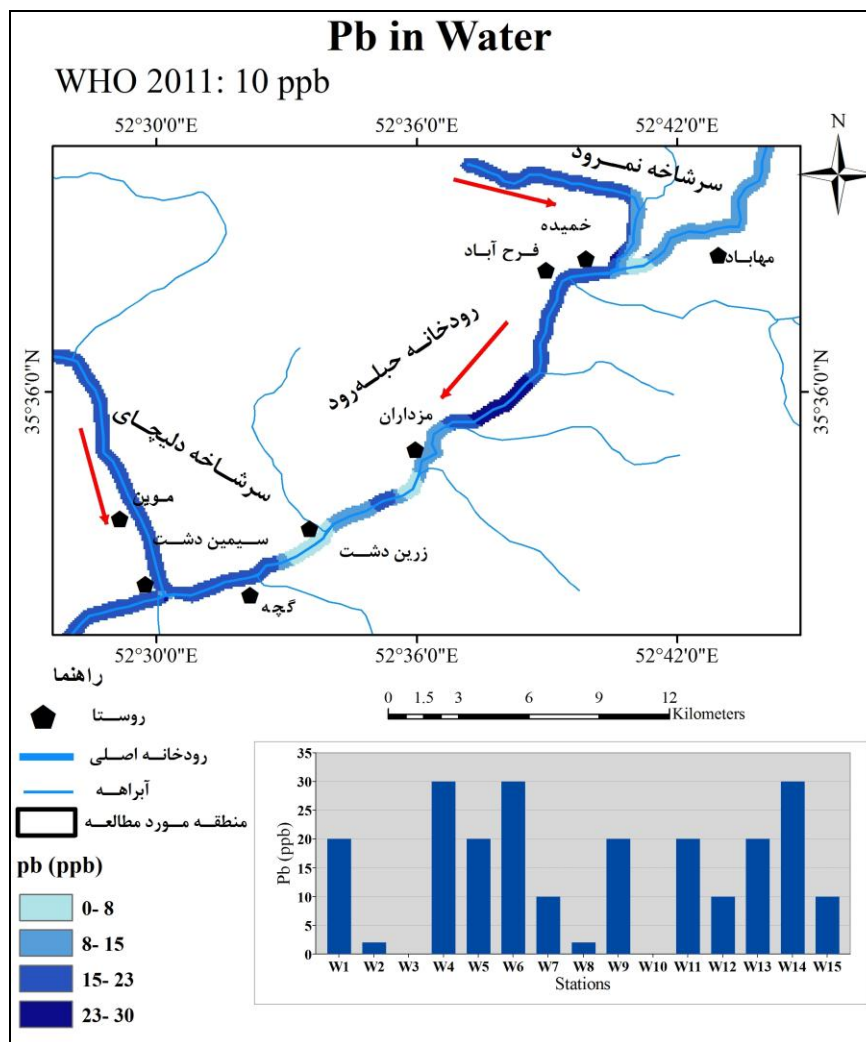
۵-۷-۲- سرب (Pb)

سرب یکی از عناصر اصلی پوسته زمین و غلظت متوسط آن در پوسته ۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد (عودی، ۱۳۷۳). سرب یک عنصر کالکوفیل است که بیشتر در سولفیدها تجمع می یابد (مر و شرفی، ۱۳۸۳). وزن مخصوص سرب ۱۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. غلظت سرب در سنگهای آذرین اسیدی و رسوبات رسی بین ۱۰ mg/kg تا ۴۰ mg/kg می باشد و در سنگهای اولترامافیک و رسوبات کربناته به ۰/۱ mg/kg تا ۱۰ mg/kg کاهش می یابد (Kabata- Pendias and Mukherjee, 2007). کانی اصلی سرب گالن است. سرب به کانیهای رسی، اکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی متصل می شود (Hem, 1985).

یون سرب می تواند در کانیها و محلولها جانشین قلع، باریم، پتاسیم و کلسیم شود. کربناتها و فسفاتها قابلیت حرکت سرب را کاهش می دهند و باعث کاهش سرب در آبهای سطحی و زیرزمینی می شود (Hem, 1985). حلالیت کم سرب به علت توانایی این عنصر در تشکیل ترکیبات کربناتها، سولفاتها و هیدروکسیدهاست، بنابراین حلالیت سرب در آب توسط کربناتها و درجه قلیایی بودن کنترل می شود (غضبان، ۱۳۸۱).

سرب در روکش کابل، آلیاژها، مواد افزودنی، بنزین و آفتکشها مورد استفاده قرار می گیرد (Bradl, 2005). علائم مسمومیت سرب در انسان، کم شدن میزان استعداد، ایجاد اختلال در شنیدن و تکلم، کاهش حافظه، سوء تغذیه و کم خونی می باشد. با توجه به محدوده pH منطقه (۸/۷۸-۸/۱۴)، سرب در آب انحلال پذیری کمی دارد و به صورت $Pb(OH)^+$ دیده می شود.

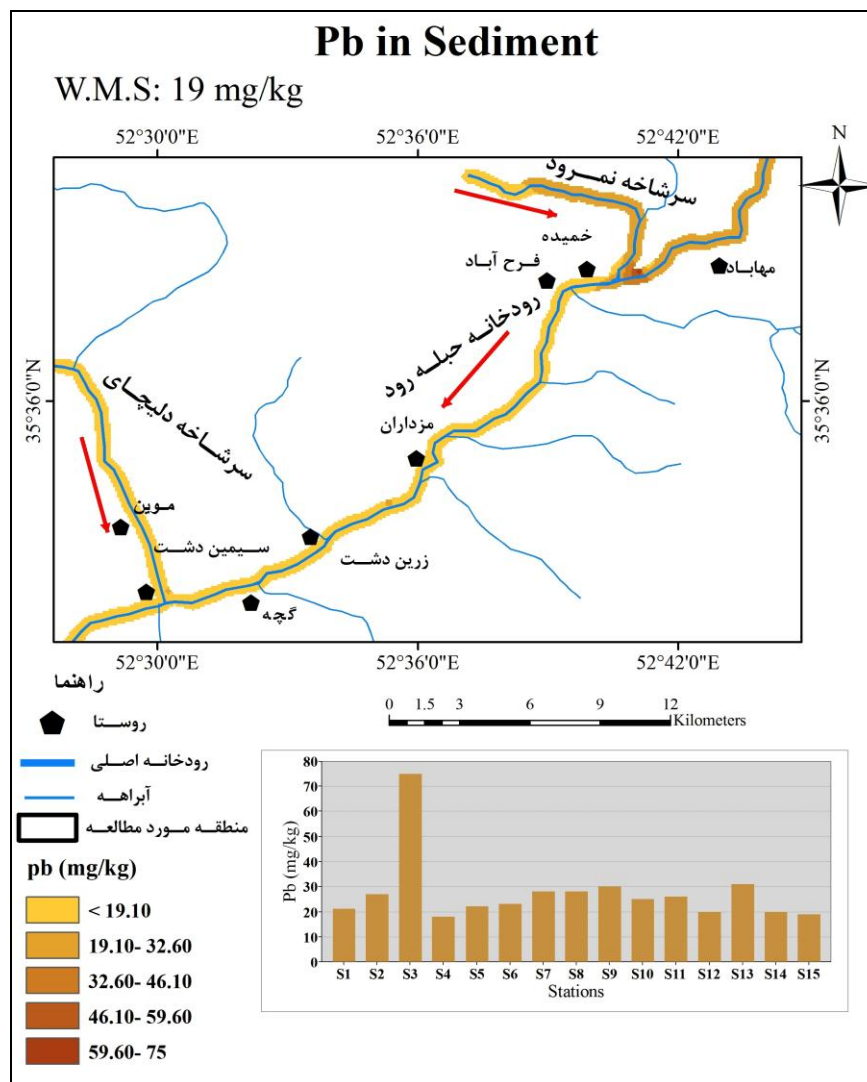
حد آشکارسازی دستگاه جذب اتمی استفاده شده برای سرب $DI < 0.01$ ppb می باشد. میانگین غلظت سرب نمونه های آب رودخانه حبله رود ۱۷/۶۳ ppb می باشد. غلظت این عنصر در ۶۳/۶۳ درصد نمونه های آب رودخانه بالاتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی یا ۱۰ ppb (WHO, 2011) می باشد (شکل ۵-۲۳).



شکل ۵-۲۳- تغییرات مقادیر سرب در نمونه‌های آب منطقه

نتایج بررسی پراکنش سرب در نمونه‌های آب منطقه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار سرب در نمونه W4 (پایین‌دست روستای خمیده و بالادست فرح‌آباد)، نمونه W6 (بالادست روستای مزاران) و نمونه W14 (پایین‌دست روستای سیمین‌دشت) که متأثر از منابع بشرزاد و زمین‌زاد از جمله کودهای کشاورزی، سرب وسایل نقلیه و راه آهن و سنگهای تخریبی می‌باشد، دیده می‌شود.

غلظت متوسط سرب در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۱۹ mg/kg تعیین شده است. شکل ۵-۲۴ روند تغییرات سرب در رسوبات منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۴- تغییرات مقادیر سرب در نمونه‌های رسوب منطقه

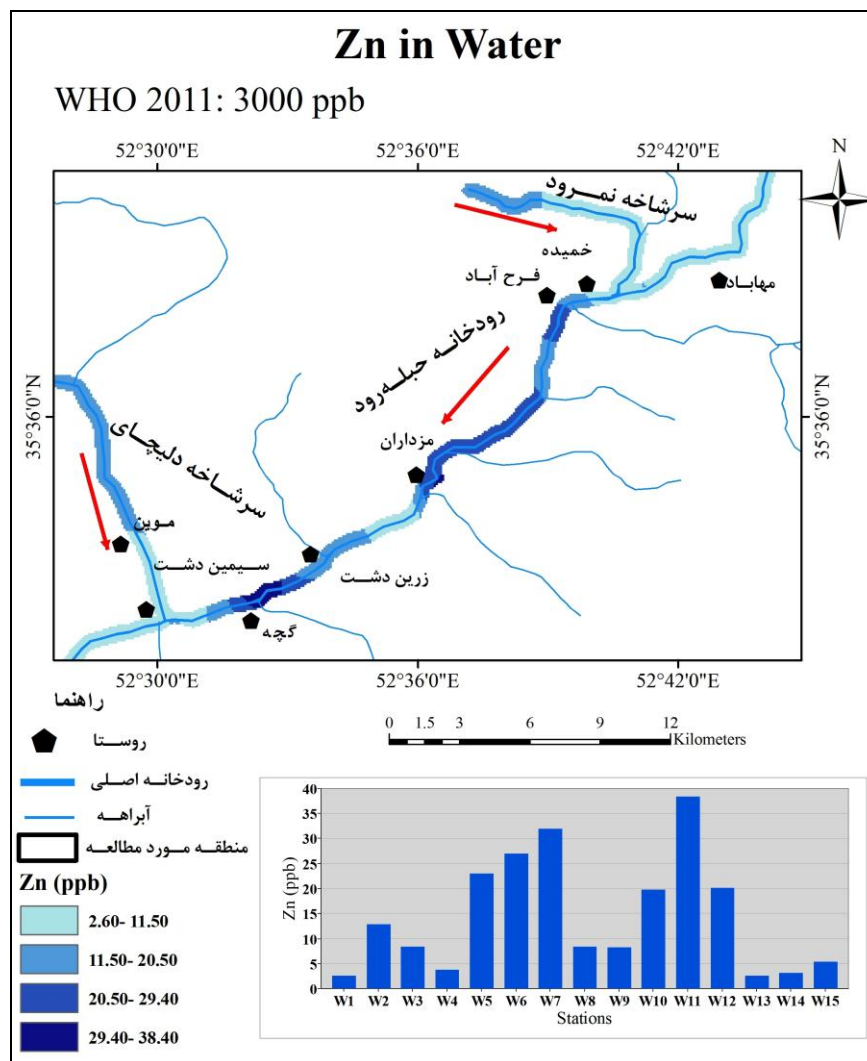
غلظت سرب در اکثر نمونه‌های رسوب بیش از این مقدار می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان به زمین‌شناسی منطقه، حضور رخنمون‌های آهکی (سازند لار و آهک‌های کرتاسه) و شیل‌ها (قم، قرمز فوقانی، شمشک و کرج) در منطقه مربوط دانست. رخنمون‌های کربناته سرب را در داخل شبکه خود به‌دام انداخته و انحلال‌پذیری این عنصر را کاهش داده و میزان آن را در رسوبات افزایش و در آب کاهش می‌دهند (Ibrahim Korfali and Davies, 2004). بالا بودن غلظت این عنصر در نمونه S3 (تلاقی حبله‌رود با نمروود و بالادست روستای خمیده) می‌تواند به‌دلیل حضور رخنمون‌های کربناته و شیل‌های زغال‌دار سازند

شمشک در این ایستگاه می‌باشد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر دو منشأ زمین‌زاد و بشرزاد در توزیع و پراکنش عنصر سرب در منطقه نقش مؤثری را ایفا نموده‌اند.

۵-۷-۳- روی (Zn)

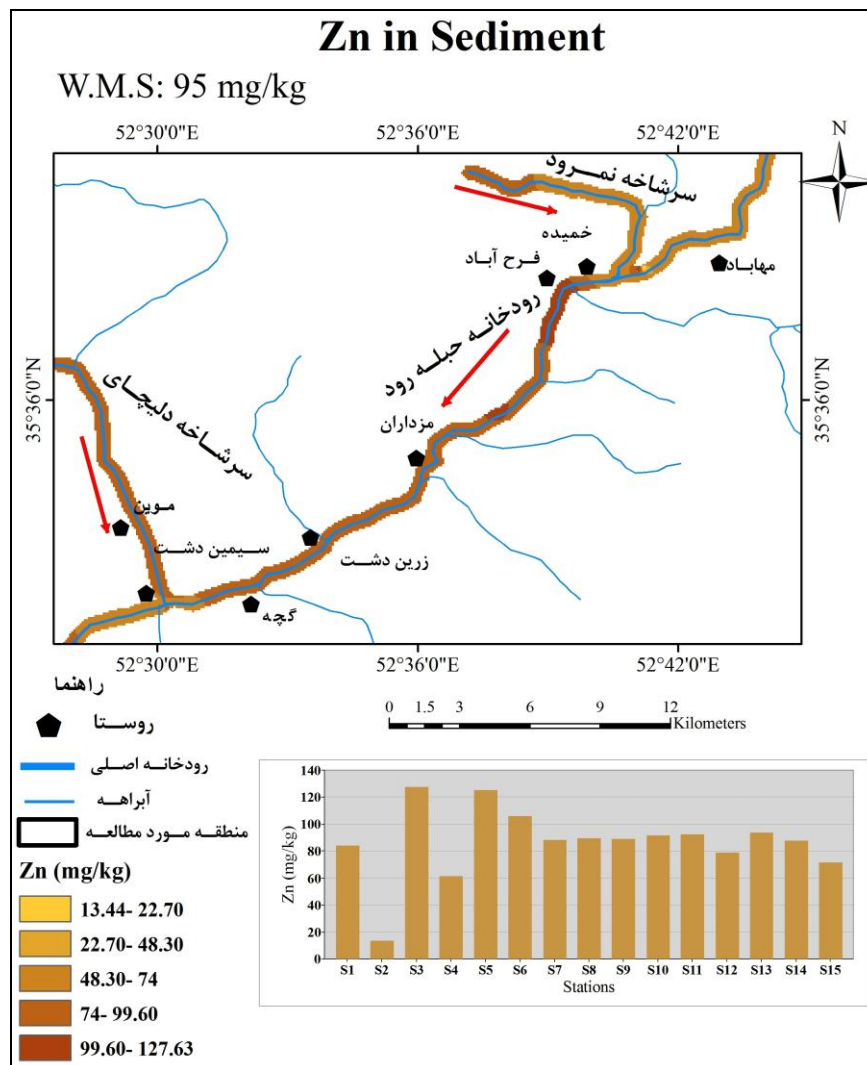
میزان روی در پوسته ۵۲-۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. روی از عناصر ضروری بدن و کالکوفیل محسوب می‌شود و کمبود آن باعث به تأخیر افتادن رشد و کم‌خونی می‌شود (عودی، ۱۳۷۳). فاکتورهای مؤثر بر غلظت روی در آب‌های طبیعی شامل غلظت بی‌کربنات، pH، انحلال‌پذیری و غیره می‌باشد. از جمله منابع روی، فاضلاب شهری و کود شیمیایی، پساب معادن، و فرسایش خاک حاوی روی را می‌توان نام برد (Kabata- Pendias and Mukhrjee, 2007). غلظت روی در شیل و سنگ آهک به‌دلیل وجود مواد آلی، کانیهای رسی و کربنات‌ها، زیاد می‌باشد ولی در ماسه کم است (Kabata-Pendias, 2011). رفتار و دسترس‌پذیری روی در خاک توسط پارامترهای فیزیکوشیمیایی مهم از جمله میزان سیلیکات، کربنات، فسفات، اکسیدها و مواد آلی خاک کنترل می‌شود (Mcgrath et al., 1997). روی در لاستیک خودرو، ضد عفونی کننده‌ها، لوازم آرایشی، تلویزیون، کودها، حشره‌کش‌ها و مواد نگهدارنده کاربرد دارد. اشکال محلول در آب روی شامل نیترات، کلرات و کلریدها هستند در حالیکه کربنات‌ها، اکسیدها، فسفات‌ها و سیلیکات‌های روی در آب نسبتاً نامحلول می‌باشند (Bradl, 2005). شکل ۵-۲۵ روند تغییرات روی در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۵- تغییرات مقادیر روی در نمونه‌های آب منطقه

در محدوده pH منطقه (۸/۱۴-۸/۷۸)، عنصر روی در آب به صورت $Zn(OH)^+$ یا Zn^{2+} می‌باشد (شکل ۵-۲۰). انحلال روی با افزایش pH از ۸/۱۴ تا ۸/۷۸ کاهش می‌یابد (شکل ۵-۱۹). غلظت Zn در آب در کلیه نمونه‌های پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی یا ۳۰۰۰ ppb (WHO, 2011) می‌باشد. حداکثر مقدار روی در نمونه W11 (پایین‌دست روستای زرین‌دشت) اندازه‌گیری گردید که به‌علت ورود فاضلاب روستایی به رودخانه و رخنمون شیل‌ها (سازند کرج و سازند قرمز فوقانی) می‌باشد. کمترین مقدار روی در نمونه W1 (سرشاخه نمروود) و نمونه W13 (روستای سیمین‌دشت و تلاقی حبله‌رود با دلیچای) می‌باشد.

شکل ۵-۲۶ روند تغییرات غلظت روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۶- تغییرات مقادیر روی در نمونه‌های رسوب منطقه

میانگین غلظت روی در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۹۵ mg/kg تعیین شده است. میانگین غلظت روی در رسوبات رودخانه حبله رود ۸۸/۱۰ mg/kg می‌باشد که در سه نمونه، S3 (تلاقی حبله رود با نم‌رود و بالادست روستای خمیده)، S5 (پایین دست روستای فرح آباد) و S6 (بالادست روستای مزاران) بالاتر از میانگین غلظت روی در رسوبات جهانی بوده که احتمالاً به دلیل ورود فاضلاب روستایی و کشاورزی و زیاد شدن ماده آلی در این ایستگاه‌ها (شیل‌های سازند شمشک)، ورود سرشاخه نم‌رود، رخنمون‌های تخریبی

سازند فجن و نقش کربنات‌ها در نگهداری روی نسبت داد (Ibrahim Korfali and Davies, 2004). مقایسه روند تغییرات روی در آب و رسوب نشان می‌دهد که میزان روی در رسوب رودخانه حبله رود بیشتر از آب این رودخانه می‌باشد که احتمالاً به دلیل بدام افتادن این عنصر در شبکه سازندهای کربناته و رسوبات آهکی در منطقه مورد نظر و کاهش انحلال‌پذیری آن در محدوده pH منطقه (۸/۱۴-۸/۷۸) می‌باشد. بنابراین هر دو عامل ساختارهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های بشرزاد در روند توزیع این عنصر در منطقه نقش داشته‌اند.

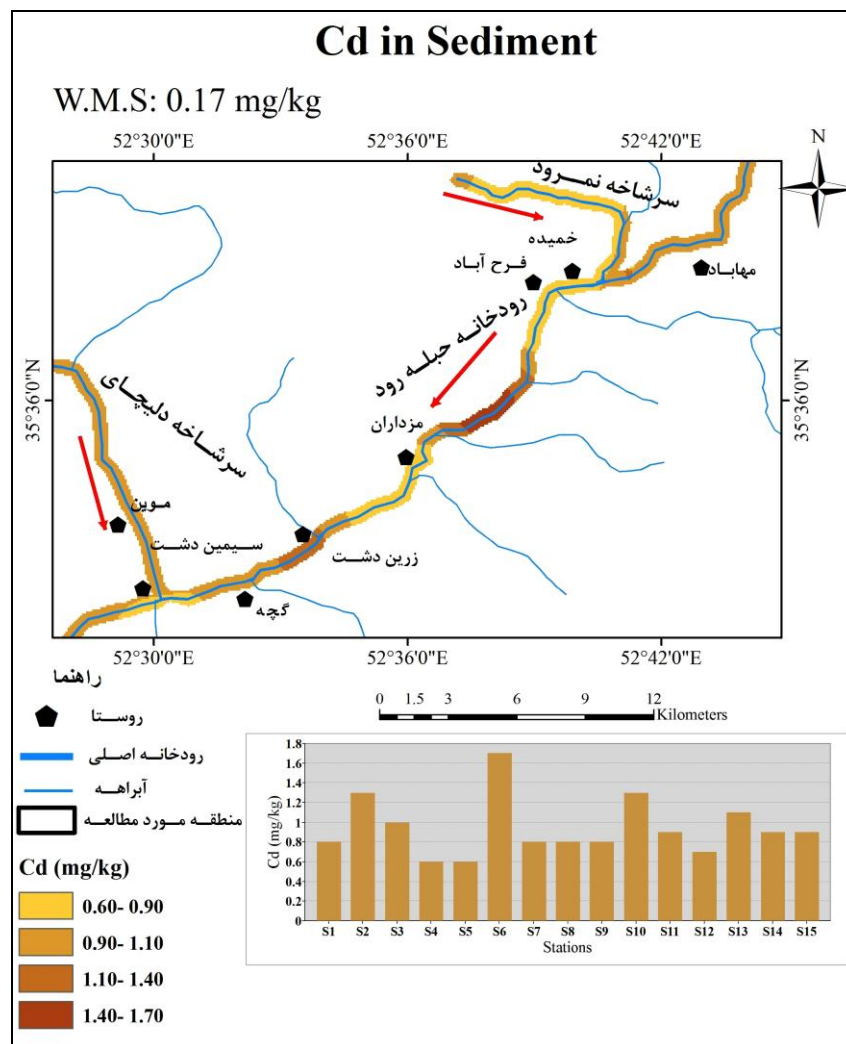
۵-۷-۴- کادمیوم (Cd)

میزان کادمیوم عنصری در پوسته زمین $0.1-0.2 \text{ mg/kg}$ می‌باشد. کادمیوم و روی از لحاظ ساختمان یونی و الکترونگاتیویته شبیه هم، و عناصری کالکوفیل هستند اما کادمیوم تمایل بیشتری برای ترکیب شدن با گوگرد نسبت به روی دارد (Kabata-Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). کادمیوم معمولاً همراه با روی است و اغلب به صورت ترکیب با عناصر اکسیژن، فلوئور، کلر و گوگرد دیده می‌شود (Sarkar, 2002). کادمیوم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده ناشی از کارخانه‌های صنعتی و استفاده از کود در کشاورزی وارد منبع آب می‌شود (Kabata-Pendias, 2011). منابع انسان‌زاد کادمیوم بیشتر شامل کودهای فسفاته، فاضلاب شهری، فعالیت‌های ذوب و خالص کردن فلزات و قارچ‌کش‌ها می‌باشد (Bradl, 2005).

گونه غالب کادمیوم در آب با توجه به نمودار Eh-pH و محدوده pH آب رودخانه حبله رود (۸/۱۴-۸/۷۸)، به صورت Cd^{2+} می‌باشد (شکل ۵-۲۰). با افزایش pH انحلال کادمیوم کاهش می‌یابد (شکل ۵-۱۹). فرایندهای اصلی مؤثر بر غلظت کادمیوم در محیط‌زیست فرایندهای جذب و واجذب می‌باشد که این فرایندها تحت تأثیر pH، قدرت یونی و ظرفیت تبادل کاتیونی قرار می‌گیرد (Bradl, 2005). سازمان

بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی را 0.03 mg/L تعیین کرده است. میزان کادمیوم در آب رودخانه حبله رود خیلی کم بوده و قابل آشکارسازی ($\text{DI} < 0.01 \text{ ppb}$) در دستگاه نبوده است. تمایل کربنات‌ها در جذب کادمیوم و تمایل کادمیوم در جایگزینی با Ca در رسوبات می‌تواند عامل مؤثر در کاهش انحلال‌پذیری کادمیوم در آب منطقه محسوب گردد (Ibrahim Korfali and Davies, 2004).

شکل ۵-۲۷ تغییرات غلظت کادمیوم در نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۷- تغییرات مقادیر کادمیوم در نمونه‌های رسوب منطقه

میانگین غلظت کادمیوم در رسوبات جهانی (Bowen, 1979) 0.17 mg/kg تعیین شده است. میانگین

غلظت کادمیوم در رسوبات رودخانه حبله رود 0.96 mg/kg می باشد که بالاتر از میانگین غلظت کادمیوم در رسوبات جهانی می باشد. بالا بودن کادمیوم در ایستگاه های بالادست می تواند بیشتر به علت وجود رخنمون سازند شمشک (لایه های زغال دار) و تمرکز باغات و مناطق روستایی در این ناحیه و در ایستگاه های پایین دست به علت وجود فاضلاب روستایی و شیل های سازند قرمز فوقانی می باشد. بیشترین غلظت کادمیوم در رسوبات در نمونه S6 (بالادست مزداران) به دلیل رخنمون سنگ های تخریبی سازند فجن می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، فعالیت های بشرزاد و ساختار زمین شناسی منطقه در پراکنش این عنصر در رسوبات نقش مؤثری را ایفا کرده اند.

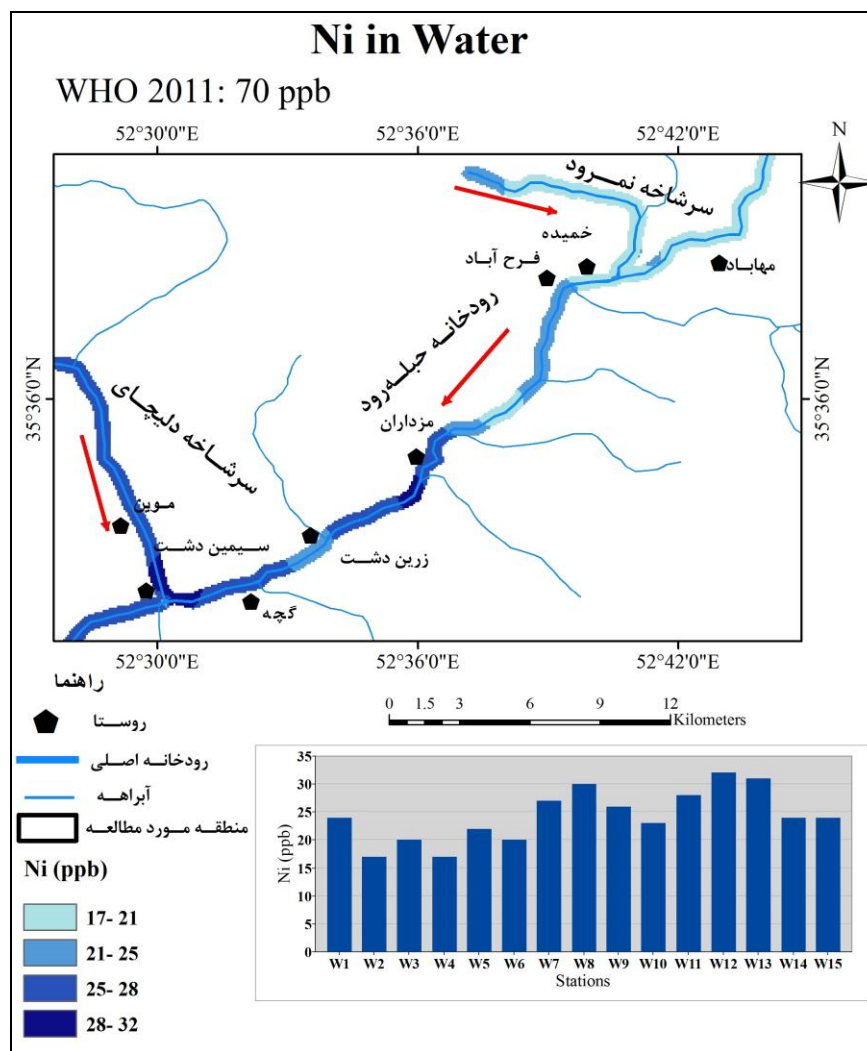
۵-۷-۵- نیکل (Ni)

میانگین نیکل در پوسته زمین حدود ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. نیکل جزء عناصر سیدروفیل و کالکوفیل است که میل ترکیبی زیادی با آهن و گوگرد دارد. از جمله عوامل مهم کنترل کننده رفتار نیکل، رس، مواد آلی و pH می باشند. ماده آلی توانایی بالایی برای جذب نیکل دارد، بنابراین در نفت و زغال سنگ به میزان بالایی وجود دارد (Bradl, 2005).

نیکل در تهیه انواع آلیاژهای فلزی برای هواپیما، صنایع آبکاری و در ظروف آشپزخانه کاربرد دارد. نیکل برای مدت زمان زیادی در آب محلول نمی ماند و توسط مواد معلق و هیدروکسیدهای آهن و منگنز جذب و در رسوب ته نشین می شود (Kabata-pendias and Mukherjee, 2007). غالباً افزایش ناگهانی نیکل در آب، به دلیل آلودگی فاضلاب صنعتی می باشد (عودی، ۱۳۷۳). منبع اصلی نیکل در محیط زیست، استخراج و ذوب فلزات، لجن فاضلاب، سوخت بنزین و احتراق زغال سنگ می باشد (Bradl, 2005).

با توجه به نمودار Eh-pH در محدوده pH منطقه (۸/۱۴-۸/۷۸)، نیکل در آب به صورت Ni^{2+} می باشد (شکل ۵-۲۰). انحلال نیکل با افزایش pH در بازه pH رودخانه از ۸/۱۴ تا ۸/۷۸ تا ده برابر کاهش می یابد (شکل ۵-۱۹). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز نیکل در آب آشامیدنی را 0.07 mg/L

تعیین کرده است. میانگین غلظت نیکل در آب رودخانه حبله رود ۲۴/۳۸ ppb می‌باشد که از حد استاندارد ذکر شده پایین‌تر است (شکل ۵-۲۸).

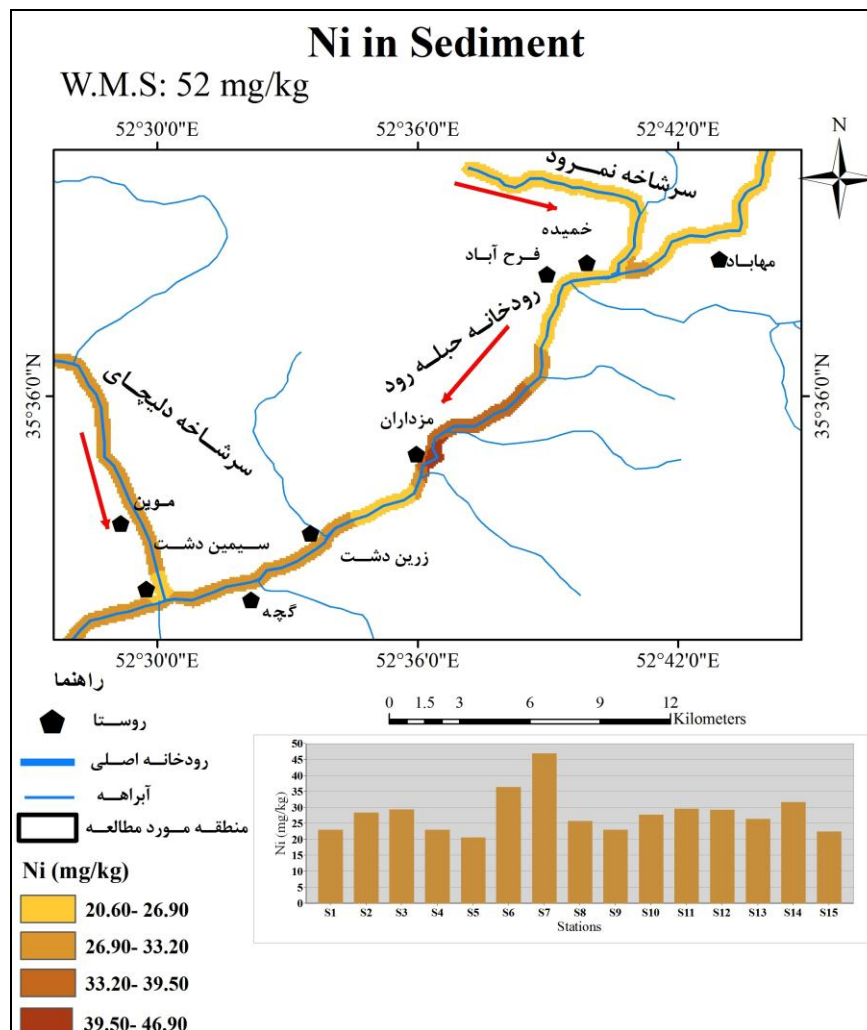


شکل ۵-۲۸- تغییرات مقادیر نیکل در نمونه‌های آب منطقه

غلظت نیکل در آب رودخانه حبله رود به سمت پایین‌دست، روند افزایشی را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت این عنصر در نمونه W12 (بالادست روستای سیمین‌دشت) به دلیل رخنمون سازند قرمز فوقانی که حاوی لاتریت و شیل می‌باشد.

غلظت متوسط نیکل در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۵۲ mg/kg، تعیین شده است. در هیچ یک از

نمونه‌های رسوبات منطقه غلظت نیکل بالاتر از این حد نمی‌باشد (شکل ۵-۲۹).



شکل ۵-۲۹- تغییرات مقادیر نیکل در نمونه‌های رسوب منطقه

میانگین غلظت نیکل در رسوب رودخانه حبله رود ۲۹/۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد. غلظت نیکل در رسوبات منطقه در نمونه‌های S6 (بالادست روستای مزداران) و نمونه S7 (روستای مزداران) بالا است که دلیل این امر را می‌توان به حضور رخنمون سنگهای تخریبی سازند فجن و شیل‌های سازند کرج در منطقه نسبت داد.

به طور کلی از بالادست رودخانه به سمت پایین دست (کاهش رخنمون سازند لار و آهک‌های کرتاسه و افزایش رخنمون لاتریت‌های سازند قرمز فوقانی) غلظت نیکل در آب افزایش یافته و همچنین غلظت نیکل

در رسوب بیشتر از آب منطقه می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده عوامل زمین‌زاد در پراکنش این عنصر در آب و رسوبات منطقه مؤثر بوده است.

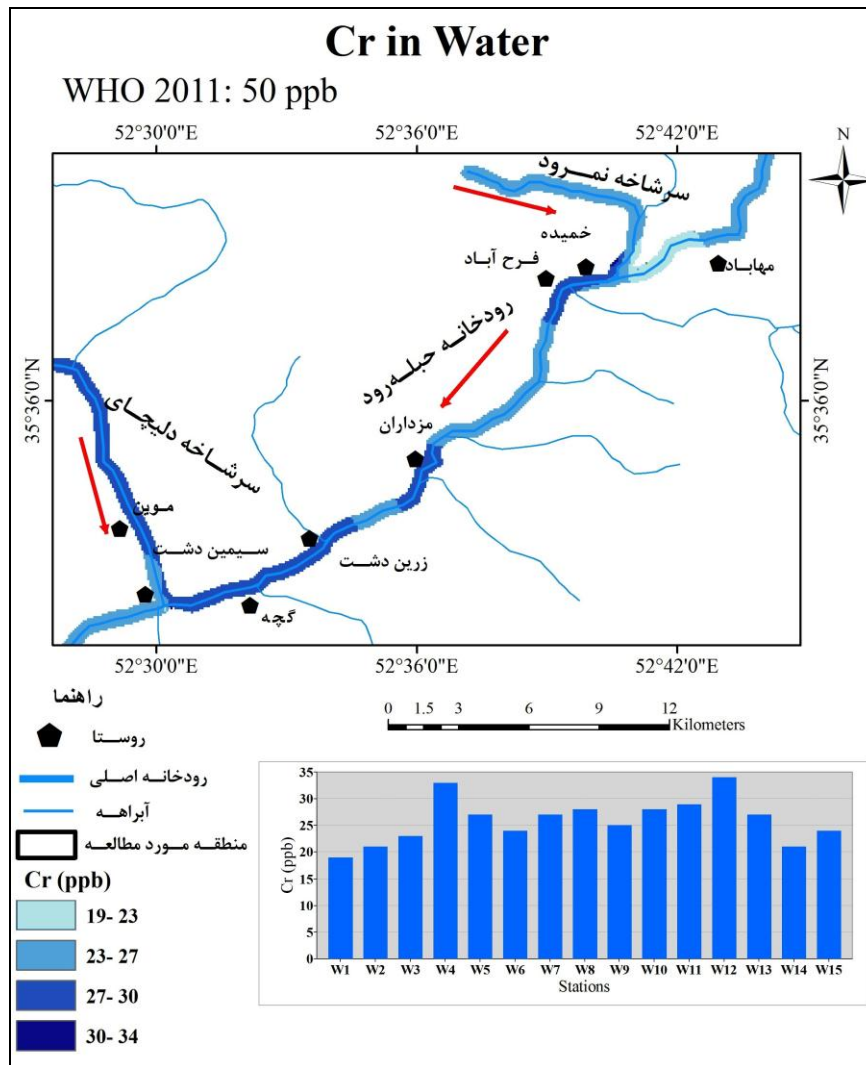
۵-۷-۶- کروم (Cr)

کروم عنصری لیتوفیل است. غلظت متوسط کروم در سنگها نشان می‌دهد که این عنصر تمایل زیادی به تجمع در سنگهای آذرین مافیک و رسوبات رسی دارد. کروم در مراحل اولیه تبلور ماگما رسوب می‌کند. از جمله کانیهای کروم‌دار می‌توان آمفیبول، میکا و پیروکسن را نام برد. از کروم در صنایع شیمیایی، ذوب فلزات، چرم‌سازی، مواد نگهدارنده چوب استفاده می‌شود (Kabata pendias and Mukherjee, 2007). از دیگر منابع کروم کودهای حیوانی، کودهای فسفاته، صنعت کاغذ و زغالسنگ را می‌توان نام برد.

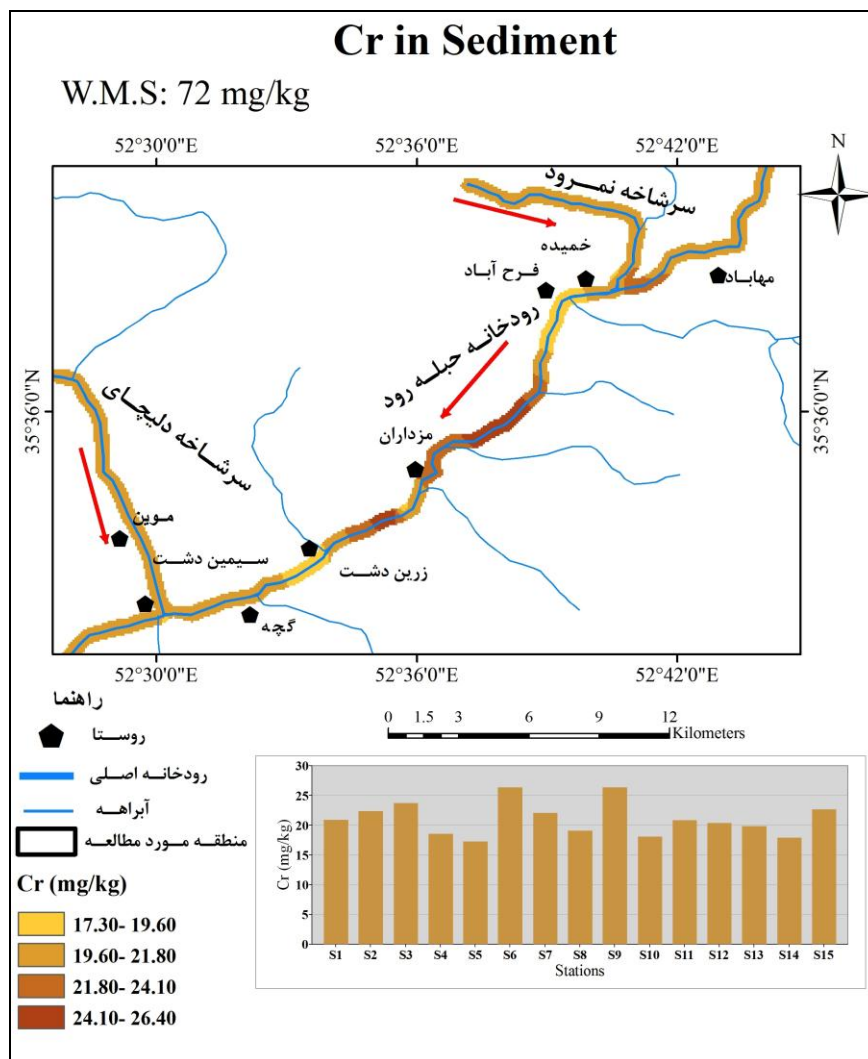
گونه غالب کروم در آب با توجه به نمودار Eh-pH و محدوده pH آب منطقه (۸/۷۸-۸/۱۴)، CrO_4^{2-} می‌باشد (شکل ۵-۲۰). انحلال کروم با افزایش pH کاهش می‌یابد (شکل ۵-۱۹). حد مجاز کروم در آب‌های آشامیدنی براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) ۵۰ ppb می‌باشد. میانگین غلظت کروم در آب رودخانه حبله‌رود ۲۶/۶۹ ppb می‌باشد که نشان می‌دهد آب رودخانه به کروم آلوده نیست (شکل ۵-۳۰). بالا بودن غلظت کروم در آب در نمونه W4 (پایین‌دست روستای خمیده و بالادست فرح‌آباد)، و نمونه W12 (بالادست روستای سیمین‌دشت) می‌تواند به دلیل تأثیر فاضلاب روستایی و رخنمون شیل‌های سازند شمشک و قرمز فوقانی باشد. همچنین در ایستگاه‌های ابتدایی کاهش کروم می‌تواند به دلیل وجود رخنمون سنگهای آهکی و مارن‌ها باشد که باعث جذب کروم از آب می‌شوند (Ibrahim Korfali and Davies, 2004).

غلظت متوسط کروم در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۷۲ mg/kg تعیین شده است. میانگین غلظت کروم در رسوبات منطقه ۲۰/۹۹ mg/kg می‌باشد که پایین‌تر از حد مذکور می‌باشد (شکل ۵-۳۱). غلظت کروم در رسوبات بیشتر از آب رودخانه حبله‌رود می‌باشد که دلیل این امر حضور رخنمون شیل‌ها (سازند

قرمز فوقانی ، سازند کرج و سازند شمشک) در منطقه مورد مطالعه می باشد. به طور کلی می توان گفت که هر دو عامل زمین زاد و بشرزاد در توزیع عنصر کروم در آب و رسوبات منطقه مؤثر بوده اند.



شکل ۵-۳۰- تغییرات مقادیر کروم در نمونه های آب منطقه



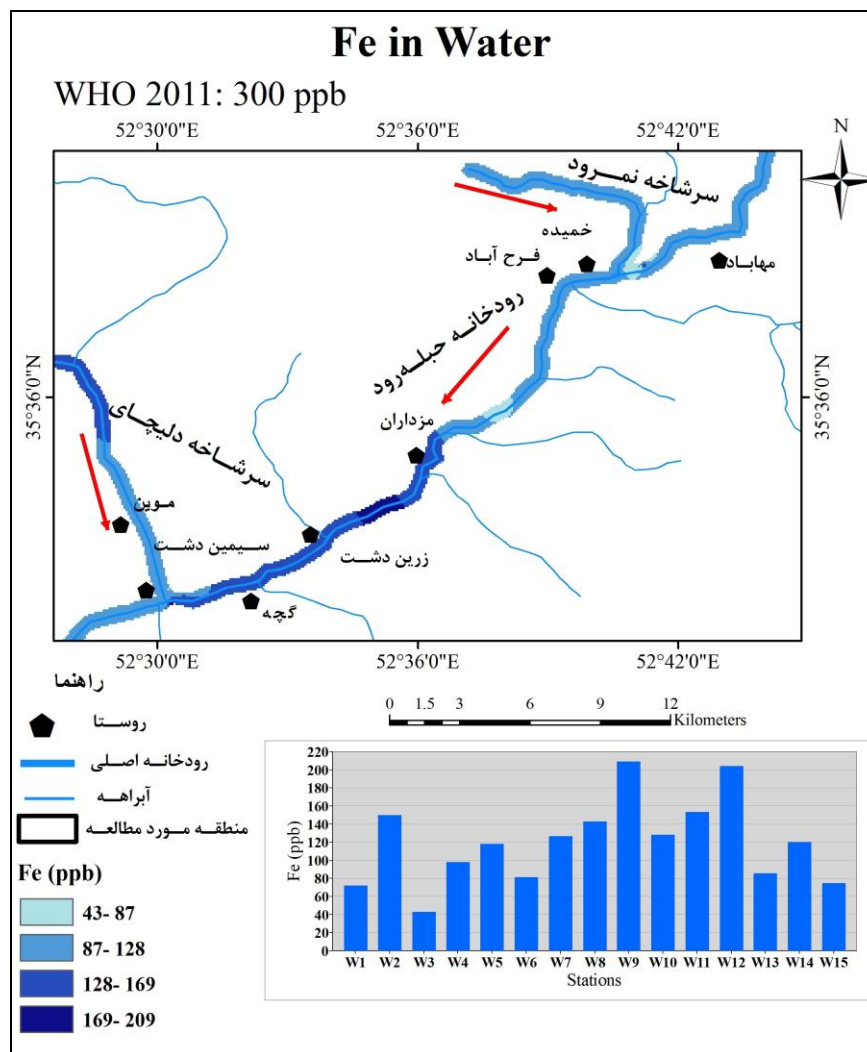
شکل ۵-۳۱- تغییرات مقادیر کروم در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۷-۷- آهن (Fe)

آهن یک عنصر مهم و ضروری در بدن انسان است که ۵٪ پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. رفتار ژئوشیمیایی آهن شبیه کبالت و نیکل است. بر اساس شرایط اکسیداسیون-احیاء محیط، آهن رفتارهای متنوعی از قبیل سیدروفیل، کالکوفیل و لیتوفیل را نشان می‌دهد (Kabata- Pendias and Mukherjee, 2007). رفتار ژئوشیمیایی آهن در محیط رسوبی را می‌توان توسط قانون گلداشمیت (۱۹۵۸) بیان نمود: آهن در شرایط اکسیدی و قلیایی ته‌نشین و در شرایط اسیدی و احیایی محلول می‌باشد (شهاب‌پور،

(۱۳۸۷).

بر طبق نمودار Eh-pH و pH آب رودخانه (۸/۷۸-۸/۱۴) آهن غالباً به‌صورت هماتیت در منطقه رسوب کرده است و میزان کم آهن موجود در آب این امر را تأیید می‌نماید (شکل ۵-۲۰). شکل ۵-۳۲ روند تغییرات غلظت آهن در نمونه‌های آب منطقه را نشان می‌دهد.

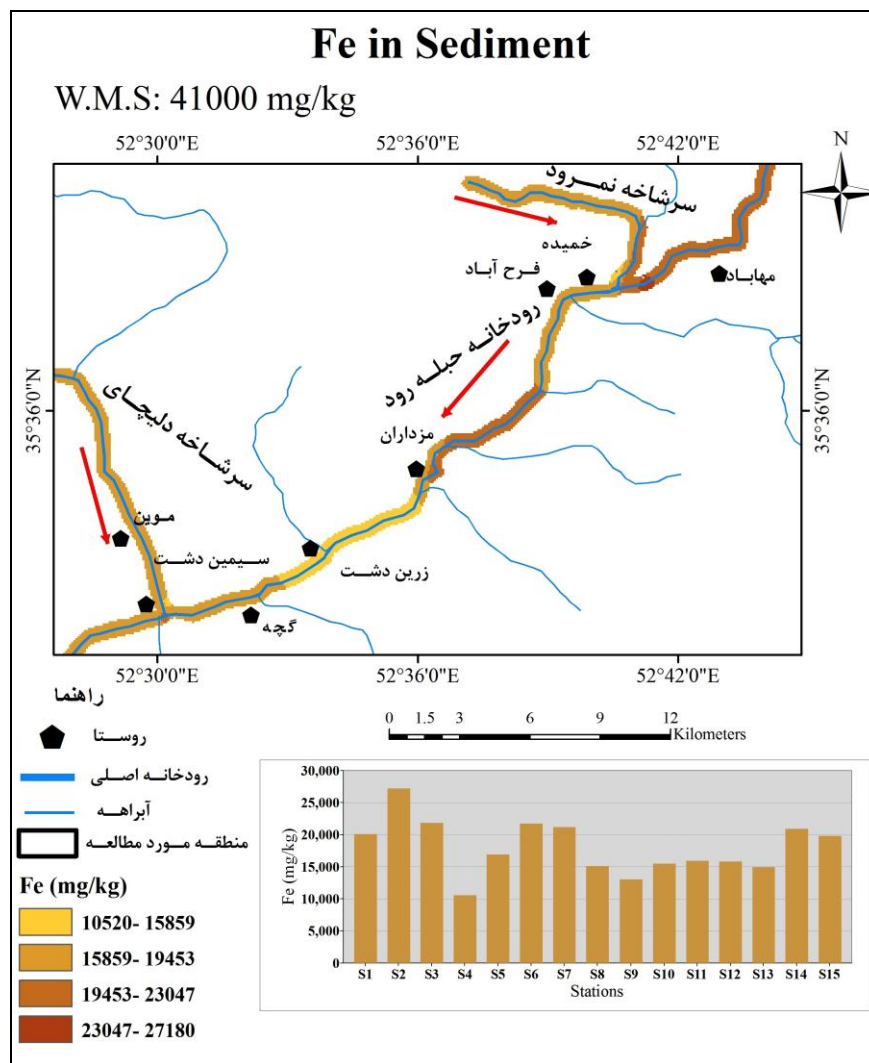


شکل ۵-۳۲- تغییرات مقادیر آهن در نمونه‌های آب منطقه

سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و استاندارد ۱۰۵۳ ایران، حد مطلوب آهن در آب آشامیدنی را ۰/۳ mg/L بیان کرده است. میانگین غلظت آهن در آب رودخانه حبله‌رود ۱۲۷/۶۱ ppb است که از

مقادیر ذکر شده بسیار پایین تر می باشد. بالا بودن میزان آهن در نمونه W9 (بالادست روستای زرین دشت) احتمالاً به دلیل حضور رخنمون توف و شیل های سازند کرج، و نمونه W12 (بالادست روستای سیمین دشت) احتمالاً به دلیل رخنمون سازند قرمز فوقانی (حاوی لایه های آهن) می باشد.

شکل ۵-۳۳ روند تغییرات غلظت آهن در نمونه های رسوب منطقه را نشان می دهد.



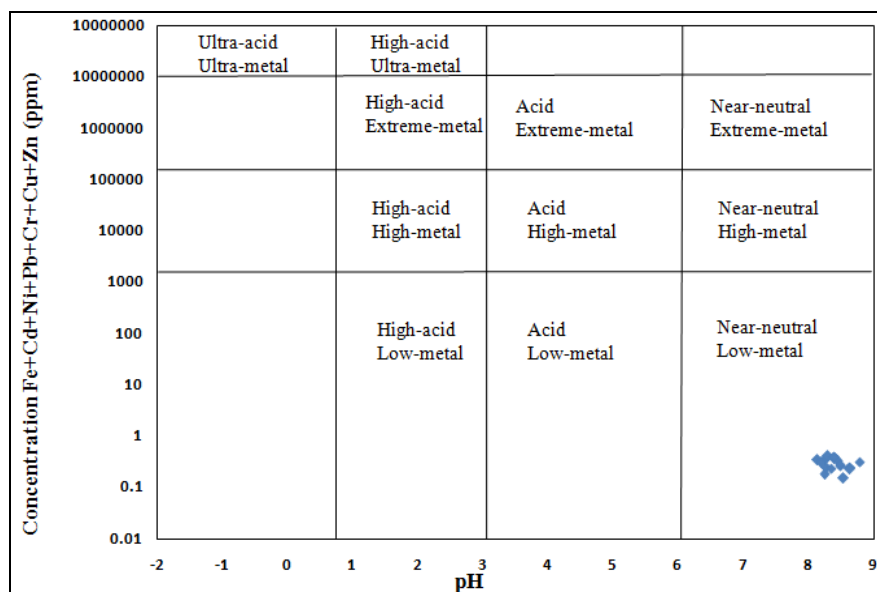
شکل ۵-۳۳- تغییرات مقادیر آهن در نمونه های رسوب منطقه

میانگین غلظت آهن در رسوبات رودخانه حبله رود $17728/46 \text{ mg/kg}$ است که از میانگین آهن در رسوبات جهانی (Bowen, 1979) یا 41000 mg/kg ، کمتر می باشد. بیشترین میزان آهن در نمونه S2

(حبله‌رود قبل از تلاقی با نم‌رود) به‌دلیل رخنمون شیل‌های سازند شمشک در این منطقه می‌باشد. غلظت آهن در رسوبات در ایستگاه‌های بالادست به‌دلیل رخنمون شیل‌های سازند شمشک و در نمونه‌های پایین‌دست S14 به‌دلیل رخنمون لایه‌های آهن‌دار سازند قرمز فوقانی افزایش یافته است. در کل میزان آهن در رسوبات بیشتر از میزان آهن در آب رودخانه می‌باشد که دلیل این امر را می‌توان به قلیایی و اکسیدان بودن محیط و انحلال کم آهن نسبت داد. بنابراین عوامل زمین‌زاد کنترل‌کننده اصلی غلظت آهن در منطقه مورد مطالعه است.

۵-۷-۸- بار فلزی منابع آب

برای تعیین رابطه بین غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه حبله‌رود و pH از نمودار فیکلین استفاده گردید (Ficklin et al., 1992). شکل ۵-۳۴ نمونه‌های مورد مطالعه را بر روی نمودار فیکلین نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۴- رابطه بار فلزی (Pb+Fe+Cd+Cr+Cu+Zn+Ni) و pH در آب منطقه بر اساس نمودار فیکلین (Ficklin et al., 1992)

در این مطالعه با قرار دادن نمونه‌های آب رودخانه حبله‌رود بر روی این نمودار که مجموع غلظت فلزات

سنگین را در برابر pH نشان می‌دهد، بار فلزی در نمونه‌های آب منطقه تعیین شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و شکل ۵-۳۴ تمام نمونه‌ها در قسمت pH نزدیک به خنثی با بار فلزی پایین قرار گرفته‌اند.

۵-۸- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی

جهت تعیین آلودگی رسوبات منطقه از شاخص‌های مختلف شامل، ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (Igeo)، ضریب آلودگی (C_f) و درجه آلودگی اصلاح شده (mC_d) استفاده گردید.

۵-۸-۱- ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

بر اساس این ضریب مقدار یک عنصر را نسبت به مقدار طبیعی آن می‌سنجند (Loska et al., 1995). ضریب غنی‌شدگی تأثیر عوامل بشرزاد بر روی افزایش غلظت را نشان می‌دهد (Dickinson et al., 1996). ضریب غنی‌شدگی یک ابزار مناسب برای بررسی‌های ژئوشیمیایی در مناطق جغرافیایی وسیع می‌باشد و از رابطه (۵-۱) بدست می‌آید (Yinghong et al., 2009; Sutherland, 2000).

$$EF = (C_n / C_{ref})_{Sample} / (C_n / C_{ref})_{Background} \quad \text{رابطه (۵-۱)}$$

EF: ضریب غنی‌شدگی، C_n : غلظت فلز مورد بررسی و C_{ref} : غلظت فلز مبنا

رده‌بندی شدت غنی‌شدگی رسوبات در جدول ۵-۱۰ آورده شده است.

جدول ۵-۱۰- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)

EF	شدت غنی‌شدگی
$EF < 2$	بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک
$EF = 2-5$	غنی‌شدگی متوسط
$EF = 5-20$	غنی‌شدگی قابل توجه
$EF = 20-40$	غنی‌شدگی بسیار بالا
$EF > 40$	غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا

برای ارزیابی ضریب غنی‌شدگی در این تحقیق از غلظت میانگین عناصر در پوسته استفاده شد و از عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر مرجع استفاده گردید. مقادیر ضریب غنی‌شدگی محاسبه شده در جدول ۵-۱۱ آورده شده است.

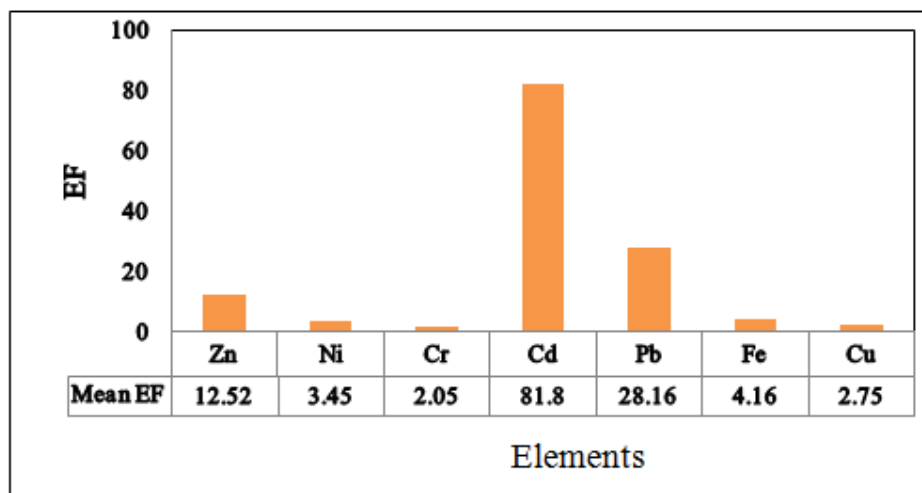
جدول ۵-۱۱- مقادیر ضریب غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب منطقه

Cr	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Stations
۱	۱/۳۸	۷/۲۳	۵/۳۹	۳۵/۰۸	۱/۵۰	۲/۳۶	S1
۱/۳۱	۲/۰۷	۱۱/۲۹	۱/۰۴	۶۹/۲۲	۱/۵۷	۳/۸۸	S2
۹/۷۱	۱۵/۰۶	۲۱۹/۶۴	۶۹/۷۷	۳۷۲/۷۲	۱۵/۳۳	۲۱/۸۳	S3
۱/۳۷	۲/۱۵	۹/۵۸	۶/۱۳	۴۰/۶۶	۱/۴۱	.	S4
۱/۲۸	۱/۹۱	۱۱/۷۱	۸/۰۵	۴۰/۶۶	۱/۴۳	۳/۰۶	S5
۱/۲۷	۲/۱۹	۷/۹۲	۱۰/۵۳	۷۴/۵۴	۲/۳۱	۲/۵۵	S6
۱/۸۱	۴/۸۰	۱۶/۴۰	۹/۶۲	۵۹/۶۳	۲/۳۱	۴/۲۳	S7
۱/۵۶	۲/۶۳	۱۶/۴۰	۹/۷۶	۵۹/۶۳	۱/۷۲	۳/۰۲	S8
۲/۱۶	۲/۳۵	۱۷/۵۷	۹/۷۳	۵۹/۶۳	۱/۸۸	۲/۶۰	S9
۱/۳۴	۲/۵۸	۱۳/۳۱	۹/۱۰	۸۸/۰۹	۱/۵۹	۲/۸۰	S10
۱/۵۵	۲/۷۵	۱۳/۸۴	۹/۲۰	۶۰/۹۹	۱/۸۳	۲/۸۸	S11
۱/۵۲	۲/۷۳	۱۰/۶۴	۷/۸۵	۴۷/۴۳	۱/۸۱	۲/۸۷	S12
۰/۹۰	۱/۵۰	۱۰/۰۸	۵/۶۸	۴۵/۵۵	۱/۱۴	۱/۶۶	S13
۰/۹۷	۲/۱۵	۷/۸۰	۶/۴۱	۴۴/۷۲	۱/۴۶	۲/۷۹	S14
۱/۰۹	۱/۳۵	۶/۵۴	۴/۶۱	۳۹/۴۶	۱/۱۷	۲/۳۳	S15

میانگین ضریب غنی‌شدگی روی ۱۲/۵۲ می‌باشد که رسوبات نسبت به عنصر روی در ایستگاه S2 (حبله رود قبل از تلاقی با نمروود) بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک، ایستگاه S15 (سرشاخه دلیچای) غنی‌شدگی متوسط و ایستگاه S3 غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا را نشان می‌دهد و بقیه ایستگاه‌ها نسبت به روی غنی‌شدگی قابل توجه دارند. میانگین ضریب غنی‌شدگی عنصر مس ۲/۷۵ می‌باشد که رسوبات در ایستگاه S3 غنی‌شدگی قابل توجه، در ایستگاه‌های S6 و S7 غنی‌شدگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک را نسبت به مس دارا می‌باشند. میانگین ضریب غنی‌شدگی کروم ۲/۰۵ است که ایستگاه S3 غنی‌شدگی قابل توجه و ایستگاه S9 غنی‌شدگی متوسط و سایر ایستگاه‌ها

بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک را نشان می‌دهند. میانگین ضریب غنی‌شدگی آهن $4/16$ می‌باشد که ایستگاه‌های S4 و S13 بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک، ایستگاه S3 غنی‌شدگی بسیار بالا و سایر ایستگاه‌ها غنی‌شدگی متوسط را نشان می‌دهند.

شکل ۵-۳۵ میانگین ضریب غنی‌شدگی برای عناصر مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۵- میانگین ضریب غنی‌شدگی برای عناصر مورد بررسی در رسوبات رودخانه حبله رود

میانگین ضریب غنی‌شدگی عنصر کادمیوم ($81/80$) می‌باشد. رسوبات نسبت به کادمیوم در نمونه‌های S1 و S15 غنی‌شدگی بسیار بالا و سایر ایستگاه‌ها غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا را نشان می‌دهند. میانگین ضریب غنی‌شدگی سرب ($28/16$) می‌باشد که ایستگاه S3 (تلاقی حبله رود با نمروند و بالادست روستای خمیده) دارای غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا (احتمالاً به دلیل ورود سرشاخه نمروند) و سایر ایستگاه‌ها دارای غنی‌شدگی قابل توجه می‌باشند. میانگین ضریب غنی‌شدگی نیکل $3/45$ می‌باشد که ایستگاه‌های S1, S4, S13, S15 بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک، ایستگاه S3 غنی‌شدگی قابل توجه و سایر ایستگاه‌ها غنی‌شدگی متوسط را نسبت به این عنصر نشان می‌دهند.

به طور کلی مقایسه مقادیر ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد بررسی معلوم می‌سازد که رسوبات نسبت به عناصر نیکل، مس، کروم و آهن غنی‌شدگی متوسط، روی غنی‌شدگی قابل توجه، سرب غنی‌شدگی بسیار

بالا و کادمیوم غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا را نشان می‌دهند. بنابراین به توجه به میانگین ضریب غنی‌شدگی فلزات مورد بررسی، مقایسه غنی‌شدگی رسوبات منطقه نسبت به عناصر مورد بررسی به صورت زیر می‌باشد:

$$Cd > Pb > Zn > Fe > Ni > Cu > Cr$$

۵-۸-۲- شاخص زمین‌انباشتگی (Geo Accumulation Index)

از Igeo می‌توان به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک استفاده کرد (Loska and Wiechuła, 2003)، که از رابطه ۵-۲ بدست می‌آید (Muller, 1969; Voral, 2011)

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5B_n) \quad \text{رابطه (۵-۲)}$$

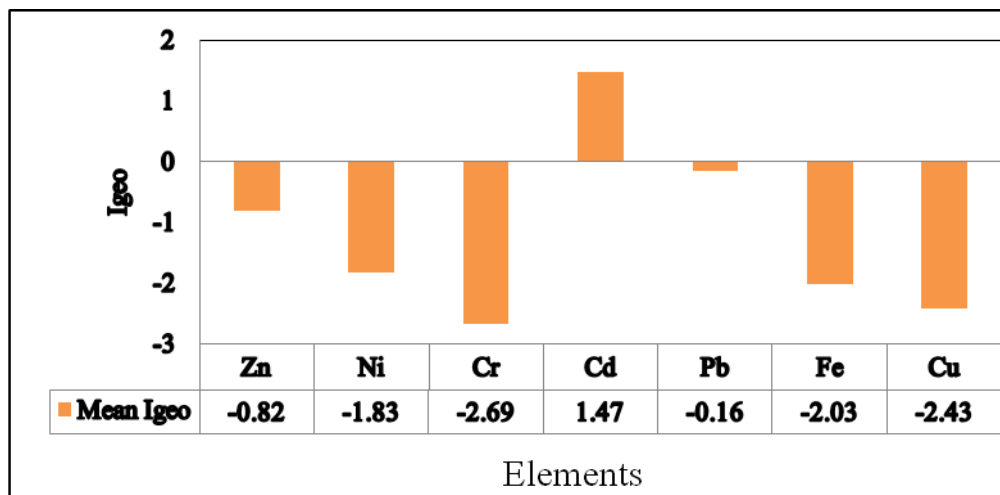
در این رابطه Igeo: شاخص زمین‌انباشتگی، C_n : غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه رسوب و B_n : غلظت عنصر مورد مطالعه در زمینه (میانگین شیل) می‌باشد. همچنین از ضریب ۱/۵ برای به حداقل رساندن تغییرات زمینه که مربوط به تغییرات لیتولوژی می‌باشد، استفاده شده است (Stoffers et al., 1986; Goorzadi et al., 2009). رده‌بندی شدت آلودگی بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی در جدول ۵-۱۲ آورده شده است (Muller, 1969). نتایج محاسبه شاخص زمین‌انباشتگی برای نمونه‌های رسوب منطقه در جدول ۵-۱۳ آورده شده است. متوسط شاخص زمین‌انباشتگی کادمیوم (۱/۴۷) می‌باشد که ایستگاه‌های S4 و S5 فاقد آلودگی تا آلودگی متوسط، S6 آلودگی متوسط تا شدید و سایر ایستگاه‌ها نسبت به این عنصر آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. رسوبات نسبت به عناصر روی، مس، آهن، کروم و نیکل فاقد آلودگی و نسبت به سرب، ایستگاه‌های S9 و S13 فاقد آلودگی تا آلودگی متوسط، ایستگاه S3 آلودگی متوسط و سایر ایستگاه‌ها فاقد آلودگی می‌باشند. مقایسه مقادیر میانگین شاخص زمین‌انباشتگی (شکل ۵-۳۶) با جدول ۵-۱۲ نشان می‌دهد که رسوبات نسبت به کادمیوم آلودگی متوسط، نسبت به عناصر نیکل، مس، کروم، آهن، سرب و روی فاقد آلودگی می‌باشند.

جدول ۵-۱۲- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در تعیین آلودگی رسوب (Muller, 1969)

شاخص زمین‌انباشت	شدت آلودگی	رده آلودگی
>۰	فاقد آلودگی	۰
۰-۱	فاقد آلودگی تا آلودگی متوسط	۱
۱-۲	آلودگی متوسط	۲
۲-۳	آلودگی متوسط تا شدید	۳
۳-۴	آلودگی شدید	۴
۴-۵	آلودگی شدید تا بی‌نهایت	۵
>۵	آلودگی بی‌نهایت	۶

جدول ۵-۱۳- شاخص زمین‌انباشتگی رسوبات منطقه

Stations	Fe	Cu	Cd	Zn	Pb	Cr	Ni
S1	-۱/۸۰	-۲/۱۱	۱/۲۷	-۰/۷۶	-۰/۵۱	-۲/۶۹	-۲/۱۴
S2	-۱/۳۷	-۲/۲۹	۱/۹۷	-۳/۴۰	-۰/۱۵	-۲/۵۹	-۱/۸۴
S3	-۱/۶۹	-۱/۸۵	۱/۵۹	-۰/۱۵	۱/۳۲	-۲/۵۱	-۱/۷۹
S4	-۲/۷۴	-۲/۸۲	۰/۸۶	-۱/۲۰	-۰/۷۳	-۲/۸۸	-۲/۱۴
S5	-۲/۰۶	-۲/۸۱	۰/۸۶	-۰/۱۸	-۰/۴۴	-۲/۹۶	-۲/۳۰
S6	-۱/۶۹	-۲/۱۲	۲/۳۶	-۰/۴۲	-۰/۳۸	-۲/۳۵	-۱/۴۸
S7	-۱/۷۳	-۲/۲۵	۱/۲۷	-۰/۶۹	-۰/۰۹	-۲/۶۱	-۱/۱۲
S8	-۲/۲۲	-۲/۶۸	۱/۲۷	-۰/۶۷	-۰/۰۹	-۲/۸۲	-۱/۹۸
S9	-۲/۴۳	-۲/۵۵	۱/۲۷	-۰/۶۷	۰	-۲/۳۵	-۲/۱۴
S10	-۲/۱۹	-۲/۶۵	۱/۹۷	-۰/۶۳	-۰/۲۶	-۲/۸۹	-۱/۸۸
S11	-۲/۱۵	-۲/۴۵	۱/۴۴	-۰/۶۲	-۰/۲۰	-۲/۶۹	-۱/۷۸
S12	-۲/۱۵	-۲/۴۶	۱/۰۸	-۰/۸۵	-۰/۵۸	-۲/۷۲	-۱/۷۹
S13	-۲/۲۳	-۲/۴۲	۱/۷۳	-۰/۶۰	۰/۰۴	-۲/۷۶	-۱/۹۴
S14	-۱/۷۵	-۲/۳۳	۱/۴۴	-۰/۶۹	-۰/۵۸	-۲/۹۱	-۱/۶۹
S15	-۱/۸۲	-۲/۴۶	۱/۴۴	-۰/۹۸	-۰/۶۵	-۲/۵۷	-۲/۱۸



شکل ۵-۳۶- متوسط شاخص زمین‌انباشتگی برای عناصر مورد بررسی در رسوبات رودخانه حبله رود

۵-۸-۳- ضریب آلودگی (Contamination Factor) و درجه آلودگی اصلاح شده

(Modified Contamination Degree)

برای بیان وضعیت آلودگی محیط به یک فلز خاص می‌توان از این ضریب استفاده کرد (Andy and khaled, 2009). ضریب آلودگی با استفاده از رابطه ۵-۳ بدست می‌آید (Turekian and Wedepohl, 1961; Hakanson, 1980):

$$C_f = M_x / M_b \quad \text{رابطه (۵-۳)}$$

که در آن C_f : ضریب آلودگی، M_x : غلظت عنصر در نمونه آلوده و M_b : غلظت عنصر در زمینه (شیل) می‌باشد.

برای یک‌پارچه‌سازی داده‌های مربوط به آلودگی از شاخصی بنام درجه آلودگی که از مجموع فاکتورهای آلودگی حاصل می‌شود استفاده می‌گردد (Hakanson, 1980). درجه آلودگی از رابطه ۵-۴ بدست می‌آید:

$$C_d = \sum_{i=1}^8 C_f^i \quad \text{رابطه (۵-۴)}$$

که در آن C_f ضریب آلودگی می‌باشد. امروزه حالت اصلاح شده آن یعنی (mC_d) را بکار می‌برند

(Abraham, 2005).

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_f^i}{n}$$

رابطه (۵-۵)

در این رابطه (mC_d) درجه آلودگی اصلاح شده، C_f ضریب آلودگی و n تعداد عناصر مورد بررسی می باشد.

رده بندی آلودگی در خاک بر اساس مقادیر ضریب آلودگی جدول های ۵-۱۴ آورده شده است.

جدول ۵-۱۴- رده بندی کیفی خاک بر مبنای ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)

مقدار آلودگی رسوب	ضریب آلودگی
آلودگی پایین	<۱
آلودگی متوسط	۱-۳
آلودگی قابل توجه	۳-۶
آلودگی بسیار بالا	>۶

متوسط ضریب آلودگی عناصر در رسوبات رودخانه حبله رود در شکل ۵-۳۷ آورده شده است. با مقایسه

متوسط ضریب آلودگی بدست آمده (جدول ۵-۱۵) با طبقه بندی میزان آلودگی رسوبات بر اساس ضریب

آلودگی (جدول ۵-۱۴) معلوم می شود که رسوبات نسبت به عناصر نیکل، مس، روی، آهن و کروم با

متوسط ضریب آلودگی به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۲۷، ۰/۹۲، ۰/۳۷ و ۰/۲۲ دارای آلودگی پایین و نسبت به سرب

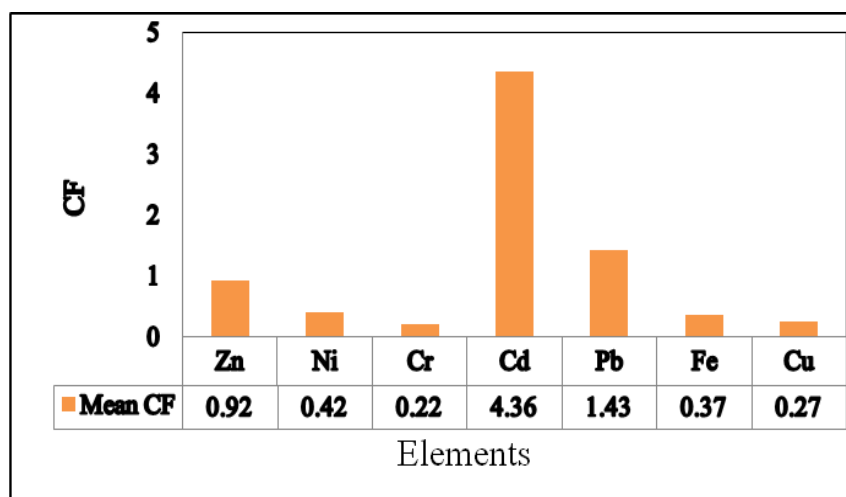
با متوسط ضریب آلودگی ۱/۴۳، آلودگی متوسط و نسبت به کادمیوم با متوسط ضریب آلودگی ۴/۳۶

آلودگی قابل توجه را نشان می دهند. رسوبات نسبت به سرب در تمام ایستگاه ها بجز ایستگاه های S4 و

S15 (آلودگی پایین)، آلودگی متوسط را نشان می دهند.

جدول ۵-۱۵- مقادیر ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه

PLI	mCd	Ni	Cr	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Stations
۰/۰۰۵	۰/۹۸	۰/۳۳	۰/۲۳	۱/۰۵	۰/۸۸	۳/۶۳	۰/۳۴	۰/۴۲	S1
۰/۰۰۲	۱/۲۷	۰/۴۱	۰/۲۴	۱/۳۵	۰/۱۴	۵/۹۰	۰/۳۰	۰/۵۷	S2
۰/۰۰۷	۱/۶۰	۰/۴۳	۰/۲۶	۳/۷۵	۱/۳۴	۴/۵۴	۰/۴۱	۰/۴۶	S3
۰	۰/۷۵	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۹۰	۰/۶۴	۲/۷۲	۰/۲۱	۰/۲۲	S4
۰/۰۰۲	۰/۸۸	۰/۳۰	۰/۱۹	۱/۱۰	۱/۳۱	۲/۷۲	۰/۲۱	۰/۳۵	S5
۰/۰۳۵	۱/۶۶	۰/۵۳	۰/۲۹	۱/۱۵	۱/۱۱	۷/۷۲	۰/۳۴	۰/۴۶	S6
۰/۰۱۶	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۲۴	۱/۴۰	۰/۹۲	۳/۶۳	۰/۳۱	۰/۴۵	S7
۰/۰۰۴	۱/۰۱	۰/۳۷	۰/۲۱	۱/۴۰	۰/۹۴	۳/۶۳	۰/۲۳	۰/۳۲	S8
۰/۰۰۵	۱/۰۳	۰/۳۳	۰/۲۹	۱/۵۰	۰/۹۳	۳/۶۳	۰/۲۵	۰/۲۷	S9
۰/۰۰۶	۱/۳۲	۰/۴۰	۰/۲۰	۱/۲۵	۰/۹۶	۵/۹۰	۰/۲۳	۰/۳۲	S10
۰/۰۰۶	۱/۰۹	۰/۴۳	۰/۲۳	۱/۳۰	۰/۹۷	۴/۰۹	۰/۲۷	۰/۳۳	S11
۰/۰۰۳	۰/۸۹	۰/۴۳	۰/۲۲	۱/۰۰	۰/۸۳	۳/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۳	S12
۰/۰۰۸	۱/۲۴	۰/۳۸	۰/۲۲	۱/۵۵	۰/۹۸	۵/۰۰	۰/۲۸	۰/۳۱	S13
۰/۰۰۶	۱/۰۶	۰/۴۶	۰/۱۹	۱/۰۰	۰/۹۲	۴/۰۹	۰/۲۹	۰/۴۴	S14
۰/۰۰۳	۱/۰۱	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۹۵	۰/۷۵	۴/۰۹	۰/۲۷	۰/۴۲	S15



شکل ۵-۳۷- میانگین ضریب آلودگی عناصر در نمونه‌های رسوب رودخانه حبله رود

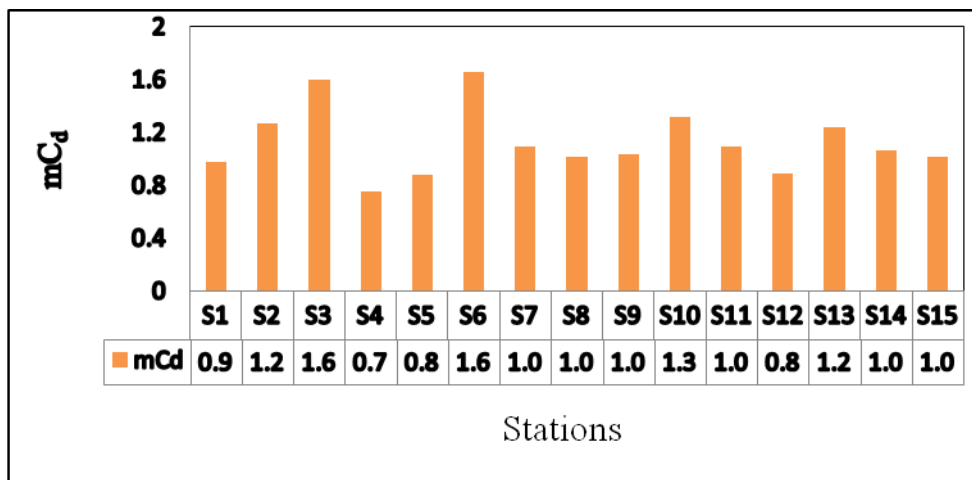
رسوبات در ایستگاه‌های S3، S5 و S6 آلودگی متوسط نسبت به روی را نشان می‌دهند، ولی بقیه ایستگاه‌ها نسبت به این عنصر دارای آلودگی پایین هستند. رسوبات نسبت به کادمیوم در ایستگاه‌های S4 و S5 آلودگی متوسط، ایستگاه S6 آلودگی بسیار بالا و بقیه ایستگاه‌ها آلودگی قابل توجه را نشان می‌دهند. رسوبات نسبت به عنصر سرب در ایستگاه‌های S4 و S15 آلودگی پایین، ایستگاه S3 آلودگی

قابل توجه و سایر ایستگاه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. تمام ایستگاه‌ها نسبت به عناصر نیکل، مس، کروم و آهن آلودگی پایین را نشان می‌دهند.

رده‌بندی آلودگی در خاک بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده در جدول ۵-۱۶ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از محاسبه درجه آلودگی اصلاح شده (جدول ۵-۱۵ و شکل ۵-۳۸) میانگین درجه آلودگی اصلاح شده رسوبات رودخانه حبله‌رود ۱/۱۴ می‌باشد. بنابراین به طور کلی رسوبات رودخانه حبله‌رود نسبت به عناصر مورد بررسی بر اساس این فاکتور غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک را نشان می‌دهند. بر اساس این شاخص رسوبات در ایستگاه‌های S3 (تلاقی حبله‌رود با نمرود و بالادست روستای خمیده) و S6 (بالادست روستای مزاران) آلودگی اندک را نشان می‌دهند.

جدول ۵-۱۶- رده‌بندی کیفی خاک بر مبنای مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham, 2005)

مقدار mC_d	کیفیت رسوب
$mC_d < 1.5$	غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک
$1.5 \leq mC_d < 2$	آلودگی اندک
$2 \leq mC_d < 4$	آلودگی متوسط
$4 \leq mC_d < 8$	آلودگی زیاد
$8 \leq mC_d < 16$	آلودگی بسیار زیاد
$16 \leq mC_d < 32$	آلودگی فوق‌العاده زیاد
$mC_d \geq 32$	آلودگی بی‌نهایت زیاد



شکل ۵-۳۸- درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در نمونه‌های رسوب منطقه

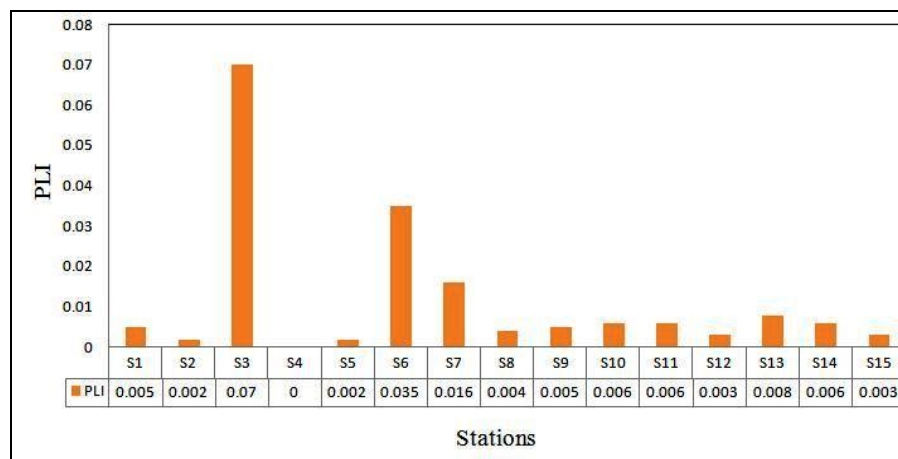
۵-۸-۴- شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index)

برای محاسبه میزان بار آلودگی هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوب رودخانه حبله رود از شاخص بار آلودگی یا PLI استفاده شد. این شاخص سطح کلی از آلودگی فلزات سنگین در نمونه خاص را روشن می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه ۵-۶ محاسبه شد (Paneer Selvam et al., 2011).

$$PLI = (C_{F1} \times C_{F2} \times C_{F3} \dots C_{Fn})^{1/n} \quad \text{رابطه (۵-۶)}$$

C_{F1} : ضریب آلودگی فلز اول، C_{F2} : ضریب آلودگی فلز دوم، C_{F3} : ضریب آلودگی فلز سوم، C_{Fn} : ضریب آلودگی فلز n ام، n : تعداد فلزات مورد مطالعه.

اگر بار آلودگی بزرگتر از یک باشد رسوبات آلوده و در غیر این صورت رسوبات فاقد آلودگی می‌باشند. میزان بار آلودگی رسوبات منطقه در تمام ایستگاه‌ها برای عناصر سرب، روی، نیکل، کروم، آهن، مس و کادمیوم کمتر از یک بوده، یعنی رسوبات منطقه بر اساس شاخص بار آلودگی آلوده نمی‌باشند (جدول ۵-۱۵). بیشترین میزان بار آلودگی رسوبات مربوط به نمونه سه به دلیل نزدیکی به جاده، انبوهی باغات و همچنین قرار گرفتن این ایستگاه در مجاورت سازند کربناته (لار)، سازند شمشک، مارن‌های ائوسن و آهک‌های کرتاسه می‌باشد (شکل ۵-۳۹).



شکل ۵-۳۹- مقادیر بار آلودگی در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۸-۵- بررسی کیفیت رسوبات منطقه بر اساس (SQGs)

برای تعیین کیفیت رسوب از راهنمای کیفیت رسوبات یا (Sediment quality Guidelines) استفاده گردید. این فاکتور یک ابزار مدیریت و پایش رسوبات برای اکوسیستم آب‌های شیرین است. از SQGs برای پیش‌بینی میزان آلودگی و یا اختلالات بیولوژیکی استفاده می‌شود (Fairey et al., 2001). این شاخص برای ۲۸ ماده شیمیایی نگران کننده در رسوبات آب‌های شیرین از جمله برخی فلزات، هیدروکربن‌های آروماتیک و آفت‌کش‌ها تعیین گردیده است. این فاکتور برای هر آلاینده غلظت مؤثر حد آستانه یا (TEC)، غلظت مؤثر احتمالی (PEC) و غلظت مؤثر میانه (MEC) که حدوسط دو حد مذکور می‌باشد را تعریف می‌کند و بنابراین از این طریق کیفیت رسوب تعیین می‌گردد (SQGs; Macdoland et al., 2000). جدول ۵-۱۷ این مقادیر را برای عناصر مختلف نشان می‌دهد. غلظت نیکل در ۸۴/۶۱ درصد ایستگاه‌ها بالاتر از TEC می‌باشد و در ۱۵/۳۸ درصد ایستگاه‌ها بالاتر از MEC می‌باشد و در کل ایستگاه‌ها غلظت نیکل پایین‌تر از حد PEC می‌باشد. غلظت کروم و مس در تمام ایستگاه‌های رسوب پایین‌تر از TEC، PEC و MEC می‌باشد. غلظت روی در ۱۵/۳۸ درصد ایستگاه‌ها بالاتر از TEC می‌باشد و در کل ایستگاه‌ها غلظت روی پایین‌تر از PEC و MEC می‌باشد.

جدول ۵-۱۷- غلظت‌های مؤثر حد آستانه، احتمالی و میانه‌ی عناصر مورد بررسی بر حسب (SQGs) mg/kg

عنصر	TEC	MEC	PEC
Cd	۰/۹۹	۳	۵
Cr	۴۳	۷۶/۵	۱۱۰
Cu	۳۲	۹۱	۱۵۰
Fe	۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۴۰۰۰۰
Ni	۲۳	۳۶	۴۹
Zn	۱۲۰	۲۹۰	۴۶۰
Pb	۳۶	۸۳	۱۳۰

غلظت سرب در ۷/۶۹ درصد ایستگاه‌ها بالاتر از حد TEC است و در تمام ایستگاه‌ها پایین‌تر از PEC و MEC می‌باشد. غلظت آهن در ۳۸/۴۶ درصد ایستگاه‌ها بالاتر از TEC می‌باشد و در کل ایستگاه‌ها پایین‌تر از PEC و MEC می‌باشد. غلظت کادمیوم در ۳۸/۴۶ درصد ایستگاه‌ها بالاتر از TEC می‌باشد و در تمام ایستگاه‌ها پایین‌تر از PEC و MEC می‌باشد.

به طور کلی می‌توان بیان کرد که با توجه به اینکه غلظت عناصر مورد بررسی در هیچ یک از ایستگاه‌ها به حد غلظت مؤثر احتمالی برای تأثیر بر موجودات زنده (PEC) نرسیده است، بنابراین، این عناصر تأثیر منفی بر زندگی موجودات کفزی که در ارتباط با رسوبات می‌باشند، ندارند.

۵-۹- تحلیل مؤلفه اصلی در رسوبات (Principal Component Analysis)

ایجاد یک سیستم پایش آب با کارایی مناسب، برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و اندازه‌گیری پارامترهایی که تغییرات کیفی آب را بیان می‌کنند، مشکل است. برای رسیدن به این هدف، استفاده از روش آماری چند متغیره مانند تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) مناسب می‌باشد. در سال‌های اخیر، این روش آماری به‌طور گسترده در تفسیر داده‌های پیچیده برای ارزیابی بهتر کیفیت آب و رسوب به کار می‌رود.

(Xiaoyun et al., 2010). PCA ابزاری مفیدی برای مدیریت ذخایر آب و کنترل آلودگی می‌باشد. همچنین در شناسایی عوامل احتمالی مؤثر بر سیستم‌های آب و رسوب که به وسیله فعالیت‌های طبیعی و بشرزاد ایجاد می‌شوند، مفید می‌باشد (Shrestha and Kazama, 2007). آنالیزهای آماری چند متغیره همچنین برای توصیف و ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و تأیید تغییرات زمانی و مکانی که از طریق فعالیت‌های طبیعی و انسانی در سیستم‌های آب ایجاد می‌شوند، به کار گرفته می‌شود. این روش بین چند مؤلفه کیفی آب انطباق ایجاد می‌کند و تعداد متغیرها را کاهش می‌دهد (Roger et al., 2012). کاربرد این روش در مطالعات زیست‌محیطی موفقیت‌آمیز بوده است (Anderson et al., 2002; Miller et al., 2002). PCA متغیرهای شاخص کیفی آب را مرتب و اهمیت پارامترهای کیفی آب را شناسایی می‌کند (Ouyang, 2001).

PCA برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین حاصل از منابع طبیعی یا انسان‌زاد بکار برده شده است (Yujun et al., 2011). تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای تعیین کیفیت رسوب و یکی از روش‌های کاهش ابعاد داده‌ها می‌باشد و به‌طور گسترده برای شناسایی ساختمان‌های پنهان رسوبی و تشخیص منشأ و فاکتورهای ژئوشیمیایی مؤثر بر پخش کاربرد دارد (Paneer Selvam et al., 2011). تحلیل مؤلفه‌ی اصلی بر روی داده‌های فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب منطقه انجام شد (جدول ۵-۱۸ و شکل ۵-۴۰). این آنالیز، داده‌ها، را در دو مؤلفه دسته‌بندی کرد که ۴۰/۱۳ درصد متغیرها در مؤلفه‌ی اول و ۲۳/۷۴ درصد متغیرها در مؤلفه‌ی دوم قرار دارد.

- مؤلفه اول شامل عناصر مس، آهن، کروم، نیکل و کادمیوم می‌باشد.

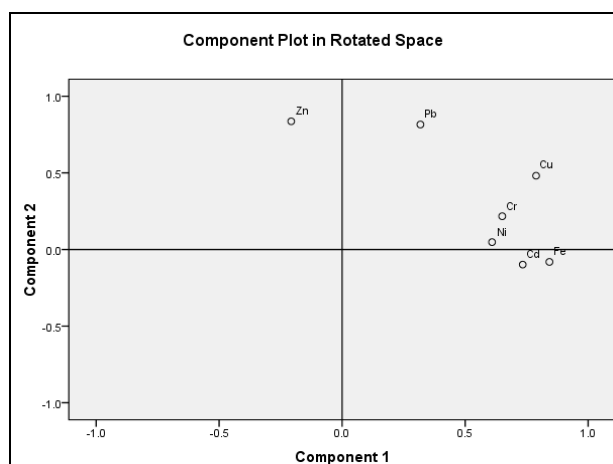
- مؤلفه دوم شامل عناصر سرب و روی است.

جدول ۵-۱۸- مؤلفه‌های حاصل از آنالیز PCA برای عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه

Rotated Component Matrix^a

	Component	
	1	2
Ni	.609	.048
Zn	-.207	.836
Cr	.651	.217
Fe	.843	-.081
Cu	.789	.481
Cd	.734	-.098
Pb	.318	.816

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش مربوط به نحوه پراکنش عناصر در رسوبات معلوم گردید که هر دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد در توزیع عناصر مورد بررسی مؤثر می‌باشند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی نشان می‌دهد که عوامل زمین‌زاد (واحدهای آذرین بازیک و محصولات هوازدگی آنها) تأثیر بیشتری را بر روند پراکنش عناصری که در مؤلفه اول قرار می‌گیرند، ایفا می‌کنند و عوامل بشرزاد و سنگهای کربناته و آتشفشانی‌های اسیدی در روند پراکنش عناصر قرار گرفته در مؤلفه دوم نقش اصلی را دارا می‌باشند که این مطلب نیز با توضیحات مربوط عناصر در بخش مربوطه تطابق دارد.



شکل ۵-۴۰- نمودار سه بعدی PCA برای عناصر مورد مطالعه در رسوبات منطقه

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

رودخانه حبله‌رود یکی از مهمترین رودخانه‌های استان سمنان می‌باشد که سه شاخه نم‌رود، گورسفید و دلیچای این رودخانه را تغذیه می‌کنند. در این مطالعه به بررسی وضعیت کیفیت آب و رسوبات سطحی رودخانه حبله‌رود از سرشاخه نم‌رود تا دلیچای (به طول تقریبی ۲۷ کیلومتر) و ارتباط آن با عوامل بشرزاد و عوامل زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور در ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری آب و رسوب صورت پذیرفت. پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر و فلزات سنگین (سرب، روی، مس، آهن، کادمیوم، نیکل و کروم) در آنها تعیین گردید. نتایج حاصله با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف (GIS, PHREEQC, AQQA, SPSS و غیره) تجزیه و تحلیل گردید.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از سنگهای رسوبی مزوزوئیک (سازندهای شمشک و لار و رسوبات آهکی کرتاسه) و سنگهای آتشفشانی و رسوبی سنوزوئیک (سازندهای کرج، فجن، قم و قرمز فوقانی، واحدهای مارنی، مارنی-ماسه سنگی و تبخیری (ائوسن) و نهشته‌های کواترنری) تشکیل شده است.

۶-۱-۱- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت آب رودخانه حبله‌رود

در بحث آب ابتدا به تجزیه و تحلیل پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب پرداخته شد. همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی محاسبه و بررسی گردید. تیپ آب، شاخص اشباع‌شدگی و در نهایت کیفیت آب رودخانه با غلظت حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی مقایسه و مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های هم‌غلظت عناصر در آب رودخانه با استفاده از نرم‌افزار GIS ترسیم و ارتباط عوامل زمین‌زاد و بشرزاد در پراکنش عناصر منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

میانگین pH آب رودخانه ۸/۴۱ می‌باشد که از میانگین pH رسوبات سطحی رودخانه حبله‌رود ۸/۳۱ بیشتر می‌باشد. بالا بودن میزان pH آب رودخانه نسبت به رسوبات احتمالاً به دلیل انحلال سازندهای

کربناته و سنگهای آهکی در آب رودخانه می‌باشد. از بالادست منطقه مورد مطالعه به سمت پایین‌دست میزان pH کم می‌شود. این امر می‌تواند به دلیل رخنمون بیشتر رخنمون‌های کربناته (سازند لار، آهک‌های کرتاسه، مارن و آهک‌های ائوسن) در بالادست و حضور و رخنمون گسترده‌تر سازند قم و سازند قرمز فوقانی و واحدهای تبخیری ائوسن در پایین‌دست منطقه مورد مطالعه باشد.

با توجه به اینکه از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه، واحدهای زمین‌شناسی از کربناته به تبخیری تغییر می‌یابد، میزان EC از بالادست به سمت پایین‌دست افزایش می‌یابد. مقادیر EC در آب بیشتر از رسوبات می‌باشد که دلیل آن می‌تواند انحلال‌پذیر بودن سازندهای آهکی و تبخیری و ورود فاضلاب روستایی و کودهای کشاورزی استفاده شده در منطقه مورد مطالعه باشد.

تیپ آب رودخانه با استفاده از نمودار پاپیر تعیین شد. تیپ و رخساره آب در ۳۰/۷۶ نمونه‌ها بی‌کربناته منیزیک و در ۶۹/۲۴ نمونه‌ها بی‌کربناته کلسیک می‌باشد. آب رودخانه حبله‌رود در رده کاملاً سخت قرار دارد که متأثر از سنگهای کربناته سازند لار، آهک‌های کرتاسه و مارن‌ها و آهک‌های ائوسن می‌باشد.

بر اساس دیاگرام شولر، آب رودخانه حبله‌رود از نظر شرب در محدوده قابل قبول بوده و از نظر کشاورزی (دیاگرام ویلکاکس) در گروه‌های خوب و متوسط قرار می‌گیرد.

بر اساس نمودار گیبس عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب رودخانه حبله‌رود هوازدگی سنگها و تا حدی فرایند تبخیر می‌باشد.

آب رودخانه حبله‌رود نسبت به کانیهای دولومیت، کلسیت و آراگونیت فوق‌اشباع می‌باشد و نسبت به کانیهای ژیپس و هالیت تحت اشباع و ۰/۹۲ درصد نمونه‌ها نسبت به انیدریت در حالت تحت اشباع قرار دارند.

هدایت الکتریکی با سدیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات، کلسیم و پتاسیم همبستگی بالا و مثبت را نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل تأثیر بالای غلظت این یونها بر تغییرات هدایت الکتریکی باشد.

منیزیم با فسفات و بی‌کربنات همبستگی مثبت نشان می‌دهد که احتمالاً نشان‌دهنده منشأ مشترک آنها می‌باشد. کلسیم، سولفات، سدیم، کلر و پتاسیم با هم همبستگی نشان می‌دهند که احتمالاً نشان‌دهنده منشأ مشترک آنها، و وجود رخنمون کانیهای تبخیری در منطقه تأیید کننده این موضوع می‌باشد. نیتрат با کلسیم همبستگی منفی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده هم‌منشأ نبودن آنها می‌باشد.

در آب رودخانه حبله‌رود میانگین غلظت عناصر مس، روی، کادمیوم، کروم، آهن و نیکل پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) و میانگین غلظت سرب در آب رودخانه حبله‌رود (۱۷/۶۳ ppb) بالاتر از حد مجاز آب آشامیدنی می‌باشد و آب رودخانه حبله‌رود در ۶۳/۶۳ درصد از ایستگاه‌ها به سرب آلوده می‌باشد.

۶-۱-۲- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت رسوبات رودخانه حبله‌رود

در بحث رسوبات برای تجزیه و تحلیل دقیق و ارتباط بین عناصر و عوامل مؤثر در کیفیت آنها از اندازه‌گیری پارامترها و فاکتورهای pH, EC, مواد آلی، کربنات کلسیم و دانه‌بندی استفاده گردید. سپس با استفاده از شاخص‌های مختلف مانند Igeo, CF, PLI, SQGs, EF و با تجزیه و تحلیل آماری (تحلیل مؤلفه اصلی) به بررسی کیفیت رسوبات رودخانه حبله‌رود پرداخته شد. نقشه‌های هم‌غلظت عناصر در رسوبات همانند آب ترسیم گردید. روند تغییرات پراکنش عناصر در آب و رسوبات مقایسه و عوامل مؤثر بر همسویی یا عدم تطابق آنها بحث و بررسی گردید.

میانگین pH رسوبات سطحی رودخانه حبله‌رود ۸/۳۱، که از این نظر قلیایی می‌باشد حضور رخنمون‌های آهکی و مارنی در منطقه تأیید کننده این موضوع می‌باشد.

EC رسوبات روند خاصی را در منطقه مورد مطالعه نشان نمی‌دهد. میانگین EC رسوبات ۲۰۸/۸۸ $\mu\text{S}/\text{cm}$ می‌باشد. بیشترین میزان EC در ایستگاه S13 (روستای سیمین‌دشت و تلاقی دلیچای با حبله‌رود) به

دلیل وجود سازند تبخیری و ورود فاضلاب روستایی به این ایستگاه است.

بافت رسوبات منطقه به دلیل پایین بودن رس، زمین‌شناسی و سرعت زیاد آب رودخانه حبله‌رود (دبی سالانه ۲۳۰-۲۷۰ میلیون متر مکعب) شامل بافت‌های گراول، گراول ماسه‌ای، گراول ماسه‌ای گلی، ماسه گراولی، ماسه گلی گراولی و ماسه گلی می‌باشد.

میانگین مواد آلی در رسوبات رودخانه حبله‌رود ۰.۹۳٪ درصد می‌باشد که حضور این مواد به دلیل فعالیت کشاورزی و وجود باغات در اطراف رودخانه می‌باشد. میانگین کربنات کلسیم در رسوبات رودخانه حبله‌رود ۳/۱۳ درصد می‌باشد که تغییرات آن در مسیر رودخانه روند خاصی ندارد ولی کاهش آن در ایستگاه‌های میانی به دلیل تأثیر افزایش گسترش رخنمون سنگهای آتشفشانی می‌باشد.

نتایج همبستگی نشان داد که مس با نیکل، کروم، کادمیوم و آهن همبستگی مثبت نشان می‌دهد، سرب نیز با روی همبستگی مثبت نشان داد که نشان‌دهنده منشأ مشترک آنها می‌باشد.

میانگین غلظت عناصر سرب (۲۸/۶۹ mg/kg) و کادمیوم (۰/۹۶ mg/kg) در رسوب رودخانه حبله‌رود بالاتر از میانگین غلظت این عناصر (به ترتیب ۱۹ mg/kg و ۰/۱۷ mg/kg) در رسوبات جهانی است. میانگین غلظت عناصر نیکل ۲۹/۰۷ mg/kg، آهن ۷۷۲۸ mg/kg، مس ۱۲/۶۴ mg/kg، روی ۸۸/۱۰ mg/kg و کروم ۲۰/۹۹ mg/kg پایین‌تر از میانگین غلظت این عناصر (به ترتیب ۵۲ mg/kg، ۴۱۰۰۰ mg/kg، ۳۳ mg/kg، ۹۵ mg/kg و ۷۲ mg/kg) در رسوبات جهانی است، اما غلظت روی در برخی از نمونه‌ها بالاتر از میانگین غلظت روی در رسوبات جهانی است.

میزان فلزات سنگین در رسوب رودخانه حبله‌رود بالاتر از آب رودخانه می‌باشد که دلیل این امر حضور سازند کربناته (لار)، سازند قرمز فوقانی و وجود رخنمون شیل‌ها (سازند کرج، شمشک و قرمز فوقانی) در منطقه و در نتیجه کاهش انحلال‌پذیری و افزایش تمایل به رسوبگذاری این عناصر در محدوده pH قلیایی آب رودخانه (۸/۷۸-۸/۱۴) می‌باشد.

محاسبات میانگین ضریب غنی‌شدگی عناصر در رسوبات نشان داد که رسوبات نسبت به نیکل، مس، کروم و آهن غنی‌شدگی متوسط، روی غنی‌شدگی قابل توجه، سرب غنی‌شدگی بسیار بالا و کادمیوم غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا را نشان می‌دهند.

بر اساس محاسبه شاخص زمین‌انباشتگی رسوبات نسبت به کادمیوم، آلودگی متوسط و نسبت به عناصر نیکل، مس، کروم، آهن، سرب و روی فاقد آلودگی می‌باشند.

بر اساس میانگین ضریب آلودگی بدست آمده، رسوبات نسبت به عناصر نیکل، مس، روی، آهن و کروم دارای آلودگی پایین، سرب آلودگی متوسط و کادمیوم آلودگی قابل توجه را نشان می‌دهند. بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده رسوبات منطقه نسبت به عناصر مورد بررسی غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک را دارا می‌باشند. بر اساس شاخص بار آلودگی، رسوبات منطقه آلوده نیستند.

به طور کلی با توجه به شاخص کیفیت رسوب SQGs می‌توان بیان کرد که غلظت عناصر مورد بررسی (سرب، روی، مس، کادمیوم، نیکل، کروم و آهن) در کلیه نمونه‌ها از PEC (غلظت مؤثر احتمالی) تجاوز نکرده و می‌توان گفت که غلظت عناصر مورد بررسی به حد احتمالی تأثیرگذاری بر موجودات کفزی نرسیده است.

- تحلیل مؤلفه‌ی اصلی بر روی داده‌های فلزات سنگین رسوب انجام شد. این آنالیز، داده‌ها را در دو مؤلفه دسته‌بندی کرد که ۴۰/۱۳ درصد متغیرها در مؤلفه‌ی اول و ۲۳/۷۴ درصد متغیرها در مؤلفه‌ی دوم قرار دارد. مؤلفه اول شامل عناصر مس، آهن، کروم، نیکل و کادمیوم و مؤلفه دوم شامل عناصر سرب و روی می‌باشد.

۲-۶- پیشنهادها

پیشنهاد می‌گردد که با توجه به کمبود مطالعات زیست‌محیطی در منطقه، تحقیقات آتی با موضوعات ذیل توسط محققین در منطقه صورت پذیرد:

- نمونه برداری عمقی از رسوبات رودخانه به منظور تعیین دقیق‌تر منشاء فلزات در آنها.
- ارزیابی دسترس‌پذیری عناصر در رسوبات با استفاده از روش استخراج متوالی.
- بررسی تأثیر آلودگی فلزات سنگین بر موجودات آبی در رودخانه.
- بررسی و ارزیابی روش‌های مدیریتی در جهت کاهش آلودگی آب و رسوبات رودخانه.

منابع

منابع فارسی

اصغری مقدم ا، (۱۳۸۹) "اصول شناخت آبهای زیرزمینی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۳۴۹.

آقانباتی ع، (۱۳۶۵)، "نقشه زمین‌شناسی تهران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آقانباتی ع، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران" چاپ سوم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۵۸۶.

باطبی ف و منصوریان ا، (۱۳۸۱)، "پایش کیفی رودخانه حبله‌رود"، گزارش آب و فاضلاب، استان سمنان، ص ۱۱۹.

برقعی ا، (۱۳۸۸)، "راهنمای مطالعات ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها"، نشریه ۴۸۱ وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیار فنی آب و آبفا.

برهمند م، (۱۳۹۰)، "شرح نقشه زمین‌شناسی فیروزکوه"، وزارت صنعت، معدن و تجارت سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی استان سمنان.

پوراصغر م، نوربخش ج، قنبری ن و یداللهی ع، (۱۳۸۷)، "بررسی وضعیت کیفی شش رودخانه مازندران با استفاده از شاخص NSFQI"، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ص ۸، تهران.

پوررحیم نجف آبادی ز، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد: "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (بنادر سیریک و جاسک) و تعیین منشأ احتمالی آن"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

پورقاسم م، (۱۳۸۸)، "بررسی مدل‌های خودپالایی رودخانه‌ها"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی و محیط زیست، تهران، ص ۷.

پوی ه.س، روو در و چبانوگلاس ج، (۱۳۸۲) "مهندسی محیط زیست" ترجمه‌ی ابراهیمی س و کی‌نژاد م.ع، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ص ۵۴۵.

خراط صادقی م و کرباسی ع، (۱۳۸۵) "بررسی غلظت و منشأ عناصر سنگین در رسوبات بستر رودخانه شیروود" **مجله علوم تکنولوژی محیط زیست**، شماره ۳، دوره ۸، ص ۴۳-۵۱.

خزایی س، خالدیان م و فرقانی ر، (۱۳۹۰)، "بررسی آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، مس و کادمیوم) در رودخانه زرجوب رشت و تأثیر آن در خاکهای اطراف"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ص ۹، تهران.

درویش‌زاده ع، (۱۳۸۵) "زمین‌شناسی ایران" انتشارات امیرکبیر، ص ۱۸۷.

دریکوند ا، (۱۳۸۹)، "بررسی و مطالعه کیفیت آب رودخانه سفید رود از دیدگاه توان خودپالایی رودخانه"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ص ۱۰، تهران.

دهرآزما ب و ساغروانی ف، (۱۳۸۹)، "بررسی جایگزینی PCA به جای آلودگی در تصفیه خانه آب گرمسار"، شرکت آب و فاضلاب استان سمنان، ص ۲۰۰.

رستمی ش، قشلاقی ا و مصطفوی ر، (۱۳۹۱)، "ارزیابی کیفیت آب رودخانه سیاهرود و امکان استفاده از آن برای مصارف شرب و کشاورزی"، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، ص ۸.

سازمان حفاظت محیط زیست ایران، (۱۳۷۳)، "استانداردهای زیست محیطی"، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، ص ۳۶.

سالنامه آماری استان سمنان، (۱۳۸۹)، استانداری سمنان.

سبهبانی ه و ملکیان آ، (۱۳۹۰)، "برآورد رسوب معلق رودخانه‌ای با استفاده از روشهای مختلف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود)"، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، ص ۷، اصفهان.

شهاب‌پور ج، (۱۳۸۴) "زمین‌شناسی اقتصادی" چاپ دوم، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان، ص ۳۶۰.

صداقت م، (۱۳۸۶) "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمین)" چاپ ششم، انتشارات پیام‌نور، تهران، ص ۳۶۸.

عودی ق، (۱۳۷۳) "کیفیت آب آشامیدنی" انتشارات محقق، مشهد، ص ۱۴۷.

غضبان ف، (۱۳۸۱) "زمین‌شناسی زیست‌محیطی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۱۵.

قادری ن و حبیبی ن، (۱۳۸۶)، "تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست منابع آبی دریاچه زریوار مریوان"، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۱-۱۳.

قاسم‌زاده ح، دهرآزما ب، حقی‌آبی ا و یوسفی یگانه ب، (۱۳۹۰)، "تأثیر سازندهای رخنمون یافته در تاق‌دیس‌های سلطان و سرکان بر کیفیت آب رودخانه کشکان"، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، ص ۹، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قره‌چلو س و حسینی خ، (۱۳۹۰)، "بررسی راهکارهای کاهش شوری آب رودخانه حبله‌رود از دیدگاه آبی با استفاده از GIS و RS"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ص ۶، سمنان.

کرباسی ع، باغوند ا، و معینی م، (۱۳۸۷)، "برآورد سهم طبیعی و انسان‌ساخت عناصر سنگین در رسوبات رودخانه جاجرود"، یازدهمین همایش ملی بهداشت، ص ۵، زاهدان.

کرباسی ع، نبی‌دهندی غ و باغوند ا، (۱۳۸۸)، "بررسی روش تفکیک شیمیایی عناصر سنگین در شناسایی آلودگی روخانه سیاهرود"، گزارش شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران.

کمالی س.ا، استون ه و تاتینا م، (۱۳۸۹)، "برآورد شاخص زیستی و کیفیت آب رودخانه‌های کریم‌چای، لوندویل و چلود شهرستان آستارا بوسیله جوامع حشرات آبزی کفزی"، **مجله تالاب**، دانشگاه آزاد

اسلامی واحد اهواز، شماره ۴، دوره ۱، ص ۷۹-۸۹.

گراوند م، قاسمی ح.ا و حافظی مقدس ن، (۱۳۹۱) "ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست‌محیطی فلزات سنگین

در خاک‌های حاصل از شیست‌های گرگان" **مجله علوم زمین**، شماره ۸۵، دوره ۲۲، ص ۳۵-۴۶.

گزارش آب منطقه‌ای استان سمنان، (۱۳۸۱)، "پوشش گیاهی حوضه آبخیز حبله‌رود"، ص ۱۲۰.

مقیمی ه، (۱۳۸۵) "هیدروژئوشیمی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، ص ۲۱۸.

موسوی حرمی ر، (۱۳۸۶) "رسوب‌شناسی" چاپ پنجم، انتشارات قدس رضوی، تهران، ص ۴۷۶.

مهدوی م، (۱۳۸۰) "هیدرولوژی عمومی" چاپ اول، مؤسسه فرهنگی و انتشاراتی آیه، تهران، ص ۲۵۲.

مؤسسه استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، (۱۳۸۸)، "آب آشامیدنی- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی"، تجدید نظر پنجم، ص ۱-۲۶.

میسون ب و مر ک، (۱۳۸۳) "اصول ژئوشیمی" ترجمه مر ف و شرفی ع، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه شیراز، ص ۵۷۲.

منابع لاتین

- Abraham G.M.S., (2005), Ph.D. Thesis, "Holocene sediment of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand", University of Auckland, New Zealand, pp. 361.
- Ahmad M.K., Islam S., Haque M.R. and Islam M., (2010), "Heavy metals in water, sediment and some Fishes of Buriganga River, Bangladesh", **Environmental Resources**, 4, pp. 3121-322.
- Akçay H., Oguz A. and Karapire C., (2003), "Study of heavy metal pollution and speciation in Buyuk Menderes and Gediz river sediments", **Water Research**, 37, pp. 813-822.
- Anderson M.J., Daly E.P., Miller S.L. and Milford J.B., (2002), "Source apportionment of exposures to volatile organic compounds: II. Application of receptor models to team study data", **Atmospheric Environment**, 36, pp. 3643-3658.
- Andy H. and Khaled A., (2009), "Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, pp. 3330-3336.
- Bellos D. and Sawidis T., (2005), "Chemical pollution monitoring of the River

- Pinios(Thessal- Greece)", **Environmental Management**,76, pp. 282-292.
- Binning K. and Baird D., (2001), "Survey of heavy metals in the Sediments of the Swartkops River Estuary, Port Elizabeth South Africa", **Water South African**, 27, pp. 461-466.
- Bowen H.J.M., (1979), "**Environmental Chemistry of the Elements**", Academic Press, New York.
- Bradl H.B., (2005), "**Heavy metals in the Enviroment**", Academic Press, New York, 6, pp. 283.
- Chakrapani G.j., (2005), "Major and trace element geochemistry In upper Ganga river in the Himalaya, India", **Environmental Geology**, 48, pp. 189-201.
- Derver J.I. and Hurcomb D.R., (1986), "Neutralization of atmospheric acidity by chemical weathering in a alpine drainage basin in the North Cascade Mountains", **Journal of Geology**, 14, pp. 221-224.
- Dickinson w.w., Dunbar G.B. and Mcleod H., (1996), "Heavy metal history from cores in Wellington Harbour New Zealand", **Environmental Geology**, 27, pp. 59-69.
- Duruibe J.O., Ogwugbu M.O.C. and Egwurugwu J.N., (2007), "Heavy metal Pollution and human biotoxic effects", **International Journal of Physical Sciences**, 2, pp. 112-118.
- Eby G.N., (2004), "**Principal of environmental chemistry**", Massachusetts, Lowell, Thomson, pp. 514.
- El Bouraie M.M., El Barbary A.A., Yehia M.M. and Motawea E.A., (2010), "Heavy metal concentrations in surface river Water and bed sediment at Nile Delta in Egypt", **Suoseura Finnish Peatland Society**, 61, pp. 1-12.
- Environmental Canada, (1990), "**Sediment Contamination**", Ott awa, Canada.
- Facchinelli A., Sacchi E. and Mallen L., (2001), "Multivariate statistical and GIS- based approach to identify heavy metel sources in soils", **Environmental Pollution**, 114, pp. 313-324.
- Fariey R., Long E.R., Roberts C.A., Anderson B.S., Phillips B.M., Hunt J.W., Puckett H.R. and Wilson C.J., (2001), "An evaluation of methods for calculating mean sediment quality guidline quotients as indicators of contamination and acute toxicity to amphipods by chemical mixtures", **Environment Toxicology chemical**, 20, pp. 2276-2286.
- Feng Peng J., Song Y., Yuan P., Cui X. and Qiu G., (2009), "The remediation of heavy

- metals contaminated sediment”, **Journal of Hazardous Materials**, 161, pp. 633-640.
- Ficklin W.H., Plumlee G.S., Smith K.S. and Mchugh J.B., (1992), “Geochemical Classification of mine drainages and natural drianges in mineralized areas”, In Kharaka Y.K. and Maest A.S. (eds), *Water-rock intraction*, Balkema, Rotterdam, 7, pp. 381-384.
- Folk R.L., (1954), “The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature”, **Journal of Geology**, 62, 4, pp. 344-359.
- Gibbs R.J., (1970), “Mechanism controlling world water chemistry”, **Science**, 170, pp. 1088-1090.
- Gomez-Parra A., Forja J.M., Delvalls T.A., Saenz I. and Riba I., (2000), “Early Contamination by heavy metals of the Guadalquivir Estuary After The Aznalcolloar Mining Spill (SW Spain)”, **Marine Pollution Bulletin**, 40, pp. 1115-1123.
- Goorzadi M., Vahabzade G.h., Ghanbarpour M.R. and Karbassi A.R., (2009), “Assessment of heavy metal pollution in Tilehbon riversediment”, **Journal of applied sciences**, 9 (6), pp. 1190-1193.
- Gundersen P. and Steinnes E., (2003), “Influence of pH and TOC concentration on Cu, Zn, Cd, and Al speciation in river”, **Water Reserch**, 37, pp. 307-318.
- Hadadan M., AfshinZadeh A.M. and Chaichi Z., (1994), “Geological Map of Semnan Province”, **Geology Survey of Iran**.
- Hakanson L., (1980), “An Ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approaches”, **Water Research**, 14, pp. 975-1001.
- Heiri O., Lotter A.F. and Lemcke G., (2001), “Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results”, **Paleolimnology**, 25, pp. 101-110.
- Hem J., (1985), “**Stady and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**”, U.S Geological Survey Water-Supply Paper, 2254, pp. 272.
- Hhuizenga J.M., (2004), Ph.D. Thesis, “Natural and anthropogenic influences on water quality: an example from rivers draining the Johannesburg Granite Dome, MS”, Rand Afrikaans University, pp. 83.
- Honslow A.W., (1995), “**Water Quality Data: Analysis and Interpretation**”, firsted, Lewis Publishers, pp. 397.
- Huang K.M. and Lin S., (2003), “Consequences and implication of heavy metal spatial

variations in sediments of the keelung River drainage basin, Taiwan”, **Chemosphere**, 53, pp. 1113-1121.

Ibrahim Korfali S. and Davies B., (2004), “Speciation of metals in sediment and Water in a river underlain by limestone: role of carbonate species for purification capacity of rivers”, **Advances in Environmental Research**, 8, pp. 599-612.

Kabata- Pendias A. (2011).“**Trace Elements in soil and plants**”, 4rd ed, CRC Press, Boca Raton, pp. 534.

Kabata- pendias A. and Mukherjee A.B., (2007), “**Trace Elements from Soil to Human**”, Springer-Verlag Berlin Hedelberg, pp.561.

Kalbitz K. and Wennrich R., (1998), “Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter”, **The Science of the Total Environment**, 209, pp. 27-39.

Keller C., Kayser A., Keller A. and Schulin R., (2001), “Heavy- metal uptake by agricultural crop from sewage sludge treated soil of the upper Swiss Rhine Valley and the effect of time. In: Iskandar I k (ed) Environmental restoration of metals-contaminated soils”, Lewis Public, Boca Raton, FL, pp. 273-291.

Liu H., Probst A. and Liao B., (2005), “Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead Zinc mine spill (Hunan, China)”, **Science Total Environment**, 339, pp. 153-156.

Loska K. and Wiechula D., (2003), “Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal pollution in surface sediments from the Rybnik Reservoir”, **Chemosphere**, 51, pp. 723-733.

Loska K., Cebula J., Pelczar J., Wiechula D. and Kwapulinski J., (1995), “Use of environment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Reybnik water reservoir in Poland”, **Water, Air Soil pollution**, 93, pp. 347-365.

Macdoland D.D., Ingersoll C.G. and Berger T.A., (2000), “Development and evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guideline for freshwater Ecosystem”, **Environmental Contamination Toxicology**, 39, pp. 20-31

Marghade D., Malpe D.B. and Zade A.B., (2011), “Geochemical characterization of groundwater from northwestern part of Nagpur urban”, **Environmental Earth Science**,

62, pp. 1419-1430.

- Mcgrath S.P., Shen Z.A. and Zhao F.J., (1997), "Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils, plant", **plant and Soil**, 188, pp. 153-159.
- Miller S.L., Anderson M.J., Daly E.P. and Milford J.B., (2002), "Source apportionment of exposures to volatile organic compounds. I. Evaluation of receptor models using simulated exposure data" **Atmospheric Environment**, 36 (22), pp. 3629–3641.
- Muller G., (1969), "Index of geoaccumulation Mullen sediments of the Rhine River", **Journal of Geology**, 2, pp. 108-118.
- Ostroumov S.A., (2004), "The Effect of Synthetic Surfactants on the Hydrobiological Mechanisms of Water Self-Purification", **Water Resources**, 31, pp. 546-555.
- Ouyang Y., Higman J., Thompson J. and Toole T., (2001), "Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega rivers subbasin" **Contaminant Hydrology**, 54, pp. 19-35.
- Paneer Selvam A., Laxmi Priya S., Banerjee K., Hariharan G., Purvaja R. and Ramesh R., (2011), "Heavy metal assessment using geochemical and statistical tools in the surface sediment of Vembanad Lake, Southwest Coast of India", **Environ Monit Assess.**, 184, 5899-5915.
- Piper A.M., (1944), "A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis", **American Geophysical union Transaction**, 25, pp. 914-923.
- Prathumratana L., Sthiannopkao S. and Woong Kim K., (2007), "The relationship Of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River", **Environment International**, 4, pp. 860-866.
- Roger L.O., Rick W. and Chappell J.C., (2012), "Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis literature review and Illinois River watershed case study", **Water Research**, 46, pp. 3110-3122.
- Sakar B., (2002), "**Heavy Metal in the Environment**", Marcel Dekker, New York. Basel, Inc, pp. 743.
- Shrestha S. and Kazama F., (2007), "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan", **Environment Modelling and Software**, 22, pp. 464-475.

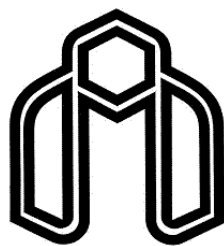
- Singh K.P., Mohna D., Sing V.K. and Malik A., (2005), "Studies on distribution and fraction of heavy metals in Gomti River sediment- tributary of the Ganges, India", **Analytica Chimica Acta**, 538, pp. 355-374.
- Skoulidakis N.T., (1993), "Significance evaluation of factors controlling river water composition", **Environmental Geology**, 22, pp. 178-185.
- Stoffers P., Glasby G.P., Wilson C.J., Davis K.R. and Watter P., (1986), "Heavy metal pollution in Wellington Harbour", **New Zealand Marine and Freshwater Research**, 20, pp. 494-512.
- Sutherland R. A., (2000), "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii", **Environment Geology**, 39, pp. 611-27.
- Takeno N., (2005), "**Atlas of Eh-pH diagram**", National Institute of Advanced Industrial Science Technology Research Center For Deep Geological Environments", Geological Survey of Japan, Open File Report. No. 419.
- Todd D.K. and Mays L.W., (2005), "**Ground water hydrology**", 3rd ed, John Wiley and Sons, New York, pp. 636.
- Turekian K.K. and Wedepohl K.H., (1961), "Distribution of the elements in some major units of the earth crust", Bulletin of geological Society of America, 72, pp. 175-192.
- US EPA, (2006), "**Urban storm water preliminary data summary water**", epa.Gov/scitech/.../2006_10_31_guide_storm_water_usw_b.pdf.
- Valerie C., Rudy S. and Jiska V., (2004), "Assessment of acid neutralizing capacity and potential mobilization of trace metal from land- disposed dredged sediment", **Science Total Environment**, 333, pp. 233-247.
- Vikram B., Dhruv S.S. and Singh K., (2010), "Water quality of the Chhoti Gandak River Using Principal Component analysis, Ganga Plain, India", **Water quality**, pp. 11.
- Voral M., (2011), "Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris river (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques", **Hazardous Materials**, 195, pp. 355-364.
- Wang L.K., Hang Y.T. and Shamma N.K., (2005), "Physicochemical Treatment Processes", **Environmental Engineering**, 3, pp. 731.
- WHO, (2011), "**Guideline for Drinking-Water Quality**", World Health Organization, 4th ed, pp.564.

- Wilcox L.V., (1955), “**Classification and use of Irrigation Water**”, Us Department of Agriculture, Issue 969, Washington D.C, USA, pp. 19.
- Woitke P., Wellmits j., Helm D., Kube P. and Litheraty P., (2003), “Analysis and asseement of heavy metal Pollution in Suspended Solid and sediments of the River Danube”, **Chemospere**, 12, pp. 633-642.
- Wisconsin Department of Natural Resources, (2003), “**Contaminated sediment Standing Team**”, WT 732, Washington, D.C.
- Xiaoyun F., Baoshan C., Hui Z., Zhiming Z. and Honggang Z., (2010), “Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques”, **Procedia Environmental Sciences**, 2, pp. 1220-1234.
- Yi Y., Yang Z. and Zhang S., (2011), “Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin”, **Environmental Pollution**, 159, pp. 2575-2585.
- Yinghong F., Chunye L., Mengchang H and Zhifeng y., (2009), “Enrichment and Chemical Fraction of Copper and Zinc in the Sediments of the Dalio River System, China”, **Soil and Sediment Contamination**, 18, pp. 688-701.
- Yujun Y., Zhifeng Y. and Shanghong Z., (2011), “Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin”, **Environment Pollution**, 159, pp. 2575-2585.
- Zourarah B., Maanan M., Robin M. and Carruesco C., (2008), “Sedimentary records of anthropogenic contribution to heavy metal content in Oum Er Bia estuary (Morocco)”, **Environmental Chemistry Letters**, 7, pp. 67-78.

Abstract

Hablehrood River is one of the main rivers in Semnan province with three branches; Namrood, Goorsefid, and Delichay. In this study, the concentration of heavy metals (lead, zinc, copper, iron, chromium, nickel, and cadmium) was evaluated in the water and sediment samples of the river (Branch Namrood to Dalichai). In order to measure the physicochemical properties, heavy metals concentration, water quality parameters (concentrations of major cation and anion, pH, EC), 15 water and 15 sediment samples were collected. In terms of geology, Cenozoic and Mesozoic sedimentary rocks have outcrop in the study area. The results of water quality investigations showed that the quality of water in Hablehrood (branches Namrood and Delichay) was influenced by carbonate and evaporate outcrops of the region. Interpretation of water quality data reveals that main hydro-chemical type of water is bicarbonate and the face is calcic and magnesian. Water is classified as very hard. Water is in the range of moderate and good for agricultural and Acceptable for drinking. The pH indicated alkaline water. Saturation Index of the samples was under-saturated with regard to halite and gypsum while it is over saturated by calcite, dolomite, and aragonite. The heavy metals in river water samples showed that among the target elements namely lead, zinc, copper, iron, chromium, nickel, and cadmium, the level of lead in some stations was higher than the standard limit for drinking water (WHO, 2011). Sedimentology studies revealed that sediment texture varies from gravel to sandy mud along the river. Average organic matter and carbonate calcium in the sediments were 0.93 and 3.13 percent respectively. Lead and cadmium levels in the sediments of Hablehrood were higher than the world sediments average. Enrichment factors of Pb and Cd were higher than the other elements. Geo-accumulation index showed a moderate pollution by cadmium. Pollution factor indicated average contamination of lead and significant contamination of cadmium in sediments. According to modified contamination degree, sediments of Hablehrood are none-contaminated to low-contaminated but not contaminated base on pollution load index. Sediment quality factor revealed that the concentrations of these elements in sediments did not reach to the probable effect level to affect the benthic organisms. Result of statistical analysis demonstrated that the origin of copper, iron, cadmium and chromium are mainly natural and sources of Pb and Zn are mainly anthropogenic.

Keywords: Hablehrood River, pollution, water, sediment, heavy metals, Semnan.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

**Assessment of heavy metals concentrations in water and
surface sediments of Hablerood River (from Namrood to
Delichai) in Semnan Province**

Faride Heydarpour

Supervisor

Dr. B. Dahrzma

Advisor

Dr. H. Ghasemi

Jan 2014