



دانشگاه صنعتی مازندران

دانشکده علوم زمین

گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی

عنوان

بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه‌ی
زنجانرود (بین دو سرشاخه‌ی ذاکر و سهرین)، استان زنجان

بهار شاهمرادی

استاد راهنما

دکتر بهناز دهرآزما

استاد مشاور

دکتر محمد ابراهیمی

بهمن ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم بهار شاهمرادی رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی تحت عنوان بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین)، استان زنجان که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی - امتیاز ۱۹/۲۰) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- اساتیدراهنما	دکتر بهناز دهرآزما	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر محمد ابراهیمی	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حبیب الله قاسمی	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر هادی جعفری عظیم آبادی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	

رئیس دانشکده: دکتر غلامحسین گرمی امضاء

دانشگاه صنعتی شاهرود


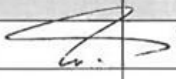
دانشکده: علوم زمین

گروه: آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم بهار شاهمرادی

بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین)، استان زنجان

در تاریخ ۹۲/۱۰/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	دکتر محمّد ابراهیمی		دکتر بهناز دهرآزما

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر حبیب الله قاسمی		دکتر هادی جعفری عظیم آبادی
			دکتر افشین قشلاقی

تقدیم به

پدر بزرگوارم و مادر مهربانم آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر برای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به

جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام، برسم.

همسرم، اسطوره ی زندگی، پناه محبتی و امید بودم

خواهرم به صمیمیت باران

برادرم به استواری کوه

تقدیر و تشکر

پس از حمد و سپاس خداوند مهربان که قدرت و توان سرانجام رساندن این کار را به من عنایت فرمود بر خود لازم می‌دانم از خانم دکتر بهناز دهرآزما که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و در طول این دو سال از تجربیات و راهنمایی‌های ایشان استفاده کرده‌ام تشکر نمایم.

از استاد مشاورم جناب آقای دکتر ابراهیمی بسیار سپاس‌گذارم که مرا از هیچ کمکی دریغ نمودند و همواره از راهنمایی‌های ایشان بهره برده‌ام.

از خانم ساره آذری، دوست خوب و همراه همیشگی‌ام بسیار سپاس‌گذار هستم. از دوستان خوبم، مریم حیات‌الغیب، فریده حیدرپور و آقای بهزاد تقی‌لو که از اولین مراحل شروع این پژوهش خصوصاً در نمونه برداری و انجام آزمایش‌ها، اینجانب را یاری نموده‌اند، نهایت تشکر و سپاس را دارم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم که از تمامی اساتید و کارمندان محترم دانشکده علوم‌زمین، جناب آقای دکتر کرمی، سرکار خانم دکتر فرقانی، جناب آقای دکتر قشلاقی، جناب آقای دکتر حافظی‌مقدس، جناب آقای دکتر جعفری، جناب آقای دکتر طاهری، سرکار خانم مهندس فارسی، سرکار خانم مهندس سعیدی، جناب آقای مهندس میرباقری و جناب آقای مهندس خانعلی‌زاده تقدیر و تشکر نمایم. از جناب آقای مهندس رستمی در دانشگاه زنجان و از دوستان مهربانم خانم‌ها شیما رستمی و آمنه آذریپکان و از زحمات بی‌دریغ سرکار خانم طیبه باقری کمال تشکر و قدردانی را دارم.

و همکلاسی‌هایم که همواره مشوق اینجانب بودند بی‌نهایت سپاس‌گذارم و برایشان در تمامی مراحل زندگی آرزوی موفقیت دارم.

مقالات ارائه شده از این پایان نامه

- ارزیابی کیفی آب رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین)، استان زنجان، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، اردیبهشت ۹۲.
- ارزیابی غلظت فلزات سنگین نقره و سرب در آب رودخانه زنجانرود بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین، استان زنجان، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، آبان ۹۲.

تعهد نامه

اینجانب بهار شاهمرادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سپهرین)، استان زنجان تحت راهنمایی دکتر بهناز دهرآزما متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا یافته‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۹

امضای دانشجوی ارشد
بهار شاهمرادی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

رودخانه زنجانرود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان زنجان محسوب می‌شود. محدوده مورد مطالعه بخشی از زنجانرود (طول تقریبی ۴۵ کیلومتر) است که بین دو سرشاخه ذاکر در شرق شهرستان زنجان و سرشاخه سهرین در غرب شهرستان زنجان واقع شده است. در مطالعه حاضر به ارزیابی کیفیت آب و رسوبات و بررسی غلظت عناصر سنگین (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Co, Ni و Sr) در رودخانه پرداخته شده است. پس از جمع‌آوری و انجام مطالعات مربوطه و بازدید صحرایی از منطقه، ۲۵ ایستگاه جهت جمع‌آوری نمونه‌های آب و رسوب انتخاب گردید. پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش ICP-OES در نمونه‌های آب و رسوب اندازه‌گیری گردید. pH تمامی نمونه‌های آب و رسوب در رده قلیایی قرار دارد و تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد. غلظت یون‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) بودند. نتایج حاصل از نمودارهای استیف و پایپر نشان داد که تیپ و رخساره نمونه‌های آب، کلروره کلسیک (۱۵٪)، بی‌کربناته کلسیک (۷۵٪) و سولفات کلسیک (۱۰٪) می‌باشد. ۶۰٪ نمونه‌های آب در رده کاملاً سخت، ۳۵٪ در رده سخت و ۵٪ در رده نسبتاً سخت قرار می‌گیرند. بررسی نمودار شولر و ویلکاکس نشان داد که کیفیت آب در محدوده مورد مطالعه جهت مصارف شرب، خوب تا قابل قبول است و برای اهداف آبیاری در مصارف کشاورزی مناسب هستند. به‌طور کلی آب رودخانه زنجانرود از نظر فلزات سنگین مورد بررسی (به‌جز سرب) آلوده نیست ولی غلظت سرب در تمامی نمونه‌های آب منطقه، بالاتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) می‌باشد. به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات، از روش ICP-OES استفاده شد. پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات، مانند دانه‌بندی، اندازه‌گیری pH و EC، درصد مواد آلی و درصد کربنات کلسیم تعیین شدند. شاخص‌های ژئوشیمیایی (Igeo, EF, CF و PLI) برای ارزیابی کمی شدت آلودگی در رسوبات به‌کار برده شدند. در تحلیل آماری داده‌ها نیز از روش‌هایی چون همبستگی و تحلیل مؤلفه اصلی استفاده شد. نتایج حاصل از دانه‌بندی رسوبات نشان داد، در ایستگاه‌های ابتدایی رسوبات دانه درشت‌تر هستند و به سمت انتهای رودخانه، دانه‌ریزتر می‌شوند. مواد آلی و کربنات کلسیم رسوبات به‌ترتیب بین ۰/۰۴٪ تا ۰/۷۲٪ و ۰/۱۸٪ تا ۱/۸٪ تغییر می‌کنند. همچنین با توجه به غلظت کل فلزات در نمونه‌های رسوب و روند تغییرات غلظت کل آن‌ها در طول رودخانه مشخص شده است که غلظت عناصر کروم و کبالت در تمام نقاط نمونه‌برداری پایین‌تر از غلظت میانگین رسوبات جهانی است. عناصر روی، نیکل، در برخی ایستگاه‌ها، و عناصر مس، سرب و کادمیم در همه نقاط نمونه‌برداری، غلظتی بیش از غلظت میانگین رسوبات جهانی دارند. متوسط ضریب غنی‌شدگی (EF) محاسبه شده برای عناصر نشان داد که رسوبات نسبت به عناصر سرب و کادمیم غنی‌شدگی بالا و قابل توجهی دارند، نسبت به مس و روی دارای غنی‌شدگی متوسط می‌باشند، نسبت به عناصر نیکل، کروم، استرانسیم و کبالت نبود غنی‌شدگی یا غنی‌شدگی اندک را نشان می‌دهند. محاسبه متوسط شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد که نمونه‌های رسوب نسبت به سرب و کادمیم در رده آلودگی متوسط قرار دارند و نسبت به عناصر کروم، نیکل و روی غیرآلوده هستند و نسبت به عناصر مس، کبالت و استرانسیم در رده غیرآلوده قرار دارند. با توجه به میانگین مقادیر فاکتور آلودگی، رسوبات زنجانرود نسبت به سرب دارای آلودگی بسیار بالا و نسبت به کادمیم دارای آلودگی قابل توجه می‌باشند. رسوبات نسبت به عناصر روی، مس و استرانسیم در رده آلودگی متوسط و نسبت به عناصر کروم، کبالت و نیکل در رده آلودگی پایین واقع می‌شوند. محاسبه شاخص بارآلودگی مشخص کرد که ۶۷ درصد از رسوبات در منطقه آلوده می‌باشند و ۳۳ درصد غیرآلوده هستند. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری چند متغیره نشان داد که فلزاتی چون کروم، کبالت، کادمیم، استرانسیم و نیکل دارای منشاء عمدتاً زمین‌زاد و فلزات سرب، روی، مس و کادمیم بیش‌تر دارای منشاء بشرزاد می‌باشند. عنصر کادمیم نیز احتمالاً دارای منشاء دوگانه طبیعی-انسان‌زاد است.

کلیدواژه: فلزات سنگین، زنجانرود، آلودگی، رسوبات، کیفیت آب

فهرست مطالب

صفحات	عنوان
۱	فصل اول کلیات.....
۱-۱	۱- مقدمه.....
۲-۱	۲- بیان مسئله.....
۳-۱	۳- اهداف تحقیق.....
۴-۱	۴- ضرورت انجام تحقیق.....
۵-۱	۵- روش انجام تحقیق.....
۶-۱	۶- خصوصیات منطقه مورد مطالعه.....
۱-۶-۱	۱-۶-۱- حوضه آبریز زنجانرود.....
۲-۶-۱	۲-۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۳-۶-۱	۳-۶-۱- اقلیم منطقه.....
۴-۶-۱	۴-۶-۱- کاربری اراضی منطقه.....
۱-۴-۶-۱	۱-۴-۶-۱- مراکز صنعتی و تولیدی.....
۲-۴-۶-۱	۲-۴-۶-۱- مناطق شهری و روستایی.....
۳-۴-۶-۱	۳-۴-۶-۱- اراضی کشاورزی.....
۴-۴-۶-۱	۴-۴-۶-۱- معدن.....
۷-۱	۷- ساختار پایان نامه.....
۱۳	فصل دوم مروری بر مطالعات پیشین.....
۱-۲	۱- مقدمه.....
۲-۲	۲- ارزیابی آلودگی رودخانه‌ها.....
۱-۲-۲	۱-۲-۲- فلزات سنگین.....
۲-۲-۲	۲-۲-۲- پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب.....
۳-۲-۲	۳-۲-۲- شاخصهای ژئوشیمیایی.....
۴-۲-۲	۴-۲-۲- آنالیزهای آماری.....
۳-۲	۳- مطالعات انجام شده در حوضه آبریز زنجانرود.....
۳۱	فصل سوم زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۱-۳	۱- مقدمه.....
۲-۳	۲- چینه‌شناسی عمومی منطقه.....

۳۲.....	۳-۳- ارتفاعات طارم
۳۵.....	۴-۳- دشت زنجان- ابهر
۳۶.....	۵-۳- ارتفاعات سلطانیه
۳۶.....	۱-۵-۳- سازند کهر (پرکامبرین)
۳۷.....	۲-۵-۳- سازند بایندور (اینفراکامبرین)
۳۷.....	۳-۵-۳- سازند سلطانیه (اینفراکامبرین - کامبرین)
۳۸.....	۴-۵-۳- سازند باروت (کامبرین زیرین)
۳۹.....	۵-۵-۳- سازند زاگون (کامبرین زیرین)
۳۹.....	۶-۵-۳- سازند لالون (کامبرین زیرین)
۳۹.....	۷-۵-۳- سازند میلا (کامبرین میانی - بالایی)
۴۰.....	۸-۵-۳- سازند شمشک (ژوراسیک تحتانی)
۴۰.....	۹-۵-۳- سازند لار (ژوراسیک میانی - فوقانی)
۴۰.....	۱۰-۵-۳- سازند فجن (ائوسن)
۴۰.....	۱۱-۵-۳- سازند کرج (ائوسن میانی - بالایی)
۴۲.....	۱۲-۵-۳- گرانیته دوران
۴۳.....	۶-۳- تکتونیک
۴۴.....	۷-۳- ژئومورفولوژی منطقه
۴۵.....	فصل چهارم مواد و روش ها
۴۶.....	۱-۴- مقدمه
۴۶.....	۲-۴- تعیین ایستگاههای نمونه برداری
۴۸.....	۳-۴- نمونه برداری و آماده سازی نمونه های آب و رسوب
۴۸.....	۱-۳-۴- نمونه های آب
۴۹.....	۲-۳-۴- نمونه های رسوب
۵۰.....	۴-۴- آنالیزهای شیمیایی
۵۰.....	۱-۴-۴- pH
۵۱.....	۲-۴-۴- EC
۵۱.....	۳-۴-۴- غلظت آنیونها و کاتیونها
۵۱.....	۴-۴-۴- غلظت فلزات سنگین
۵۳.....	۵-۴-۴- دانه بندی رسوبات
۵۴.....	۶-۴-۴- درصد مواد آلی رسوبات

- ۴-۷-درصد کربنات کلسیم (CaCO_3) رسوبات ۵۵
- ۴-۵-فاکتورها و شاخص‌های مورد استفاده در تحلیل داده‌های رسوب ۵۵
- ۴-۶-آنالیزهای آماری ۵۶
- ۴-۷-نرم افزارهای به کار برده شده ۵۶
- فصل پنجم کیفیت آب و رسوب ۵۷
- ۵-۱-مقدمه ۵۸
- ۵-۲-نتایج اولیه آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات منطقه ۵۹
- ۵-۳-بررسی تغییرات دما ۶۱
- ۵-۴-بررسی تغییرات pH در نمونه های آب و رسوب ۶۲
- ۵-۵-بررسی تغییرات EC در نمونه های آب و رسوب ۶۴
- ۵-۶-بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفیت منابع آب منطقه ۶۸
- ۵-۶-۱-غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی ۶۸
- ۵-۶-۱-۱-کاتیونها ۶۸
- ۵-۶-۱-۲-آنیونها ۷۱
- ۵-۶-۲-تیپ و رخساره هیدروشیمیایی نمونه های آب رودخانه زنجانرود ۷۴
- ۵-۶-۲-۱-نمودار استیف ۷۵
- ۵-۶-۲-۲-نمودار پایپر ۷۸
- ۵-۶-۳-سختی ۸۰
- ۵-۶-۴-ارزیابی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه در رودخانه زنجانرود از نظر شرب ۸۲
- ۵-۶-۵-ارزیابی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه در رودخانه زنجانرود از نظر کشاورزی ۸۴
- ۵-۶-۶-فرایندهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب منطقه ۸۷
- ۵-۶-۷-شاخص اشباع شدگی ۸۸
- ۵-۷-بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه ۹۰
- ۵-۷-۱-بافت رسوبات ۹۰
- ۵-۷-۲-ماده آلی در نمونه‌های رسوب ۹۲
- ۵-۷-۳-کربنات کلسیم CaCO_3 نمونه‌های رسوب ۹۴
- ۵-۸-همبستگی بین پارامترهای مختلف اندازه گیری شده در منابع آب و رسوبات منطقه ۹۵
- ۵-۹-بررسی تغییرات و پراکنش غلظت عناصر در نمونه های آب و رسوب ۹۹
- ۵-۹-۱-مس ۱۰۰
- ۵-۹-۲-روی ۱۰۲

۱۰۵.....	۳-۹-۵ نیکل.....
۱۰۶.....	۴-۹-۵ کادمیم.....
۱۰۸.....	۵-۹-۵ کروم.....
۱۱۰.....	۶-۹-۵ سرب.....
۱۱۳.....	۷-۹-۵ استرانسیم.....
۱۱۶.....	۸-۹-۵ کبالت.....
۱۱۸.....	۱۰-۵ بار فلزی منابع آب.....
۱۱۸.....	۱۱-۵ ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی.....
۱۱۹.....	۱-۱۱-۵ فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب منطقه.....
۱۲۳.....	۲-۱۱-۵ شاخص زمین‌انباشتگی در نمونه‌های رسوب منطقه.....
۱۲۷.....	۳-۱۱-۵ فاکتور آلودگی، درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب منطقه.....
۱۳۳.....	۴-۱۱-۵ محاسبه PLI یا شاخص بار آلودگی در نمونه‌های رسوب منطقه.....
۱۳۴.....	۱۲-۵ بررسی کیفیت نمونه‌های رسوب منطقه بر اساس SQGS.....
۱۳۶.....	۱۳-۵ تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) در نمونه‌های رسوب منطقه.....
۱۳۹.....	فصل ششم
۱۴۰.....	۱-۶ مقدمه.....
۱۴۱.....	۲-۶ جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت آب و رسوب.....
۱۴۱.....	۱-۲-۶ پارامترهای فیزیکوشیمیایی.....
۱۴۲.....	۲-۲-۶ غلظت فلزات سنگین.....
۱۴۳.....	۳-۲-۶ شاخص‌های ژئوشیمیایی.....
۱۴۴.....	۴-۲-۶ آنالیزهای آماری.....
۱۴۷.....	۳-۶ پیشنهادها.....
۱۴۸.....	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- حوضه آبریز زنجانرود و منطقه مورد مطالعه..... ۶
- شکل ۲-۱- منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن..... ۸
- شکل ۳-۱- کاربری اراضی منطقه..... ۱۲
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۳۳
- شکل ۲-۳- نمونه دستی از الف- سنگ آذرآواری با رگچه‌هایی از کلسیت، ب- توف خرده سنگی، ج- آندزیت پورفیری با بلورهای روشن پلاژیوکلاز..... ۳۴
- شکل ۳-۳- تصویر میکروسکوپی از توف در نور معمولی و نور پولاریزه شامل کانی‌های اپاک و بلورهای خرد شده Y شکل پلاژیوکلاز (Plg)..... ۳۴
- شکل ۴-۳- تصویر میکروسکوپی از آندزیت در نور معمولی و نور پولاریزه شامل کانی‌های کلریت (Chl)، بیوتیت (Bio)، پیروکسن (Prx) و پلاژیوکلاز (Plg)..... ۳۵
- شکل ۳-۵- نمایی از نهشته‌های کواترنری..... ۳۶
- شکل ۳-۶- سازند سلطانیه در جنوب حوضه آبریز..... ۳۸
- شکل ۳-۷- نمایی از توف‌های سبز رنگ در منطقه..... ۴۱
- شکل ۳-۸- سازند کرج در ارتفاعات سلطانیه..... ۴۱
- شکل ۳-۹- تصویر میکروسکوپی از گرانیات در نور معمولی و پولاریزه شامل هورنبلند (Hbl)، بیوتیت (Bio)، پیروکسن (Prx) با بافت دانه‌ای..... ۴۲
- شکل ۴-۱- موقعیت ایستگاههای نمونه برداری در رودخانه زنجانرود..... ۴۸
- شکل ۴-۲- طبقه بندی بافت رسوب بر اساس مثلث فولک (۱۹۵۴)..... ۵۴
- شکل ۱-۵- رابطه میان دما و انحلال پذیری در آب..... ۶۱
- شکل ۲-۵- تغییرات pH در نمونه های آب منطقه..... ۶۲
- شکل ۳-۵- تغییرات pH در نمونه های رسوب منطقه..... ۶۳
- شکل ۴-۵- تغییرات EC در نمونه های آب منطقه..... ۶۵
- شکل ۵-۵- تغییرات EC در نمونه های رسوب منطقه..... ۶۷
- شکل ۶-۵- وجود مقدار زیادی کف در محل ایستگاه S20..... ۶۷
- شکل ۷-۵- تغییرات غلظت کاتیونها در منطقه..... ۷۰
- شکل ۸-۵- فعالیت نسبی گونه های مختلف کربنات به عنوان تابعی از pH..... ۷۴
- شکل ۹-۵- تغییرات غلظت آنیونها در منطقه..... ۷۴
- شکل ۱۰-۵- نمایش تیپ آب رودخانه زنجانرود برای هر ایستگاه به کمک نمودارهای استیف..... ۷۷
- شکل ۱۱-۵- نمودار پایپر برای نمونه های آب منطقه مورد مطالعه..... ۷۹

- شکل ۵-۱۲- نمودار لگاریتمی تقسیم بندی آب محدوده مطالعاتی از نظر آشامیدن (نمودار شولر).....۸۳
- شکل ۵-۱۳- موقعیت ایستگاههای نمونه برداری آب منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار ویلکاکس۸۵
- شکل ۵-۱۴- الف- مدل گیبس، ب- نمایش نمونه های آب منطقه بر روی مدل گیبس۸۸
- شکل ۵-۱۵- شاخص اشباع شدگی کانیهای اصلی در نمونه های آب منطقه مورد مطالعه.....۸۹
- شکل ۵-۱۶- بافت رسوبات منطقه بر اساس طبقه بندی فولک (۱۹۵۴).....۹۱
- شکل ۵-۱۷- نقشه هم غلظت و مقادیر مواد آلی در رسوبات۹۳
- شکل ۵-۱۸- نقشه هم غلظت و مقادیر کربنات کلسیم در رسوبات.....۹۴
- شکل ۵-۱۹- انحلال پذیری عناصر در آب بر اساس pH۹۹
- شکل ۵-۲۰- نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh- pH در آب۱۰۰
- شکل ۵-۲۱- تغییرات غلظت مس در نمونه های رسوب منطقه۱۰۲
- شکل ۵-۲۲- تغییرات غلظت روی در نمونه های رسوب منطقه۱۰۴
- شکل ۵-۲۳- تغییرات غلظت نیکل در نمونه های رسوب منطقه.....۱۰۶
- شکل ۵-۲۴- تغییرات غلظت کادمیم در نمونه های رسوب منطقه۱۰۸
- شکل ۵-۲۵- تغییرات غلظت کروم در نمونه های رسوب منطقه.....۱۱۰
- شکل ۵-۲۶- تغییرات غلظت سرب در نمونه های آب منطقه۱۱۱
- شکل ۵-۲۷- تغییرات غلظت سرب در نمونه های رسوب منطقه۱۱۲
- شکل ۵-۲۸- تغییرات غلظت استرانسیم در نمونه های آب منطقه۱۱۴
- شکل ۵-۲۹- تغییرات غلظت استرانسیم در نمونه های رسوب منطقه۱۱۵
- شکل ۵-۳۰- تغییرات غلظت کبالت در نمونه های رسوب منطقه۱۱۷
- شکل ۵-۳۱- رابطه بار فلزی (Pb+ Zn+ Cu+ Cd+ Ni) و pH در منابع آب منطقه بر اساس نمودار فیکلین۱۱۸
- شکل ۵-۳۲- متوسط ضریب غنی شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب منطقه۱۲۱
- شکل ۵-۳۳- ضریب غنی شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب منطقه۱۲۲
- شکل ۵-۳۴- شاخص زمین انباشتگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب منطقه.....۱۲۶
- شکل ۵-۳۵- متوسط شاخص زمین انباشتگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب منطقه۱۲۷
- شکل ۵-۳۶- فاکتور آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب منطقه۱۳۰
- شکل ۵-۳۷- متوسط فاکتور آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب منطقه۱۳۱
- شکل ۵-۳۸- تغییرات درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه های رسوب منطقه۱۳۲
- شکل ۵-۳۹- مقایسه میانگین غلظت عناصر با مقادیر شاخص های موجود در SQGs۱۳۶
- شکل ۵-۴۰- بارگذاری متغیرهای رسوب بر روی نمودار سه بعدی۱۳۸

فهرست جداول

- جدول ۳-۱- سازندهای زمین‌شناسی رخنمون در سطح استان ۴۳
- جدول ۴-۱- موقعیت ایستگاههای نمونه برداری ۴۷
- جدول ۵-۱- غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی نمونه های آب منطقه (بر حسب میلیگرم بر لیتر) ۵۹
- جدول ۵-۲- غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب و رسوب منطقه مورد مطالعه ۶۰
- جدول ۵-۳- تغییرات تیپ و رخساره آب و توالی آنیونها و کاتیونهای اصلی در نمونه های آب رودخانه زنجانرود ۸۰
- جدول ۵-۴- طبقه بندی آب بر اساس سختی ۸۱
- جدول ۵-۵- طبقه بندی منابع آب منطقه مورد مطالعه از نظر سختی (mg/L as CaCO_3) ۸۱
- جدول ۵-۶- معیارهای طبقه بندی آب از لحاظ شرب (Schoeller, 1986) ۸۳
- جدول ۵-۷- طبقه بندی آب جهت کشاورزی بر اساس نسبت جذب سدیم (SAR) و یا خطر قلیایی شدن ۸۴
- جدول ۵-۸- طبقه بندی آب جهت کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی (EC) ۸۴
- جدول ۵-۹- طبقه بندی کیفیت آب محدوده مطالعاتی برای مصارف کشاورزی ۸۶
- جدول ۵-۱۰- طبقه بندی کیفیت آب محدوده مطالعاتی برای مصارف کشاورزی بر اساس Na\% ۸۷
- جدول ۵-۱۱- شاخص اشباع شدگی نمونه های آب منطقه نسبت به کانیهای اصلی ۹۰
- جدول ۵-۱۲- اجزاء مختلف رسوبات منطقه مورد مطالعه ۹۱
- جدول ۵-۱۳- مقادیر همبستگی بین آنیونها و کاتیونهای اصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب ۹۶
- جدول ۵-۱۴- مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه ۹۸
- جدول ۵-۱۵- تقسیم‌بندی میزان غنی‌شدگی بر اساس فاکتور غنی‌شدگی ۱۱۹
- جدول ۵-۱۶- رده‌بندی ساترلند برای ضرایب غنی‌شدگی و وضعیت غنی‌شدگی نمونه‌های مورد مطالعه ۱۲۰
- جدول ۵-۱۷- ضریب غنی‌شدگی نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه ۱۲۰
- جدول ۵-۱۸- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در تعیین آلودگی رسوب ۱۲۴
- جدول ۵-۱۹- شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه ۱۲۵
- جدول ۵-۲۰- مقدار فاکتور آلودگی و درجه آلودگی و ارتباط آن با میزان آلودگی ۱۲۸
- جدول ۵-۲۱- رده‌بندی آلودگی رسوب بر مبنای درجه آلودگی اصلاح‌شده ۱۲۹
- جدول ۵-۲۲- فاکتور آلودگی نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه ۱۲۹
- جدول ۵-۲۳- تغییرات درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه زنجانرود ۱۳۲
- جدول ۵-۲۴- مقادیر PLI در نمونه‌های رسوب منطقه ۱۳۳
- جدول ۵-۲۵- مقادیر TEC، MEC و PEC برای عناصر (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) ۱۳۵
- جدول ۵-۲۶- سه مؤلفه اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها ۱۳۷



فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

رودخانه‌ها یکی از منابع اصلی تأمین آب مصرفی (شرب، صنعت، کشاورزی و ...) به‌شمار می‌روند و به‌علت زهکشی آب‌های ورودی به حوضه آبریز و انتقال آن به خارج از حوضه و همچنین تأمین نیازهای آبی موجودات از جمله انسان، نقش مهمی دارند و از دیدگاه زیست‌محیطی، بسیار با اهمیت می‌باشند. نیاز بشر برای تأمین منابع آب مورد نیاز، جهت مصارف گوناگون، سبب شده است تا به معیارهای کمی و کیفی این مایع حیاتی توجه شود. پیشرفت علم، صنعت، دانش و افزایش تسلط انسان بر محیط اطرافش، ضرورت توسعه پایدار، در خصوص منابع طبیعی و خدادادی را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

یکی از منابع آلاینده آب‌های سطحی، پساب‌های (کشاورزی، صنعتی، مناطق شهری) حاوی فلزات سنگین می‌باشند که منشأ بشرزاد دارند. همچنین فلزات سنگین می‌توانند دارای منشأ زمین‌زاد باشند و از طریق واحدهای زمین‌شناسی غنی از این فلزات، منابع آبی درگیر را آلوده نمایند. فلزات سنگین، سلامت انسان و محیط‌زیست را به خطر می‌اندازند و تغییراتی را در چرخه بیوشیمیایی ایجاد می‌کنند. در این فصل، به بیان مسئله، اهداف تحقیق، ضرورت انجام تحقیق، روش انجام تحقیق، خصوصیات منطقه مورد مطالعه و ساختار پایان‌نامه، پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسئله

شرایط زمین‌شناسی منطقه و کاربری اراضی اطراف رودخانه‌ها، در کیفیت آب و رسوبات رودخانه‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشند. عواملی چون کشاورزی، فاضلاب‌های تصفیه نشده‌ی شهری، شهرک‌های صنعتی و کارخانه‌ها، سبب افزایش مواد آلی و غلظت فلزات سنگین در منابع آب شده و در نتیجه موجب آلودگی آن‌ها می‌گردند.

عناصر سنگین و سمّی از جمله عوامل آلاینده ماندگار در آب و رسوبات موجود در منابع آب

می‌باشند و می‌توانند بر کیفیت منابع آب مؤثر باشند. با توجه به وابستگی تنگاتنگی که میان سلامت منابع آب و جامعه‌ی انسانی وجود دارد، لذا ایجاد آلودگی می‌تواند در اثر ورود به زنجیره‌ی غذایی، اثرات سوء، زیان‌بار و جبران‌ناپذیری را بر جوامع زیستی شامل انسان‌ها، جانوران و گیاهان، برجای گذارد.

زنجانرود در آبرفت‌های دشت زنجان، در حد فاصل بین کوه‌های طارم در شمال و کوه‌های سلطانیه در جنوب واقع شده است و از جنوب‌شرق به طرف شمال‌غرب، جریان دارد. یکی از طویل‌ترین رودخانه‌های استان زنجان، رودخانه زنجانرود با طول ۱۲۶/۵ کیلومتر می‌باشد. این رودخانه از حاشیه‌ی جنوبی شهر زنجان می‌گذرد و شریان حیاتی شهر محسوب می‌گردد، همچنین در تأمین آب مصرفی باغ‌ها و روستاهای اطراف بسیار حائز اهمیت می‌باشد. روزانه بیش از ۸۱۱۹۱ متر مکعب فاضلاب، وارد رودخانه‌ی زنجانرود می‌شود که شامل پساب کارخانه‌های سرب و روی، پارس سوئیچ و ایران ترانسفو، کشتارگاه زنجان، واحدهای صنعتی مستقر در شهرک صنعتی شماره یک زنجان و همچنین فاضلاب‌های خانگی و شهری شهرهای زنجان، سلطانیه، روستاهای اطراف در حاشیه اصلی رودخانه می‌باشند (پری‌زنگنه و همکاران، ۱۳۸۳). این رودخانه عاملی جهت ایجاد اراضی کشاورزی متعدد، تمرکز مراکز شهری و روستایی و همچنین مراکز صنعتی مختلف در منطقه شده است و تأثیر به‌سزایی در اقتصاد منطقه دارد.

در تحقیق حاضر به بررسی کیفیت آب و رسوبات رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین)، و همچنین، ارزیابی تأثیر عوامل زمین‌شناسی و بشرزاد بر این کیفیت، پرداخته شده است.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف کلی از تحقیق حاضر، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین) بوده است. جهت نیل به این هدف کلی، اهداف جزئی زیر دنبال

گردیده است:

- ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی
- ارزیابی کیفیت فیزیکوشیمیایی آب و رسوبات سطحی
- بررسی ارتباط زمین‌شناسی منطقه با کیفیت آب و رسوبات سطحی
- بررسی ارتباط کاربری اراضی اطراف رودخانه (فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، شهرسازی و ...) با کیفیت آب و رسوبات سطحی
- ارزیابی آلودگی در آب رودخانه از طریق مقایسه غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات با استانداردهای جهانی
- ارزیابی میزان آلودگی در رسوبات رودخانه با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی و زیست‌محیطی
- تهیه نقشه پراکنش غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی در محیط GIS

۴-۱- ضرورت انجام تحقیق

با توجه به وسعت رودخانه زنجانرود و حضور عوامل متنوع تأثیرگذار بر کیفیت آب و رسوبات این رودخانه، لذا بخشی از رودخانه، واقع شده در بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین با بیش‌ترین احتمال آلودگی، جهت بررسی و مطالعه در تحقیق حاضر انتخاب گردید. با توجه به اهمیت رودخانه زنجانرود در تأمین آب روستاها، صنایع و باغ‌ها در استان، حضور منابع آلاینده بشرزاد (صنعتی، کشاورزی، خانگی) در حاشیه آن و نبود تحقیق جامع، در ارتباط با آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه، لذا انجام این تحقیق با اهداف ذکر شده، لازم و ضروری می‌باشد.

نتایج این تحقیق می‌تواند در بهبود مدیریت زیست‌محیطی رودخانه و توسعه‌ی پایدار منابع آب مؤثر باشد و در پیشبرد اهداف صنعت آب کشور نقشی به‌سزا داشته باشد که این امر ضرورت انجام

تحقیق را دو چندان می‌نماید. همچنین شناخت عوامل آلاینده رودخانه و میزان آلودگی در آب و رسوبات منطقه، اطلاعات مفید و مؤثری را در اختیار مدیران قرار داده و با مدیریت صحیح و جلوگیری از افزایش میزان آلودگی، گامی مؤثر در جهت کاهش هزینه‌های فنی و اقتصادی کنترل کیفیت آب در منطقه، صورت می‌پذیرد.

۱-۵- روش انجام تحقیق

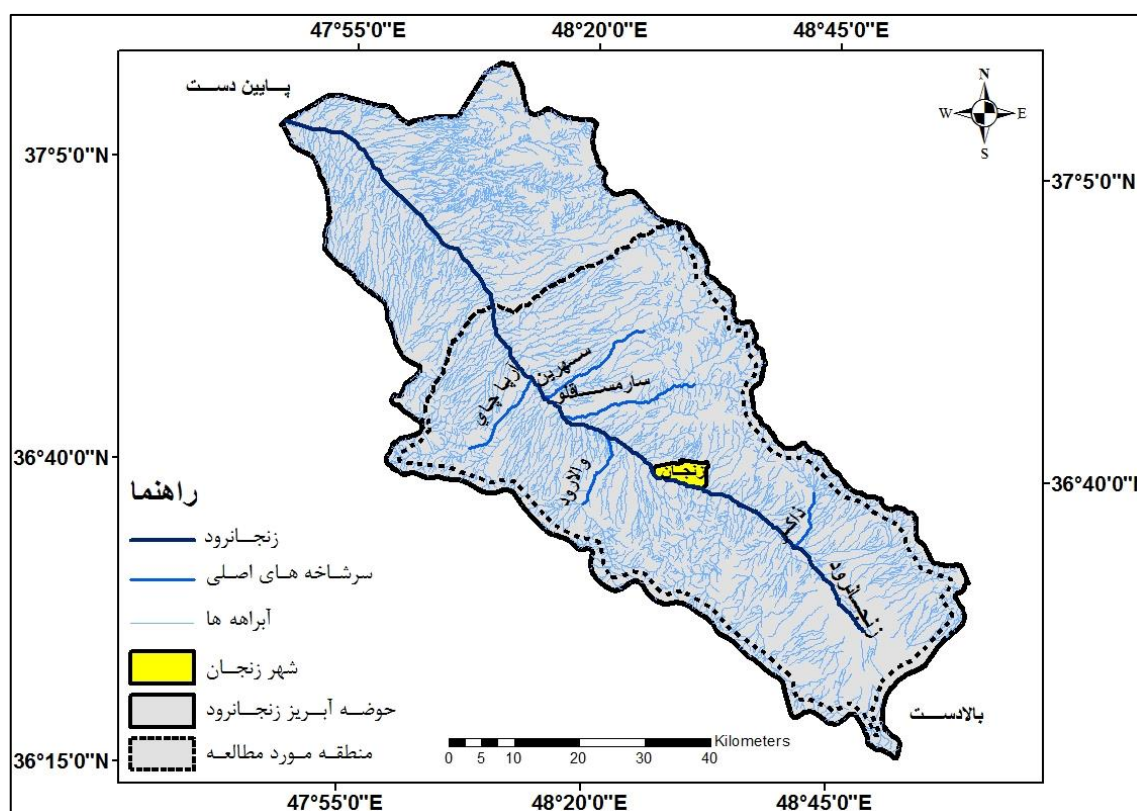
- جمع آوری اطلاعات و بررسی مطالعات پیشین مشابه انجام شده در ایران، جهان و منطقه مورد مطالعه
- انجام مطالعات صحرایی جامع جهت بررسی کاربری اراضی و عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب در طول مسیر رودخانه
- تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، انجام نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های آب و رسوبات سطحی
- انجام آنالیزهای مختلف در نمونه‌های آب و رسوبات
- بررسی کیفیت آب و رسوبات منطقه و انجام تحلیل‌های آماری و پهنه‌بندی کیفی رودخانه، رسم گرافها و نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS, Arc GIS, Chemistry, Aq.QA, و PHREEQC
- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱-۶- خصوصیات منطقه مورد مطالعه

۱-۶-۱- حوضه آبریز زنجانرود

حوضه آبریز زنجانرود در شمال غرب کشور با مساحتی بالغ بر ۴۴۵۰ کیلومتر مربع واقع شده است و یکی از حوضه‌های مهم حوضه آبریز رودخانه قزل‌اوزن می‌باشد که دارای طول زیاد و عرض کم

می‌باشد. دشت زنجان مساحتی حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع از مساحت حوضه آبریز زنجانرود را به خود اختصاص داده است. ارتفاع متوسط حوضه در حدود ۱۶۹۰ متر است (خانمحمدی، ۱۳۷۶). زنجانرود از شهرهای سلطانیه و زنجان عبور می‌کند، بنابراین قسمتی از حوضه آبریز این رود، در شهرستان ابهر و قسمتی از آن نیز در شهرستان زنجان قرار دارد. حداکثر ارتفاع در حوضه آبریز این رود، ۳۲۰۰ متر و حداقل آن ۱۱۳۰ متر، از سطح دریا است (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹). زنجانرود از آق‌داغ در سلطانیه سرچشمه می‌گیرد و از سمت جنوب‌شرق به شمال‌غرب، در دشتی هموار و نسبتاً مرتفع، جریان می‌یابد و در روستای رجین به قزل‌اوزن می‌پیوندد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). از مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه زنجانرود می‌توان رودخانه‌های ذاکر، سهرین، آریا چای، والارود و سارمساقلو را نام برد (شکل ۱-۱).

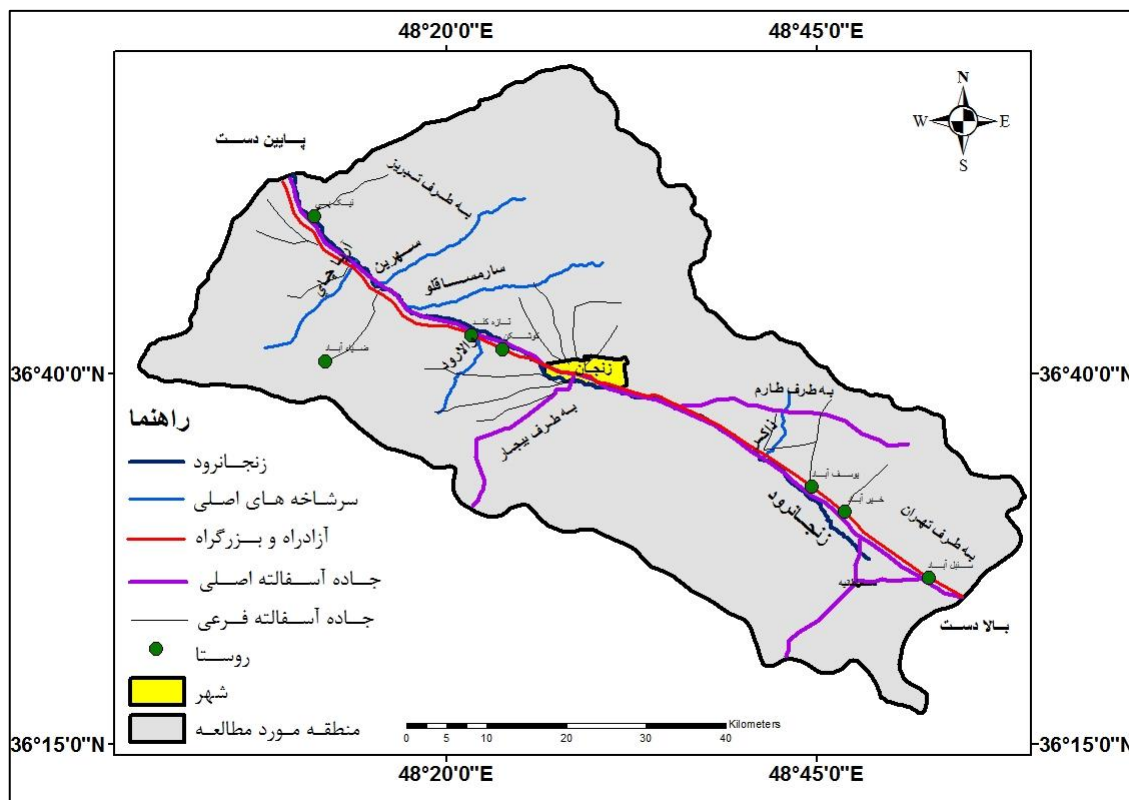


شکل ۱-۱- حوضه آبریز زنجانرود و منطقه مورد مطالعه

در قسمت اعظمی از این رودخانه، آب از حدود آذر تا اوایل خرداد، جریان داشته و سپس خشک می‌شود. در اواخر فصل بهار نیز، میزان جریان سطحی بسیار کاهش می‌یابد و حدود ۲۵ کیلومتری غرب زنجان، آب در نقاط بالادست رودخانه به جهت استفاده از آن، خشک می‌شود. شیب رودخانه در محل سرچشمه ۵ در هزار می‌باشد و در انتهای مسیر به ۳ در هزار کاهش می‌یابد. عرض بستر رودخانه در ابتدای مسیر حداکثر ۵ متر و در انتها ۵۰۰ متر است (شکری و پناهی، ۱۳۸۹).

۱-۶-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از زنجانرود (طول تقریبی ۴۵ کیلومتر) است که در بین دو سرشاخه ذاکر با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}34'46''$ عرض شمالی و $48^{\circ}42'00''$ طول شرقی در شرق شهرستان زنجان و سرشاخه سهرین با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}45'31''$ عرض شمالی و $48^{\circ}15'39''$ طول شرقی در غرب شهرستان واقع شده است. استان زنجان محل عبور و تلاقی محورهای ارتباطی بین منطقه‌ای و ملی می‌باشد. این استان به دلیل عبور جاده ترانزیتی تهران- تبریز- جلفا و بازرگان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فاصله تهران تا زنجان ۳۲۴ کیلومتر است که از شهرهای کرج، قزوین، تاکستان، ابهر و خرمدره می‌گذرد. در شکل ۱-۲، راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز زنجانرود، نشان داده شده است. راه دسترسی به محدوده مطالعاتی، از طریق جاده آسفالتی اصلی و بزرگراه تهران- زنجان و زنجان- تبریز، که به موازات رودخانه زنجانرود قرار گرفته است، صورت می‌پذیرد. جاده‌های آسفالتی فرعی، راه ارتباطی روستاهای پر جمعیت اطراف، به رودخانه زنجانرود می‌باشند. از ذکر راه‌های ارتباطی روستایی دیگر، به دلیل کم اهمیت بودن آن‌ها، صرف‌نظر شده است. به دلیل وجود راه‌های ارتباطی متعدد در اطراف رودخانه زنجانرود، به‌ویژه ترافیک حمل‌ونقل در جاده قدیم و آزادراه تهران- تبریز به موازات زنجانرود، احتمال آلودگی آب و رسوب این رودخانه به برخی از فلزات سنگین وجود دارد که در فصول آینده بیشتر مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۱-۲- منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

شایان ذکر می‌باشد که در مسیر سرشاخه سهرین، قبل از ورود به زنجانرود، سد تهم احداث شده است، تا آب سرشاخه سهرین در مخزن سد ذخیره شود و جهت آشامیدن و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. لذا سرشاخه سهرین به‌طور مستقیم و از سطح زمین تغذیه کننده رودخانه زنجانرود نمی‌باشد. آب از سرشاخه ذاکر نیز در مواقع سیلابی وارد رودخانه زنجانرود می‌شود و با توجه به اینکه نمونه‌برداری در پایان فصل خشک (آبان ماه) صورت گرفته است، سرشاخه ذاکر نیز قبل از ورود به زنجانرود خشک بوده است.

۱-۶-۳- اقلیم منطقه

یکی از عوامل مهم در شناسایی ویژگی‌های منطقه، تحلیل و بررسی فاکتورهای هواشناسی و هیدرومتری می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در استان زنجان واقع شده و مسیر طی شده توسط رودخانه زنجانرود تقریباً، از شرق تا غرب شهرستان زنجان را شامل می‌شود. از این رو در ادامه به تشریح

آب‌وهوای استان زنجان پرداخته شده است.

الف- وضعیت بارندگی: بارندگی در استان زنجان، تحت تأثیر ارتفاع منطقه است. به طوری که در نواحی شمالی استان که هم‌مرز با استان گیلان بوده و از ارتفاع بیش‌تری برخوردار است، میزان ریزش باران سالانه ۱۰۰۰ میلی‌متر، در غرب استان و در دره‌ی قزل‌اوزن سفلی، که ارتفاع کمتری دارد، پایین‌تر است. میانگین بارندگی در یک دوره ۳۵ ساله، حدود ۲۹۰/۹ میلی‌متر در دشت و ۳۷۰/۵ میلی‌متر در ارتفاعات است (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹).

ب- دمای هوا: میزان متوسط درجه حرارت سالانه در یک دوره ۳۰ ساله محاسبه شده است. میانگین دمای سالیانه‌ی شهرستان زنجان ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد است (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹).

ج- وضعیت باد: باد غالب زنجان در اکثر ماه‌های سال از جهت غرب به شرق بوده و سرعت متوسط آن، ۱۱ کیلومتر در ساعت است (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹).

با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی استان زنجان، این استان دارای سه نوع آب و هوای کوهستانی، نیمه بیابانی (ادامه بخش شرقی دشت قزوین) و آب و هوای گرم و نیمه مرطوب (منطقه طارم) است. پوشش گیاهی استان، تابع میزان بارندگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا است. لذا مراتع استان از سه نوع ییلاقی، میان‌بند و بهاره قشلاقی است (آقاناتی و همکاران، ۱۳۸۰).

۱-۶-۴- کاربری اراضی منطقه

در شکل ۱-۳، نقشه کاربری اراضی اطراف زنجانرود (منطقه مورد مطالعه) آورده شده است.

۱-۶-۴-۱- مراکز صنعتی و تولیدی

به دلیل عبور رودخانه زنجانرود از داخل شهر زنجان، مراکز صنعتی و تولیدی تأثیر به‌سزایی بر کیفیت آب رودخانه دارند. مهم‌ترین مراکز صنعتی موجود در منطقه شامل: کارخانه سرب و روی زنجان، انبار

شرکت نفت، سامان شیمی، شرکت پالایش روغن‌های صنعتی، شرکت تجهیز نیروی زنگان، شمش‌سازان، روی‌سازان، شرکت شیر پاستوریزه پگاه زنجان، شرکت پارس سوئیچ، کارخانه ایران ترانسفو، شهرک صنعتی علی‌آباد، شهرک صنعتی شماره ۱، بیمارستان‌ها، قالیشویی‌ها، کارواش‌ها و ... می‌باشند (واحدپور، ۱۳۸۹).

۱-۶-۴-۲- مناطق شهری و روستایی

در حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه، شهر سلطانیه، شهر زنجان و حدود ۱۶۱ روستا استقرار دارند. شهر زنجان در فاصله ۴۰ کیلومتری از سرچشمه رودخانه زنجانرود واقع شده است. شهر زنجان با جمعیت ۶۷۵۳/۸۲ نفر در کیلومتر مربع، پر جمعیت‌ترین شهر حوضه می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱) و برای دفع فاضلاب‌های خانگی در آن، از چاه‌های جذبی و رودخانه استفاده می‌شود. فاضلاب‌های شهری که به رودخانه زنجانرود تخلیه می‌شوند شامل پساب جوی‌های شهری، فاضلاب خانگی مناطق قدیمی شهر، پساب اماکن عمومی و رواناب‌های شهری می‌باشند.

در حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه پساب روستاهای بناب، دیزج، سایان، کوشکن، والارود، ینگجه، امین آباد و ... مستقیماً وارد رودخانه می‌شود (واحدپور، ۱۳۸۹). گاهی به همراه پساب، فاضلاب طولیله‌ها و یا گاوداری‌ها نیز وارد رودخانه می‌شود. مقدار این فاضلاب کم بوده ولی می‌تواند میزان بالایی از مواد آلی را وارد رودخانه نماید.

۱-۶-۴-۳- اراضی کشاورزی

وسعت اراضی کشاورزی حوضه آبریز زنجانرود ۳۲۳۹۵ هکتار می‌باشد. آب خروجی از اراضی کشاورزی، حاوی مواد محلول و معلق، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، می‌باشد، که وارد رودخانه می‌شود و سبب آلودگی منابع آبی می‌گردد (واحدپور، ۱۳۸۹).

۱-۶-۴-۴- معدن

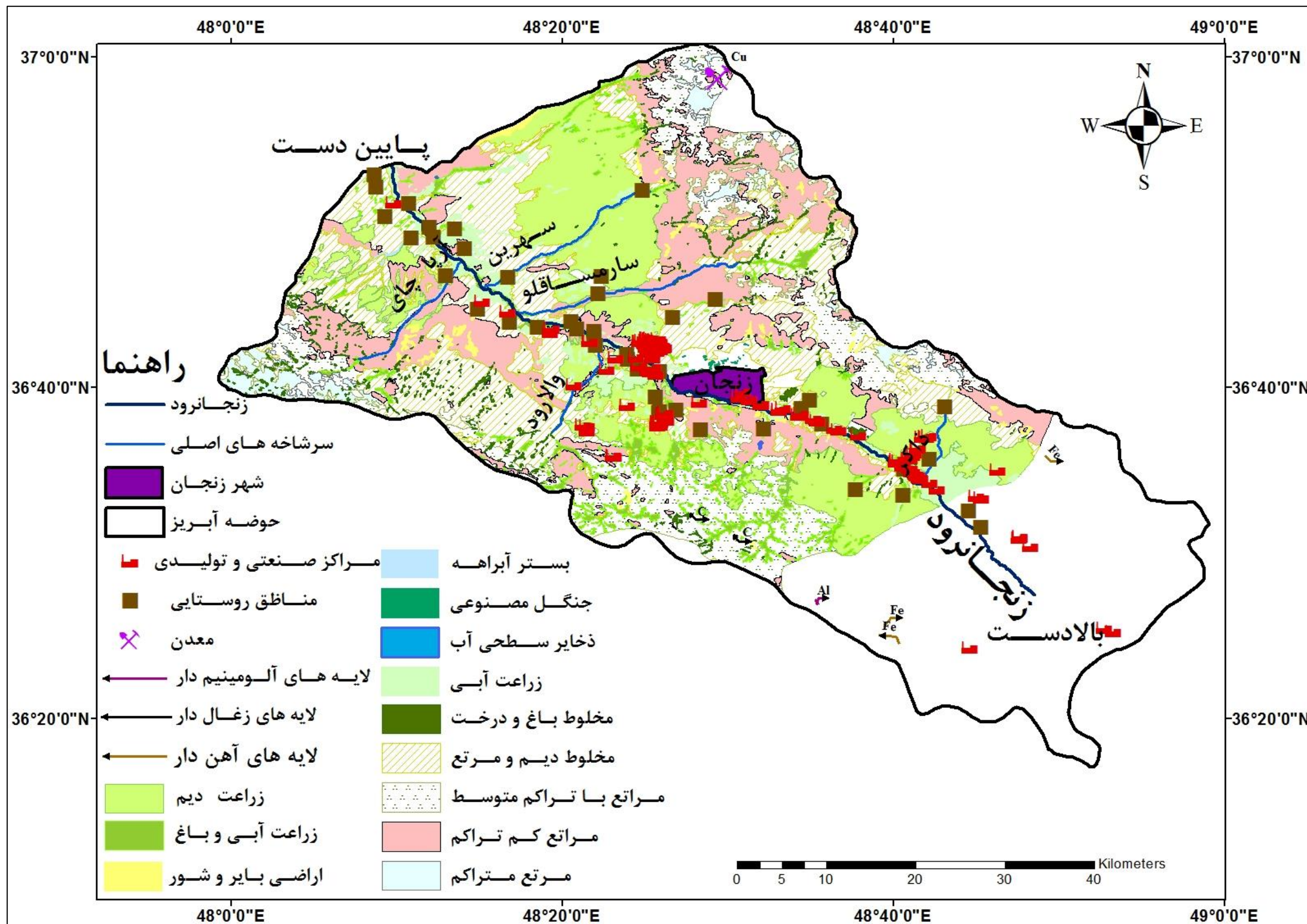
با توجه به معادن موجود، استان زنجان یک منطقه صنعتی محسوب می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه کانسارهای آلومینیوم و آهن، معادن آهن، معدن مس، همچنین لایه‌های زغال‌دار در سازند شمشک مشاهده می‌شوند.

کانسار آلومینیوم در ۲۴ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان زنجان واقع شده است. لایه‌های زغال‌دار سازند شمشک در ۱۷ کیلومتری جنوب شهرستان زنجان قرار گرفته‌اند. معدن مس ماری در ۳۵ کیلومتری شمال زنجان واقع شده است (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹). این معدن به‌صورت غیرفعال بوده و در ناحیه کوهستانی با پوشش گیاهی پراکنده قرار گرفته است. سنگ‌های ناحیه در سازند کرج با سن ائوسن رخنمون داشته و کانسار درون سنگ‌های آذرآواری و آندزیت تشکیل شده است.

۱-۷- ساختار پایان‌نامه

سازمان‌بندی گزارش تحقیق حاضر به ترتیب زیر، در پایان‌نامه آورده شده است:

- فصل اول: کلیات
- فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین
- فصل سوم: زمین‌شناسی منطقه
- فصل چهارم: مواد و روش‌ها
- فصل پنجم: کیفیت آب و رسوب
- فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات



شکل ۱-۳- کاربری اراضی منطقه

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

زمین‌شناسی زیست‌محیطی علمی است که به رابطه بین شرایط زمین‌شناسی و محیط‌زیست انسان می‌پردازد. انسان از بدو پیدایش، از شرایط و حوادث طبیعی تأثیر می‌پذیرد و بالعکس، انسان نیز مشابه یک فرایند طبیعی، به‌طور دائم در حال تغییر دادن محیط اطراف خود است و این تغییرات سبب بروز خطرات زمین‌شناسی و آلودگی زیست‌محیطی می‌گردد. از این رو، با برنامه‌ریزی مناسب، می‌توان اثرات ناشی از آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش داد و یا کنترل نمود (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸).

در میان منابع آبی، رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین سیستم‌های طبیعی هستند که موجب تضمین زندگی و حیات جانداران می‌شوند. در طی قرن‌ها انسان بدون توجه به عملکرد اکوسیستم رودخانه‌ها از آن‌ها استفاده می‌نموده است. پیشرفت علم و صنعت، احداث سدها و آبگیرهای بزرگ، بهره‌برداری از منابع حیاتی رودخانه‌ها و همچنین استفاده از آن‌ها برای دفع زباله‌ها، کیفیت این منابع آبی با اهمیت را تغییر داده است (Padmalal et al., 2008).

۲-۲- ارزیابی آلودگی رودخانه‌ها

عوامل آلودگی رودخانه‌ها به سه دسته فیزیکی (دما و ذرات معلق)، شیمیایی (فاضلاب‌ها و باران‌های اسیدی) و بیولوژیکی (انواع باکتری‌ها و ویروس‌ها، باقیمانده پیکر جانوران و گیاهان و فعالیت‌های زیستی موجودات آبی)، تقسیم می‌شوند. دو نوع منبع آلاینده، نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای وجود دارد. در منبع نقطه‌ای، مواد آلاینده از یک محل مشخص با دبی قابل اندازه‌گیری وارد رودخانه می‌شوند ولی در منبع غیرنقطه‌ای، مواد آلاینده از یک منطقه بسیار وسیع و یا چندین منبع نقطه‌ای وارد رودخانه می‌شوند (ملک‌سیاه‌چشم، ۱۳۸۸).

شیمی رودخانه و رسوبات در حوضه‌ی آبریز، به فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی که خود

تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه، ویژگی‌های زیستی و اقلیم و فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد، وابسته است. ترکیب شیمیایی آب‌های طبیعی توسط عواملی مانند واکنش بین آب و سنگ و رسوب، نوع سنگ‌های تشکیل دهنده حوضه آبریز و ویژگی‌هایی نظیر دمای محیط و غیره کنترل می‌شود. علاوه بر فرآیندهای طبیعی، فعالیت‌های کشاورزی، شهرنشینی و صنعت در شیمی آب‌های حوضه آبریز تأثیر دارد. فعالیت‌های مذکور باعث ورود و آلوده شدن رودخانه‌ها با مواد حاصل از تجزیه مواد معدنی می‌شود (Kim et al, 2007).

عبدی نژاد (۱۳۹۰)، در دشت ابهر ۳ منبع آلاینده خانگی، کشاورزی و صنعتی برای منابع آب دشت شناسایی نمود. دشت ابهر در شرق استان زنجان واقع شده است. در بررسی انجام شده معلوم شد که سفره موجود در منطقه، از نوع آزاد بوده و تاکنون لایه نفوذناپذیری در آن شناسایی نشده است. فاضلاب‌های انسانی و خانگی شهرها و روستاهای حوضه آبریز، از طریق چاه‌های جذبی دفع می‌شود. نتایج حاصل از بررسی کیفیت منابع آب دشت ابهر نشان داد که آلاینده‌های کشاورزی شامل کودها و سموم مختلف بالاخص کودهای اوره و نیترات آمونیوم به علت قابلیت انحلال زیاد، بیش‌ترین سهم را در آلوده کردن آب‌های جاری منطقه دارند.

۲-۱-۲- فلزات سنگین

فلزهای سنگین، فلزهایی با عدد اتمی ۲۰ و یا بیش از ۲۰ می‌باشند که سبب ایجاد نگرانی در محیط‌زیست هستند و در سمت چپ جدول تناوبی قرار دارند (ایبای، ۱۳۹۰). چرخه‌های طبیعی، منشأ تمام فلزات در زمین‌کره می‌باشد. زمین‌کره به بخش جامد زمین گفته می‌شود که در چارچوب زمان زمین‌شناختی، محل مصرف فلزها نیز، بوده است. فلزات سنگین می‌توانند توسط فرایندهای آتشفشانی، هوازدگی و زیست‌شناختی وارد محیط‌زیست شوند. فلزها، توسط سیال‌های ماگمایی و هوازدگی، دفع توسط گیاهان و جانوران و بارش خشک و تر وارد منابع آبی می‌گردند. انتقال و زمان ماندگاری فلزها در منابع آبی، تابع pH، پتانسیل اکسایش- کاهش و حضور جاذب‌هایی چون کانی‌های

رسی و اکسی هیدروکسیدها می باشد (ایبای، ۱۳۹۰).

تمام فلزات سنگین در چرخه طبیعی وجود دارند ولی ورودی‌های انسان‌زاد و چرخه‌های انسان‌زاد در افزایش غلظت این فلزات در محیط‌زیست، مؤثر هستند. فعالیت‌های معدنکاری، کشاورزی، به هم‌ریختگی سطح بر اثر انجام پروژه‌های عمرانی، دفع پسماند، سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی باعث رها شدن فلزات به محیط‌زیست می‌شوند. این فلزها از طریق تنفس و بلع، وارد بدن انسان و دیگر جانداران می‌گردند و در غلظت‌های معینی برای سلامتی خطرناک هستند (ایبای، ۱۳۹۰).

رودخانه‌ها، فلزهای سنگین را به صورت محلول و غیرمحلول حمل می‌کنند. فلزهای سنگین نمی‌توانند برای مدت زمان طولانی به صورت محلول در آب باقی بمانند، این فلزات به‌طور عمده معلق بوده (Ebrahimpour and Mushrifah, 2008) و توسط رسوبات معلق و رسوبات بستر جذب شده، در نتیجه از فاز محلول به فاز جامد منتقل می‌شوند (Herunt, 1995). همچنین ذرات رسوب، در بعضی از شرایط محیطی، ممکن است فلزهای سنگین را آزاد نمایند و تبدیل به یک منبع ثانویه آلودگی شوند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷). به همین خاطر توجه به رسوبات، به عنوان یکی از مخازن نهایی طبیعی فلزهای سنگین و تخلیه آن‌ها به محیط ضروری است. رسوبات نیز می‌توانند سلامت انسان و اکوسیستم رودخانه‌ای را تهدید کنند و به همین خاطر کیفیت پایین رسوبات مانع از دستیابی به یک وضعیت اکولوژیکی و شیمیایی خوب در آب‌های سطحی می‌گردد (Byrne and Wood, 2010).

در اکثر مواقع، فلزهای محلول در آب، توسط رسوبات ریزدانه معلق در آب، مانند رس‌ها و سیلت‌ها که سطح ویژه بالایی دارند، جذب می‌شوند. فلزهای سنگین، با بسیاری از قسمت‌های جامد رسوب مثل کانی‌های رسی، کربنات‌ها، اکسیدهای آهن و منیزیم، مواد آلی^۱ و ... پیوند برقرار می‌کنند که نوع پیوند، تعیین کننده پتانسیل تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری این فلزها می‌باشد (Byrne and Wood,)

1- Organic mater

(2010). در واقع رسوبات به‌عنوان عامل حمل‌کننده و انتشار دهنده‌ی آلاینده‌ها در محیط‌زیست شناخته شده‌اند.

ارزیابی غلظت و آلودگی آب و رسوبات رودخانه‌ها به فلزات سنگین هدف بسیاری از تحقیقات در ایران جهان بوده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیم، سرب و مواد آلی در آب و رسوبات سفیدرود با نگرشی بر منشأ زمین‌ساختاری آن‌ها توسط اقبالی شمس‌آباد و همکاران در سال ۱۳۸۹ صورت گرفت. در این مطالعه، برای ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی رودخانه سفیدرود و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین کروم، کادمیم و سرب، از ۵ ایستگاه در طول مسیر رودخانه در فصول پاییز و زمستان ۱۳۸۸ نمونه‌برداری انجام شد. نتایج نشان داد که رسوبات رودخانه به کادمیم و سرب آلوده بوده که علت این آلودگی، فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی ذکر شد. همچنین این تحقیق معلوم ساخت که ساختارهای زمین‌شناسی واقع شده در بالادست و میان‌دست حوضه آبریز رودخانه، نقش بارزی در ورود فلزات مذکور به آب و رسوبات رودخانه سفیدرود ندارند. توزیع آبراهه‌های فرعی و اصلی موجود در حوضه آبریز سفیدرود، به گونه‌ای است که رواناب‌های سطحی از جهت‌های مختلف به سمت رودخانه سرازیر می‌شوند، بنابراین هرگونه آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و روستایی واقع در اطراف سفیدرود، به رودخانه هدایت می‌شوند.

به منظور بررسی وضعیت آلاینده‌های فلزی در آب و رسوبات رودخانه جاجرود در استان تهران توسط زیبایی و همکاران در سال ۱۳۹۱، از ۱۰ ایستگاه بر روی رودخانه جاجرود نمونه‌برداری انجام شد. نتایج تجزیه نمونه‌های آب رودخانه جاجرود نشان داد که غلظت عناصر Cu, Cd, Pb, Zn و بسیاری از عناصر دیگر در تمامی ایستگاه‌ها، زیر حد آشکارسازی دستگاه بوده است. نتایج تجزیه رسوبات این رودخانه نشان داد که رسوبات رودخانه بیش‌تر از نوع ماسه‌ای و رسی است که می‌توانند سهم بالایی در جذب فلزی داشته باشند. در این رودخانه آلودگی عناصری مانند آرسنیک سرب، آهن، کادمیم و روی مشخص گردید.

آلودگی رسوبات رودخانه پو^۱ در کشور ایتالیا، به فلزات سنگین، با استفاده از شاخص‌های مختلف ارزیابی کیفیت رسوب، توسط فارکاس و همکاران (۲۰۰۷)، مورد بررسی قرار گرفت. در ارزیابی کیفیت رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه، غلظت فلزات انتخابی در رسوبات، با منابع منطقه‌ای موجود و همچنین با دستورالعمل‌های موجود در ارتباط با کیفیت رسوب (Sediment Quality Guidelines)، مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از SQGs در ارزیابی آلودگی نمونه‌های رسوب بسیار سودمند است. همچنین این تحقیق معلوم ساخت که رسوبات نسبت به Cd دارای آلودگی متوسط، نسبت به Zn و Pb غیرآلوده و در برخی نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط می‌باشد. درحالی‌که رسوبات سرشاخه لامبرو نسبت به Cd آلودگی متوسط تا شدید و نسبت به Zn و Pb آلودگی متوسط را نشان دادند. مقایسه داده‌ها با نتایج مطالعات گذشته در منطقه، نشان داد که یک افزایش تدریجی در آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه، نسبت به فلزات سنگین کادمیم، سرب و روی در ۱۰ سال گذشته وجود داشته است (Farkas et al., 2007).

آکجای^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۳ نیز، مطالعه‌ای بر روی آب رودخانه گدیز^۳ و بیوک مندرس^۴ انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که آب رودخانه گدیز به فلزات سرب، کروم و منگنز و رودخانه بیوک مندرس به فلزات کبالت، منگنز و روی آلوده می‌باشد. این محققین فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تخلیه زباله‌های خانگی را به عنوان منشأ آلودگی تشخیص دادند (Akacay et al., 2003).

۲-۲-۲- پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب

کیفیت آب و رسوبات رودخانه‌ها در بسیاری از تحقیقات با ارزیابی پارامترهای فیزیکوشیمیایی (سختی، هدایت الکتریکی، قلیائیت، ذرات جامد محلول، کدورت) آب و رسوبات این منابع آبی صورت پذیرفته است که در ادامه نتایج برخی از این تحقیقات آورده شده است.

رحمانی در سال ۱۳۸۶ جهت تعیین کیفیت آب رودخانه‌های دشت همدان- بهار، مطالعه‌ای انجام

1- River Po
2- Akcay
3- Gediz
4- Buyuk Menderes

داد. در این مطالعه از ۱۳ ایستگاه به‌طور ماهیانه و به مدت ۱ سال از تیر ماه سال ۸۵ تا خرداد ماه سال ۸۶ نمونه‌برداری انجام پذیرفت. مقادیر پارامترهای EC, pH و غلظت یون‌های Ca^{2+} , Mg^{+} , Na^{+} برای تمام نمونه‌های برداشت شده، اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای SAR و EC در ایستگاه‌های انتخابی، نشان داد که آلاینده‌ها به تدریج از بالادست به سمت پایین دست افزایش می‌یابند و در نتیجه‌ی آن، کیفیت آب رودخانه، به سمت پایین دست و منطقه میانی کاهش می‌یابد. منشأ TDS در آب، فاضلاب‌ها، روان آب‌های شهری و فاضلاب‌های صنعتی معلوم شد. کیفیت آب دشت از نظر کشاورزی در کلاس خوب و متوسط قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن محدودیت منابع آب سطحی در دشت همدان - بهار و به منظور استفاده بهینه و حفظ و افزایش کیفیت آب رودخانه‌ها جهت مصارف کشاورزی بایستی با برنامه‌ریزی‌های دراز مدت از ورود آلاینده‌های مختلف نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای موجود در مسیر جریان رودخانه به خصوص آلاینده‌های ناشی از فاضلاب‌های تصفیه نشده صنعتی و شهری به درون آن جلوگیری نمود.

گلمغانی‌ابراهیمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی کیفیت آب‌های سطحی ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده استان اردبیل جهت مصارف شرب پرداختند. جهت انجام این مطالعه، پارامترهای فیزیکوشیمیایی مؤثر بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب در ۳۷ ایستگاه هیدرومتری به مدت ۱ سال آبی (۸۸-۸۹) تعیین شد. این پارامترها شامل EC, TDS, pH، کدورت، سختی کل، سختی دائم، سختی باقیمانده، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترها، با استانداردهای آب شرب مقایسه گردید، نمودار شولر جهت شناخت وضعیت کیفی آب منطقه مورد مطالعه از نظر شرب رسم شد. مشخص شد که غلظت پارامترهای اندازه‌گیری شده پایین تر از حد مجاز استانداردهای آب شرب می‌باشد و کیفیت آب ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه جهت مصارف شرب، مطلوب است.

میرمشتاقی و خالدیان در سال ۱۳۹۰، از دو ایستگاه پل آستانه و سد منجیل (ورودی سفیدرود)

در طی ۸ ماه از بهمن ماه ۸۸ تا آبان ماه ۸۹ به صورت ماهیانه نمونه برداری کردند. در این مطالعه، شاخص‌های کیفی مانند اکسیژن محلول در آب، دما، کدورت، pH، نیترات و آمونیوم اندازه‌گیری شد. تفسیر نتایج نشان داد که آبهای سطحی منطقه مورد مطالعه بر اساس استانداردهای محیط‌زیست WHO و EPA آلوده به مواد آلی ناشی از کودهای نیترات، فسفات و آمونیوم می‌باشد. کدورت آب در شهریور ماه به علت باز نمودن دریچه انتهایی و در آبان ماه به علت ورود فاضلاب‌ها و افزایش میکروارگانیسم‌ها و بارش‌های سیلابی، افزایش یافته بود. pH رودخانه سفیدرود طی ماه‌های شهریور، مهر و آبان در محدوده خنثی قرار داشت و در بهمن، اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد کاملاً قلیایی و بی‌کربناته بود. میزان نیترات در تمام ماه‌های سال، به جز تیر ماه به علت آبیاری شالیزارها و ورود رواناب آن‌ها به رودخانه، در ایستگاه پل آستانه کمتر از ایستگاه سد منجیل بود. به طور کلی بررسی روند تغییرات زمانی شاخص‌های کیفی آب رودخانه سفیدرود در نقاط مورد مطالعه، نشان داد که آلودگی در ایستگاه پل آستانه، به دلیل خودپالایی رودخانه، کمتر از ایستگاه سد منجیل بود.

زیبایی و همکاران در سال ۱۳۹۱، نمودار پایپر برای نمونه‌های آب برداشت شده از ایستگاه‌های رودخانه جاجرود در تهران را ترسیم نمودند. نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه نشان داد که، تیپ آب در تمامی نمونه‌های آب رودخانه جاجرود بی‌کربنات کلسیک است.

بشیر^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶، به بررسی هیدروژئوشیمی رودخانه ویندر^۲ و سرشاخه‌های مجاور آن، در بلوچستان، واقع در کشور پاکستان پرداختند. نمودار پایپر ترسیم شده نشان داد که ۱۸ نمونه آب برداشت شده از رودخانه و سرشاخه‌های مجاور آن، از لحاظ کاتیونی، سدیم‌دار با ترکیبی از مواد قلیایی (Na+K) است. مثلث آنیون‌ها نشان داد که اکثر نمونه‌ها از نوع رخساره آمیخته آنیونی است و یک سوم نمونه‌ها دارای رخساره کلردار می‌باشند. نمودار گیبس نشان داد که عامل غالب در کنترل

1- Bashir
2- Winder

شیمی پهنه‌های آبی منطقه مورد مطالعه، هوازگی سنگ‌ها و فرایند تبخیر است. نمودارهای استیف نیز نشان داد که در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، غلظت NaCl بالا، غلظت $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ متوسط و غلظت MgSO_4 پایین است. به جز چند نمونه، که در آن‌ها غلظت MgSO_4 بیش از غلظت $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ بود. این امر احتمالاً ناشی از هوازگی افیولیت‌های موجود در منطقه می‌باشد. یکی از ابزارهای مهم در ارزیابی مناسب بودن آب آبیاری، نسبت جذب سدیم (SAR^1) است. در ۱۸ نمونه برداشت شده از رودخانه ویندر، محدوده مقادیر SAR محاسبه شده، ۲/۳۵ تا ۱۰/۶۸ با میانگین ۵/۰۶ بود. مقادیر SAR نشان می‌دهند که آب منطقه مورد مطالعه جهت اهداف آبیاری مناسب و بسیار مناسب است. نمونه‌های مورد مطالعه دارای شوری متوسط هستند. (Bashir et al., 2007).

۲-۲-۳- شاخص‌های ژئوشیمیایی

شاخص‌های ژئوشیمیایی برای ارزیابی منشأ و سطح آلودگی در رسوبات به کار می‌روند. بابائی و خداپرست در سال ۱۳۸۹ به بررسی غنی‌شدگی و توزیع فلزات سنگین Pb, Zn, Cd, Cu در رسوبات سطحی سواحل بندر انزلی دریای خزر پرداختند. نمونه‌برداری در طی سه فصل متوالی (تابستان، پاییز و زمستان) و از اعماق مختلف صورت گرفت. مقایسه روند تغییر فلزات سنگین بر حسب فاکتور غنی‌شدگی نشان می‌دهد که مقدار فاکتور غنی‌شدگی سرب و کادمیم با افزایش عمق، کاهش می‌یابد و در نواحی ساحلی مقدار آلودگی بیش‌تر است. دلیل این امر ورود پساب‌های مختلف صنعتی، کشاورزی و شهری، تردد کشتی‌های تجاری و صنعتی، قایق‌های مسافرتی و خروج آب‌های آلوده از تالاب انزلی است. ترتیب غلظت فلزات سنگین بر مبنای فاکتور غنی‌شدگی در این مطالعه به ترتیب عبارت است از: $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cu}$.

تیموری در سال ۱۳۹۱ به ارزیابی کیفیت آب و رسوبات رودخانه گرگانرود در استان گلستان پرداخت. در این مطالعه ۳۰ نمونه آب، ۶ نمونه فاضلاب و ۱۰ نمونه رسوب سطحی برداشت شد.

1- Sodium Absorption Ratio

ضریب غنی‌شدگی مربوط به عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل، کروم، سرب، روی و منگنز محاسبه شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که نمونه‌های رسوب نسبت به عناصر آرسنیک و کادمیم به ترتیب دارای غنی‌شدگی قابل توجه و غنی‌شدگی متوسط بودند. عناصر نیکل، کروم، سرب، روی و منگنز غنی‌شدگی کمی در رسوبات داشتند. متوسط ضریب غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های رسوب به صورت $Cu > Ni > Mn > Fe > Cr > Pb > Zn > Cd > As$ کاهش می‌یافت.

ارزیابی ژئوشیمی غلظت فلزات سنگین در رسوبات دو رودخانه مانوری و تین واقع در بمبئی هند، توسط فرناندز^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۲، انجام شد. برای این منظور، از رسوبات پایاب در رودخانه‌های مانوری و تین نمونه‌برداری شد. فلزهای انتخابی در این مطالعه شامل Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Cr و V بودند. نتایج حاصل از EF نشان داد که، رسوبات رودخانه مانوری نسبت به فلزات مس و سرب دارای غنی‌شدگی می‌باشند و رسوبات رودخانه تین نیز نسبت به منگنز غنی شده‌اند. وجود مقادیر بالای EF ناشی از منابع انسان‌زاد مانند توسعه‌های شهری و صنعتی اخیر در اطراف هر دو رودخانه بود. شاخص زمین‌انباشت محاسبه شده، بیانگر وجود عدم آلودگی نسبت به فلزات Fe, Mn, Co, Ni, Zn, Cr و در رسوبات هر دو رودخانه بود. با توجه به رده‌بندی شاخص زمین‌انباشت، رسوبات در پایاب رودخانه تین، نسبت به منگنز و رسوبات در پایاب رودخانه مانوری، نسبت به سرب و روی، دارای آلودگی متوسط بودند. درجه آلودگی^۲ برای فلزات سنگین انتخابی در رسوبات هر دو رودخانه، آلودگی قابل توجهی را نشان داد. در این مطالعه، شاخص بار آلودگی^۳ در رسوبات سطحی رودخانه مانوری، بالا، در حالی که در رسوبات سطحی رودخانه تین، پایین بود. دلیل این امر می‌تواند نفوذ رواناب‌های کشاورزی، آلاینده‌های وارد شده از اتمسفر و منابع انسانی در اطراف رودخانه مانوری باشد (Fernandes et al., 2012).

1- Fernandes

2- Contamination Degree

3- Pollution Load Index

۲-۲-۴- آنالیزهای آماری

انجام آنالیزهای آماری (همبستگی، PCA و ...) کمک به‌سزایی در تفسیر نتایج به‌دست آمده از تحقیقات می‌کند.

جهت ارزیابی و بررسی همبستگی عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب در رودخانه کشکان واقع در استان لرستان، ۱۵ نمونه آب برداشت گردید. همبستگی مثبت و معنادار می‌تواند بیان‌کننده منشأ مشترک پارامترهایی باشد که دارای رابطه معنادار با یکدیگر می‌باشند. نتایج حاصل از همبستگی محاسبه شده در نمونه‌های آب، نشان داد که آلومینیوم با آهن، نیکل و کبالت دارای همبستگی بالا بوده و این امر بیانگر منشأ زمین‌زاد این عناصر بود. استرانسیم نیز با عناصر آرسنیک، سلنیوم و منیزیم دارای همبستگی مثبت و معنادار بود که می‌تواند به‌دلیل جایگزینی احتمالی استرانسیم با کلسیم و همراهی ژئوشیمیایی سلنیوم با گوگرد در رسوبات و انحلال‌پذیری این عناصر در محیط‌های قلیایی باشد. همبستگی مثبت و معنادار بین روی و سرب می‌تواند به‌دلیل ورود این عناصر، از منابع انسان‌زاد باشد. کروم با آهن و نیکل همبستگی مثبت نشان داد. وجود آهن و نیکل در سازندهای آواری منطقه و وجود کروم در سنگ‌های مادر سازندهای آواری و همچنین جذب کروم توسط هیدروکسیدهای آلومینیوم و آهن، هم‌منشأ بودن این عناصر را تأیید کرد (قاسم‌زاده، ۱۳۹۰).

رستمی در سال ۱۳۹۱، به تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) برای ۷ فلز سنگین (نیکل، کروم، روی، مس، سرب، کادمیم و آرسنیک)، در رسوبات بستر رودخانه سیاهرود در استان مازندران پرداخت. به‌طور کلی متغیرهایی که در یک مؤلفه اصلی قرار گرفته‌اند از لحاظ آماری دارای صفات یکسان و از لحاظ ژئوشیمیایی دارای منشأ یا رفتار یکسان (مشابه) هستند. مؤلفه اول با داشتن بارگذاری‌های بالایی از فلزاتی چون نیکل، کروم، روی و مس مبین منشأ زمین‌زاد این عناصر در رسوبات رودخانه سیاهرود بود. مؤلفه دوم که در آن سرب و کادمیم دارای بارگذاری‌های بالایی هستند، احتمالاً منشأ متفاوت با فلزات مؤلفه اول داشته و می‌توان برای آنها یک منشأ غیرطبیعی یا انسان‌زاد (مثلاً

فاضلاب‌ها یا رواناب‌های شهری) در نظر گرفت. قرارگیری آرسنیک در دو مؤلفه اصلی اول و دوم دلایل متفاوتی داشت. یکی از این دلایل احتمالاً منشأ دوگانه این عنصر در رسوبات رودخانه سیاهرود بود.

تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) فلزات (Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Mg, Ca, Fe, Al) در رسوبات رودخانه پیرل^۱ واقع در کشور چین توسط لیبو و همکاران در سال ۲۰۰۳ نشان داد که عناصر Co, Cu, Ni و Zn با هم در مؤلفه اول قرار گرفته بودند. دو عنصر سرب و آلومینیوم در مؤلفه دوم قرار داشتند. نتایج به دست آمده از دو مؤلفه اول و دوم با همبستگی پیرسون بین عناصر مطابقت داشت و این امر نشان دهنده منشأ متفاوت عناصر مؤلفه اول با عناصر مؤلفه دوم بود. مؤلفه سوم شامل عناصر منیزیم و کلسیم بود که در اثر فرایندهای رسوبگذاری وارد محیط رسوبی شده بودند و دارای الگوی مجزا از سایر عناصر موجود در PCA بودند (Liu et al., 2003).

۳۵ نمونه رسوب سطحی از پایاب ۵ رودخانه بزرگ (Brahmaputra, Ganges, Narmada, Tapti,) در شبه جزیره هند جمع‌آوری شد. عناصر مورد بررسی در این پژوهش شامل Al, Ca, K, Fe, Ti, Mg, Na, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Ni, P, V بودند. همبستگی مثبت بین منیزیم و سایر عناصر انتقال یافته (Fe, Cr, P, Cu, Ni, Co, V) معلوم ساخت که منشأ این عناصر از رسوبات کلریت و سرپانتین بود. کلریت و سرپانتین موجود در رسوبات در اثر هوازدگی سنگ‌های مادر غنی از الیوین، پیروکسن و اسپینل، در منطقه مورد مطالعه، ایجاد شده بودند. همبستگی منفی بین Ca و Al به دلیل وجود CaO در کربنات‌ها بود که درصد مهمی از CaO موجود در کربنات‌ها از سیلیکات‌های منطقه سرچشمه گرفته بودند. کربنات موجود در رسوبات سطحی سبب رقیق‌شدگی این گروه از عناصر شده بود که در اثر عمل ساییش و جریان آب، وارد رسوبات شده بودند. در مطالعه حاضر، دلیل وابستگی ضعیف سدیم و باریت با دیگر عناصر (Al, Mg, Ca, Ti, K, Fe, Cr, Cu, Ni, Co, V و Ga)، منشأ گرفتن اکسید سدیم و باریت از فازهای کوچک دارای این عناصر در

1- Pearl

محیط رسوبی منطقه مورد مطالعه بود (Alagarsamy and Zhang, 2010).

طبق مطالعات انجام شده در زمینه‌ی ارزیابی آلودگی رودخانه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب و رسوبات رودخانه‌ها می‌تواند تحت تأثیر منابع بشرزاد و همچنین منابع زمین‌زاد قرار گیرد. رسوبات دانه ریز (ماسه‌ای و رسی)، توانایی بیش‌تری در جذب فلزات سنگین دارند. نوع کاربری اراضی منطقه، سهم مهمی در کیفیت آب و رسوب رودخانه‌ها دارند. طول مسیری که رودخانه در آن جریان دارد، می‌تواند در آلودگی آب و رسوبات رودخانه‌ها، نقش مهمی داشته باشند. عوامل مختلف مانند هواردگی سنگ‌ها، تبخیر و ریزش‌های جوی می‌تواند در کنترل شیمی آب رودخانه و تعیین نوع تیپ و رخساره آن نقش داشته باشد. با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی و آنالیزهای آماری، می‌توان به منشأ و رفتار ژئوشیمیایی عناصر در منابع رسوبی و آبی پی‌برد.

۲-۳- مطالعات انجام شده در حوضه آبریز زنجانرود

در ادامه، به مطالعات موردی انجام شده در منطقه مورد مطالعه، پرداخته شده است تا با ایجاد یک دیدگاه کلی، بتوان اهداف پروژه حاضر را بهتر شناسایی و معلوم ساخت.

- عبدی در سال ۱۳۸۴، به جمع‌آوری و مطالعه منابع علمی و کاربردی موجود، در زمینه چگونگی بهره‌برداری از اراضی دشت زنجان، پرداخت. در این تحقیق با پیمایش صحرایی در منطقه، داده‌های جمع‌آوری شده را تصحیح و بازبینی نمود تا با طبیعت و واقعیت مطابقت داشته باشند. در نهایت به کمک داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده، نقشه کاربری اراضی دشت زنجان را تهیه و با انجام تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز، نتایج تحقیق را استخراج نمود. بررسی و شناخت کاربری اراضی دشت زنجان از نظر مسایل زمین‌شناختی، توسعه شهری و صنعتی، مشکلات زیست‌محیطی و بهره‌برداری از منابع آب و مشکلات کشاورزی دارای اهمیت بوده و کمک به‌سزایی در جهت طراحی و اجرای پروژه‌ها و طرح‌های اجرایی نمود.

- عبدی‌نژاد در سال ۱۳۸۹ به بررسی صنایع آلاینده منابع آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخت. در این راستا، اقدامات لازم جهت جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها و سوابق موجود، صورت گرفت. موقعیت مکانی و مشخصات سفره آب زیرزمینی در محیط GIS، پیاده شد. واحدها و مراکز صنعتی در دشت زنجان، شناسایی شدند و سپس نقشه این مراکز صنعتی در محیط GIS، تهیه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که مهم‌ترین و گسترده‌ترین سفره آب زیرزمینی موجود در داخل دشت زنجان، در پایین‌دست و محل قرارگیری مراکز صنعتی است و تأثیر واحدهای صنعتی بر میزان آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت زنجان، می‌تواند مهم و حیاتی باشد. چنانچه این مراکز صنعتی فاقد سیستم تصفیه و دفع پساب باشند، می‌توانند بار آلودگی بالایی را، وارد منابع آب موجود در دشت نمایند و به یک عامل تهدید کننده برای کیفیت منابع آب دشت، تبدیل شوند. با توجه به نتایج حاصل از تهیه نقشه‌ی وضعیت پراکندگی مکانی واحدها و مراکز صنعتی، صنایع مهم مؤثر بر آلودگی منابع آب دشت زنجان به تفکیک نوع صنعت و ترتیب اهمیت آن‌ها به صورت زیر مشخص گردید:

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| ۱- صنایع غذایی | ۵- صنایع شیمیایی و صنایع پلاستیک |
| ۲- صنایع فلزی | ۶- صنایع نساجی و پوشاک و چرم |
| ۳- صنایع کانی غیرفلزی | ۷- صنایع برق و الکترونیک |
| ۴- صنایع سلولوزی | ۸- صنایع یا واحدهای خدماتی |

با توجه به وجود امکانات و تأسیسات زیربنایی و قرارگیری مرکز استان (شهر زنجان) و رودخانه زنجانرود، در محدوده دشت زنجان، تراکم و تمرکز اصلی مراکز صنعتی در این دشت بوده و چون دشت زنجان دارای اقلیمی خشک تا نیمه خشک می‌باشد، همواره با مشکل کمبود آب مواجه است، از این‌رو؛ باید اقدامات مدیریتی برای بهره‌برداری و حفاظت از منابع آب دشت زنجان صورت گیرد.

- شکری و پناهی در سال ۱۳۸۹، با استفاده از نرم‌افزار GIS، به شبیه‌سازی کیفی زنجانرود پرداختند. در این تحقیق متوسط شرایط کیفی آب در مسیر اصلی رودخانه، در فصول مختلف از فروردین ماه سال ۱۳۸۶ تا فروردین ماه سال ۱۳۸۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نقشه توپوگرافی حوضه آبریز زنجانرود و بررسی موقعیت قرارگیری ایستگاه‌هایی که نشان دهنده محدوده تأثیر پذیری رودخانه از جریان‌های سطحی و پساب‌ها و منابع آلاینده در ایستگاه‌های سنجش کیفی، می‌باشد منابع عمده آلاینده زنجانرود را به صورت زیر دسته‌بندی نمودند:

۱- فاضلاب‌های شهری مانند چاه‌های جاذب جهت دفع فاضلاب، هدایت مستقیم فاضلاب ناشی از شست و شو و استحمام از طریق کانال‌ها و جوی‌های شهری به زنجانرود، شسته شدن مواد جامد و زباله‌های پراکنده در مناطق مسکونی توسط باران، سبب افزایش جامدات معلق در آب رودخانه می‌شود.

۲- فاضلاب‌های صنعتی شامل فاضلاب صنایع کوچک و بزرگ در کنار زنجانرود که مهم‌ترین آن‌ها شرکت شیر پاستوریزه، شهرک صنعتی روی و کشتارگاه دامی است. البته این صنایع مبادرت به اصلاح و تأسیس سیستم تصفیه فاضلاب نموده‌اند.

۳- فاضلاب‌های کشاورزی در اثر استفاده غیراصولی کشاورزان از سموم دفع آفات و کودهای شیمیایی فسفات و ازته از طریق نفوذ به آب‌های زیرزمینی و یا راه‌یابی زهاب ناشی از آبیاری، سبب آلودگی زنجانرود می‌گردند.

در تحقیق مذکور بر اساس نتایج حاصل از تحقیق و دیدگاه‌های حاصله در طول مطالعه، پیشنهادهایی برای تکمیل مطالعات ارائه شد.

۱- پایش کیفی رودخانه و سرشاخه‌های آن به صورت ماهانه

۲- انجام مطالعات مدیریت کیفی و زیست‌محیطی برای داشتن ساختار سازمانی مناسب جهت

حفاظت کیفی از آب رودخانه

۳- اجرای طرح‌های مدیریت فاضلاب در روستاها جهت جلوگیری از تخلیه فاضلاب در سطح روستا و آبراهه‌ها

۴- استفاده از سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شهری

۵- نظارت بر چگونگی استقرار کاربری‌های مختلف در اطراف منابع آب و کنترل منابع آلاینده صنعتی و مواد معلق رسوبی با انجام برنامه‌ریزی‌های محدودیتی

۶- بهره‌برداری از پساب مراکز یا کاربری‌های مختلف و جلوگیری از رهاسازی پساب‌ها در رودخانه

- در بررسی پایش رودخانه‌های مهم استان زنجان، شاه‌قلی و آذری (۱۳۹۰)، به بررسی کیفیت آب رودخانه زنجانرود پرداختند. در این بررسی ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه زنجانرود بر اساس ورود آلاینده‌ها، انتخاب شدند. پارامترهای شیمیایی چون، EC، pH، مقدار کل جامدات محلول، قلیائیت، سولفات، کلر، نترات و غلظت عناصر سنگین سرب، روی و کادمیم اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل نشان داد که pH نمونه‌های آب در محدوده ۵/۸ تا ۷/۸ متغیر است. مقدار هدایت الکتریکی در طول مسیر، دارای افزایش نسبی است. مقدار TDS به موازات تغییرات EC در نوسان است. قلیائیت کل که ناشی از یون‌های کربنات و بی‌کربنات است در طول رودخانه و در جهت حرکت آب به‌طور آشکار افزایش و بعد از ایستگاه سوم (زنجانرود- امین‌آباد)، کاهش چشمگیر می‌یابد. روند کلی تغییرات سولفات در مسیر افزایشی است. دلیل این امر را ورود فاضلاب‌های حاوی مقادیر زیادی سولفات به رودخانه دانستند. مقادیر نترات و کلر در تمام ایستگاه‌ها پایین‌تر از حد مجاز تعیین شد. میانگین میزان سرب در زنجانرود ۷/۷۶ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. میزان روی بسیار ناچیز بود، به‌همین دلیل توسط دستگاه جذب اتمی قابل اندازه‌گیری نبود. مقدار کادمیوم در کلیه‌ی نمونه‌های آب منطقه، صفر میلی‌گرم بر لیتر بود. شایان ذکر می‌باشد که تنها سه ایستگاه انتخاب شده در تحقیق مذکور، در محدوده مورد مطالعه تحقیق حاضر واقع شده بود.

- رسولی و مکاریان در سال ۱۳۹۰، فاکتورهای کیفی آب زیرزمینی در محدوده شهری حوضه آبریز زنجانرود را با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و Arc GIS، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، جهت تعیین نقشه‌های تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب یعنی مقدار نیترات، سدیم، سختی و سولفات مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های پیش‌بینی توزیع مکانی غلظت نیترات، سدیم، سختی و سولفات بر اساس روش کریجینگ در آمار و نرم‌افزار Arc GIS، تهیه شد. نتایج بدست آمده، نشان داد که مقادیر فاکتورهای کیفی مذکور، از شرق به غرب افزایش می‌یابند. علت اساسی افزایش پارامترهای کیفی آب در محدوده شهری، وجود سازندهای زمین‌شناسی با نفوذپذیری بالا و عدم وجود شبکه فاضلاب شهری در تمام نقاط شهر است که، منجر به کاهش کیفیت آب زیرزمینی در این مناطق شده است. همچنین شیب کم رودخانه زنجارود در مناطق شهری و کند شدن جریان‌های سطحی آب، زمان لازم برای نفوذ بهتر را فراهم می‌نماید. از طرفی وجود اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه و استفاده از کودهای شیمیایی، تغییراتی را در پارامترهای کیفی آب ایجاد کرده است.

- شرفی و همکاران در سال ۱۳۹۰، با نمونه‌برداری از ۵۹ ایستگاه و آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی با روش ICP-MS وضعیت کیفی منابع آب دشت زنجان را نسبت به فلزات سنگین سمی Mn, Cd, Pb, As, Zn, Hg, Fe, Se, Cr, Ni، مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها و مقایسه غلظت عناصر با حدود مجاز ارائه شده در استانداردهای مختلف، نشان داد که آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نسبت به فلزات سنگین سرب، جیوه، نیکل، آرسنیک، آهن، روی، مس و سلنیوم آلوده نمی‌باشد. مقادیر عناصر کروم، آنتیموان، منگنز و کادمیم در برخی از نمونه‌ها دارای غلظتی بیش از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی اندازه‌گیری گردیدند.

از مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه نتیجه می‌شود که فعالیت‌های صنعتی در پایین‌دست دشت زنجان و اطراف شهر زنجان متمرکز شده‌اند که این امر می‌تواند سبب آلودگی منابع آبی منطقه گردد. فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین منابع آلاینده زنجارود شناخته شده‌اند. ورود فاضلاب‌های حاوی سولفات سبب تغییر تیپ آب از بی‌کربناته به سولفاته در انتهای مسیر رودخانه شده است. آلودگی رودخانه زنجارود به سرب مسئله مهمی است که در منابع مختلف

به آن اشاره شده است و این آلودگی ناشی از وجود منابع متعدد مانند کارخانه‌های فراوری سرب و گستردگی مناطق پتانسیل‌دار این فلز در سطح استان می‌باشد.

فصل سوم

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۳-۱- مقدمه

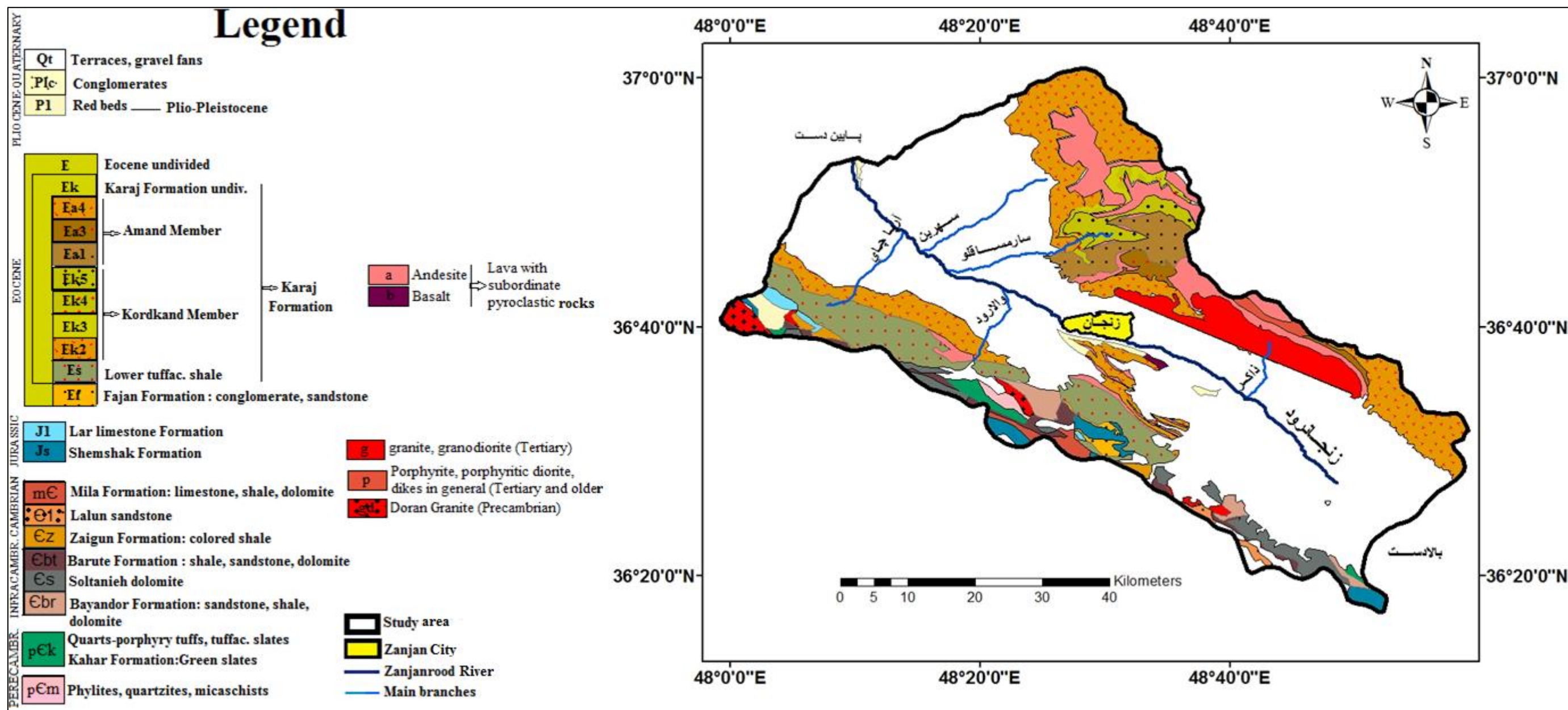
مطالعه نقشه زمین‌شناسی زنجان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد که حوضه آبریز زنجانرود در شمال‌غرب کشور، جزئی از کوه‌های البرز غربی و بخشی از رشته‌های کوه‌ها و قسمت‌های پست مربوط به بخش شمال غربی ایران مرکزی است.

۳-۲- چینه‌شناسی عمومی منطقه

مطالعه و بررسی واحدهای چینه‌شناسی منطقه، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان، ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطانیه، ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم، صورت گرفت. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۳-۱ آورده شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه، از شمال به ارتفاعات طارم و از جنوب به رشته کوه‌های سلطانیه منتهی می‌گردد و در دشت زنجان- ابهر که کوه‌های طارم را از رشته کوه‌های طویل و باریک سلطانیه جدا می‌کند، واقع شده است. در ادامه، بنا به مطالعات زمین‌شناسی انجام شده، بازدیدهای صحرایی و اثرگذاری زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه، سازندهای مؤثر بر کیفیت آب و رسوب رودخانه زنجانرود در سه بخش ارتفاعات طارم (شمال حوضه آبریز)، دشت زنجان- ابهر و ارتفاعات سلطانیه (جنوب حوضه آبریز) مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۳- ارتفاعات طارم

ارتفاعات طارم در شمال حوضه‌ی آبریز از سنگ‌های آذرین و آذرآواری که دارای وسعت نسبتاً زیادی هستند، تشکیل شده‌اند. سنگ‌های مزبور متعلق به زمان ائوسن می‌باشند و تحت اثر چین‌خوردگی و تکتونیک بعد از ائوسن، به‌ویژه فاز پایانی چرخه آلیپی قرار گرفته و ریخت‌شناسی حاکم بر منطقه را نشان می‌دهد. وسیع‌ترین سازندی که در بخش عظیمی از منطقه مورد بررسی وجود دارد، ضخامت زیادی از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی بخشی از سازند کرج است (شکل ۳-۲-الف).

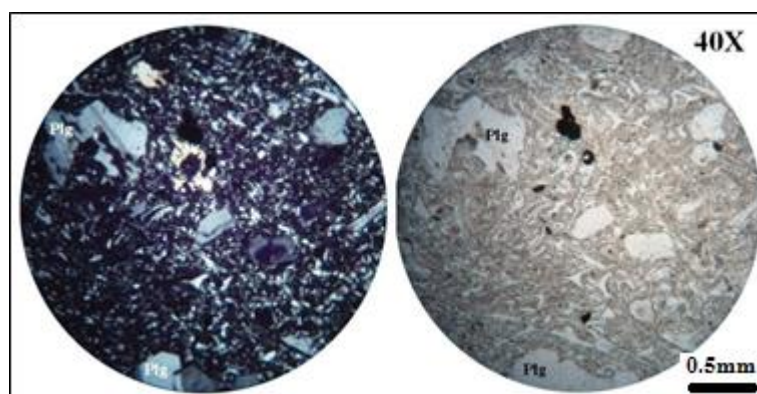


شکل ۳-۱- نقشه پراکندگی واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه

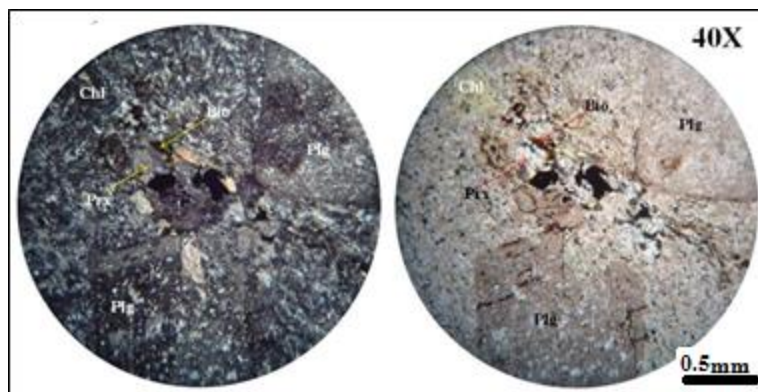
لیتولوژی کوه‌های طارم شامل توف و آندزیت است (شکل ۳-۲-ب و ج). کانی‌های همراه این سنگ‌ها، پلاژیوکلاز، فلدسپات، پیروکسن، کوارتز، کانی‌های رسی، کانی‌های گروه اپیدوت و آمفیبول است (شکل ۳-۳ و ۴-۳). این ترکیبات از طریق آبراهه‌ها می‌توانند بر کیفیت آب و رسوبات زنجانرود اثرگذار باشند.



شکل ۳-۲- تصاویر نمونه‌های دستی سنگ‌های منطقه: الف- سنگ آذرآواری با رگچه‌هایی از کلسیت، ب- توف خرده سنگی، ج- آندزیت پورفیری با بلورهای بزرگ و روشن پلاژیوکلاز.



شکل ۳-۳- تصویر میکروسکوپی از توف در نور معمولی (تصویر سمت راست) و نور پولاریزه (تصویر سمت چپ) شامل کانی‌های اپاک، بلورهای خرد شده پلاژیوکلاز (Plg) و قطعات خرد شده و Y شکل شیشه آتشفشانی (ترکش شیشه‌ای)



شکل ۳-۴- تصویر میکروسکوپی از آندزیت در نور معمولی (تصویر سمت راست) و نور پولاریزه (تصویر سمت چپ) شامل کانی‌های کلریت (Chl)، بیوتیت (Bio)، پیروکسن (Prx) و پلاژیوکلاز (Plg)

نهشته‌های مربوط به ترشیری در محدوده منطقه مورد مطالعه، شامل ترادف ضخیمی از سنگ‌های آواری، آتشفشانی- آواری و آتشفشانی است که هم‌ارز سازند کرج در البرز می‌باشند و در زون طارم گسترش دارند.

۳-۴- دشت زنجان - ابهر

دشت کم‌عرض زنجان- ابهر که رودخانه زنجانرود در آن جریان دارد، با رسوبات آبرفتی کواترنر، پوشیده شده است (شکل ۳-۵). نهشته‌های آبرفتی کواترنر در منطقه مورد مطالعه، به‌طور عمده در حوضه فرورفته زنجان در کوهپایه‌های شمال شرقی کوه‌های سلطانیه و کوهپایه‌های جنوب‌غربی کوه‌های طارم تا نزدیکی رودخانه زنجانرود گسترش دارند و در محدوده زنجانرود و اطراف رودخانه عمدتاً از نوع پادگانه‌های جوان آبرفتی با ترکیب عمده سیلت، رس و میزان زیادی کنگلومرا است. این رسوبات می‌توانند خود به منبع ثانویه آلودگی تبدیل شوند و نفوذپذیری بالای این رسوبات در آلودگی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مؤثر می‌باشند (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹). قبل از ورود به شهر، رخنمونی از سنگ‌های بازالتی و آذرآواری مربوط به سازند کرج در دشت زنجان مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۵- نمایی از نهشته‌های کواترنری در دشت زنگان- ابهر (دید به سمت جنوب)

۳-۵- ارتفاعات سلطانیه

ارتفاعات سلطانیه در جنوب حوضه آبریز از سازندهای کهر، بایندور، سلطانیه، باروت، زاگون، لالون، میلا، شمشک، لار، فجن و کرج تشکیل شده است. در بین سازندهای نام برده سازند کرج و سازند سلطانیه دارای بیش‌ترین وسعت در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. در ادامه به تشریح سازندهای ذکر شده در این ارتفاعات، از قدیم به جدید پرداخته شده است.

۳-۵-۱- سازند کهر (پرکامبرین)

نام این سازند، از کوه کهر، واقع در غرب دریاچه سد کرج در دره‌ی سرا، گرفته شده است. این سازند در منطقه سلطانیه از شیل‌های آرژیلیتی و سیلیسی به رنگ خاکستری متمایل به سبز تا سبز زیتونی، توف، سنگ‌های ولکانیکی، دولومیت و آهک‌های دولومیتی و آهک‌های آهن‌دار به رنگ قهوه‌ای سوخته، تشکیل شده است (خسروتهرانی، ۱۳۶۴). سازند کهر جزء قدیمی‌ترین تشکیلات غیر دگرگونی شمال ایران است که در وسعت بسیار اندک در کوه‌های سلطانیه واقع در جنوب حوضه آبریز زنگانرود، مشاهده می‌شود.

۳-۵-۲- سازند بایندور (اینفراکامبرین)

نام این سازند از کوه بایندور، در شمال-شمال شرقی روستای دوران، در منطقه سلطانیه، واقع در جنوب شرقی زنجان (درویش‌زاده، ۱۳۷۰)، گرفته شده و در آن، تناوبی از ماسه‌سنگ میکایی، قرمز ارغوانی، شیل، ماسه‌هایی با لایه‌بندی نازک و دولومیت‌های متبلور، مشاهده می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۹). ضخامت نهشته‌های سازند بایندور، ۴۹۸ متر (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹) اندازه‌گیری شده است و در جنوب حوضه آبریز زجانرود بر روی کوه‌های سلطانیه، به موازات دولومیت‌های سلطانیه کشیده شده است.

۳-۵-۳- سازند سلطانیه (اینفراکامبرین - کامبرین)

برش الگوی سازند سلطانیه در جنوب شرقی شهر سلطانیه قرار دارد (شکل ۳-۶). این سازند در محل برش الگو به پنج پاره سازند تقسیم شده است (Hamdi, 1989) که شامل:

۱- پاره سازند دولومیت پایینی: این پاره سازند از ۲۵ تا ۱۲۰ متر دولومیت و دولومیت آهکی

چرت‌دار لایه‌بندی شده به رنگ خاکستری روشن همراه با نوارهای چرت که به طرف بالا به

مقدار سیلیس آن افزوده می‌شود، تشکیل شده است (آقانباتی، ۱۳۸۹).

۲- پاره سازند شیل زیرین: ضخامت این پاره سازند ۱۳۰ تا ۱۵۸ متر و متشکل از شیل‌های

رسی-سیلت‌دار، بعضاً شیل‌های اسلیتی ماسه‌دار به رنگ سبز خاکستری تا خاکستری تیره با

میان لایه‌هایی از سنگ آهک به رنگ خاکستری و شیل‌های آهکی می‌باشد (درویش‌زاده،

۱۳۷۰).

۳- پاره سازند دولومیت میانی: این پاره سازند در محل برش الگو به ضخامت ۴۰ تا ۷۲ متر از

سنگ‌های کربناتی تشکیل شده است.

۴- پاره سازند شیل بالایی: این پاره سازند از شیل‌های رسی- سیلت‌دار و شیل‌های اسلیتی ماسه‌دار با لایه‌بندی ضخیم تشکیل شده است. در لایه‌های فوقانی کمی ماسه‌سنگ آهکی تا کنگلومرای پدید می‌آید.

۵- پاره سازند دولومیت بالایی: ضخامت این واحد در محل برش الگو به ۷۹۰ متر می‌رسد. دولومیت‌های توده‌ای، متبلور، صخره‌ساز، با رنگ روشن تا خاکستری روشن است (آقناباتی، ۱۳۸۹).



شکل ۳-۶- ارتفاعات سلطانیه در جنوب حوضه آبریز (دید به سمت جنوب‌غرب)

۳-۵-۴- سازند باروت (کامبرین زیرین)

سازند باروت، در محل برش الگو (۱۷ کیلومتری جنوب‌غربی زنجان) شامل ۷۱۴ متر، واحدهای شیلی با لایه‌های نازک ورقه‌ای سیلتی و ماسه‌ای دانه‌ریز میکادار، به رنگ قرمز ارغوانی و زرشکی است. رنگ‌های سبز و خاکستری در درجه دوم قرار دارد. میان‌لایه‌هایی از سنگ کربناته در بین شیل‌ها ظاهر می‌شوند. بعضی از این لایه‌ها دارای حفره‌های انحلالی است. این اشکال گویای رسوبات اولیه انیدریت می‌باشد که در فرایند دیاژنز حل شده و از بین رفته‌اند. بخشی از این میان‌لایه‌ها را سنگ‌های آهکی نازک لایه تا تیغه‌ای به رنگ خاکستری با نوارها و گرهک‌های چرتی تشکیل می‌دهد. میان‌لایه‌های

دولومیتی موجود در منطقه به رنگ زرد خاکستری تا آبی زرد و خاکی است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰).

۳-۵-۵- سازند زاگون (کامبرین زیرین)

سازند زاگون در منطقه سلطانیه دارای وسعت اندکی است و از چند لایه‌ی نازک دولومیتی باز بلورین که در بخش‌های میانی سازند به چشم می‌خورد، تشکیل شده است. ضخامت این سازند در این گستره بین صفر تا چند متر، برآورده شده است. در جنوب زنگان سازند زاگون مستقیماً روی سازند باروت قرار می‌گیرد (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹).

۳-۵-۶- سازند لالون (کامبرین زیرین)

سازند لالون در بلندی‌های سلطانیه با ضخامت نابرابر گسترش دارد. این سازند از رسوبات قرمز سیلیسی- آواری تشکیل شده است که در برخی از جاها طبقاتی از کنگلومرا در آن ظاهر می‌شود. دانه‌های کوارتز حجم عمده این رسوبات را تشکیل می‌دهد. فلدسپات‌های این واحد سنگی از اورتوکلاز، میکروکلین و به‌ندرت پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. کانی‌های فرعی این رسوبات شامل مسکوویت، بیوتیت، اپیدوت، کلریت، لیمونیت، زیرکن، آپاتیت، تورمالین و کانه‌های آهنی است.

۳-۵-۷- سازند میلا (کامبرین میانی - بالای)

سازند میلا در کوه‌های سلطانیه (محدوده ورقه زنگان) در گستره وسیعی برونزد دارد. رسوبات سازند میلا شامل دولومیت، آهک نازک لایه، آهک متبلور، آهک گلاکونیت‌دار، مارن، شیل‌های رنگین و مقداری ماسه‌سنگ تشکیل می‌شود. شماری از لایه‌های این سازند هم‌ریخت‌های نمک است. ضخامت نهشته‌های سازند میلا در ورقه زنگان بسیار متغیر است، آن چنان که در کوه‌های سلطانیه، ضخامت آن از ۵۰۰ متر به صفر در منطقه رحیم‌آباد (شمال غرب کوه‌های سلطانیه حاشیه غربی ورقه زنگان) کاهش می‌یابد و این کاهش شدید ضخامت مربوط به فازهای فرسایشی پس از اردوئیسین پیش از پرمین در منطقه است (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹).

۳-۵-۸- سازند شمشک (ژوراسیک تحتانی)

نهشته‌های سازند شمشک، دربرگیرنده شیل‌های رسی و ماسه‌ای به رنگ سبز تیره، شیل‌های کربناته سیاه، لایه‌های ماسه‌سنگی خاکستری و سبز و گاهی لایه‌های عدسی شکل ذغال‌دار هستند. سطوح فرسایشی صاف دارند و تپه‌های کم ارتفاعی را تشکیل می‌دهند (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹).

۳-۵-۹- سازند لار (ژوراسیک میانی-فوقانی)

در کوه‌های سلطانیه، نهشته‌های سازند شمشک توسط یک واحد آهکی ضخیم لایه به رنگ روشن، با مرز هم‌شیب جای می‌گیرد که سازند لار را تشکیل می‌دهند و دارای رنگ خاکستری روشن تا مایل به آبی است و گرهک‌های چرت زرد رنگ نیز در آن مشاهده می‌شود. مرز بالایی واحد آهکی لار فرسایشی است و ضخامت آن به بیش از ۵۰۰ متر نیز می‌رسد (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹).

۳-۵-۱۰- سازند فجن (اوسن)

سازند کنگلومرایبی فجن، نشان‌دهنده چرخه‌های فرسایشی است که بعد از رویداد کوهزایی لارامید رخ داده است و در کوه‌های سلطانیه، در وسعت بسیار اندک، ردیف‌های قدیمی‌تر به سن اینفراکامبرین را با دگرشیبی زاویه‌ای می‌پوشاند (آقانباتی، ۱۳۸۹).

۳-۵-۱۱- سازند کرج (اوسن میانی - بالایی)

در کوهپایه‌های شمالی کوه‌های سلطانیه ترادفی ضخیم از توف، شیل توفی سبز رنگ (شکل ۳-۷) با میان لایه‌های ماسه‌سنگ توفی جای می‌گیرد که دارای ضخامتی نزدیک به ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و دارای لایه‌بندی منظم تا نازک لایه است. بخش‌های توفی، سخت و ریزدانه هستند و گاه آهکی نیز هستند. در حالیکه بخش‌های شیلی نرم و نازک لایه هستند و به رنگ‌های زرد و مایل به سبز، سبز مایل به آبی یافت می‌شوند (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹).



شکل ۳-۷- نمایی از توف‌های سبز رنگ در منطقه

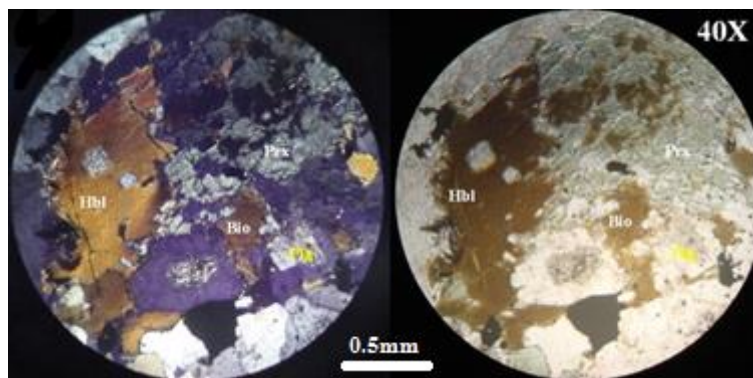
بر روی نهشته‌های توفی و شیلی سبز رنگ ترادفی ضخیم از توف برشی، آگلومرا، برش ولکانیک و میان لایه‌های توفی و شیلی جای می‌گیرند که دارای میان لایه‌های گدازه آندزیت پورفیری نیز هستند و در حقیقت هم‌ارز بخش بالایی سازند کرج هستند (شکل ۳-۸). بخش‌های گدازه‌ای دارای ترکیب آندزیتی به رنگ سبز تیره تا خاکستری با بافت پورفیری هستند که ساخت حفره‌دار آن‌ها نشان دهنده تکاپوی آن‌ها در زیر آب است. بخش‌های توفی و آگلومرای دارای ترکیب داسیتی هستند و به‌طور عمده از قطعات درشت گدازه‌های داسیتی و آندزیتی و تراکی آندزیتی ساخته شده‌اند (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹).



شکل ۳-۸- سازند کرج در ارتفاعات سلطانیه (دید به سمت جنوب‌غرب)

۳-۵-۱۲- گرانیت دوران

گرانیت پرکامبرین کوه‌های سلطانیه، به نام گرانیت دوران نام‌گذاری شده است. داخل مجموعه دگرگونی پرکامبرین و سازند کهر، باتولیت‌ها و استوک‌هایی از گرانیت نفوذ کرده است که به نام گرانیت دوران نامیده شده‌اند. رنگ این گرانیت‌ها سفید تا صورتی روشن بوده و تقریباً فاقد کانی‌های تیره می‌باشد (شکل ۳-۹). بافت این سنگ‌ها پرفیروید است. نوع فنوکریست‌ها اصولاً فلدسپات است. بلورهای درشت کوارتز و آلبیت در زمینه‌ای از آلبیت‌های درشت دانه، میکروکلین، کوارتز با بافت میرمیکریت قرار دارد و به مقدار ناچیز در این گرانیت‌ها بیوتیت، مسکویت، اسفن و کانی‌های تیره دیده می‌شود. گرانیت‌های دوران در ناحیه‌ی زنجان و منطقه مورد مطالعه جوان‌ترین واحد وابسته به ریفتی در نظر گرفته شده است و چنین پنداشته می‌شود که سن بخشی از گرانیت دوران جوان‌تر از پرکامبرین می‌باشد. گرانیت‌ها می‌توانند در ورود یون‌های اصلی، آلومینیوم و کانی‌های سیلیکاته مؤثر باشند.



شکل ۳-۹- تصویر میکروسکوپی از گرانیت با بافت دانه‌ای در نور معمولی (تصویر سمت راست) و پولاریزه (تصویر سمت چپ) شامل هورنبلند (Hbl)، بیوتیت (Bio)، پیروکسن (Prx) با بافت دانه‌ای

لازم به ذکر است که نهشته‌های مربوط به ترشیر و سازند کرج هم در ارتفاعات طارم و هم در رشته کوه‌های سلطانیه، مشاهده شده‌اند.

در جدول ۳-۱، سازندهای زمین‌شناسی که در سطح استان و در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند، خلاصه شده است:

جدول ۳-۱- سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در سطح استان (برگرفته از احمدی و همکاران، ۱۳۹۱)

سن	سنگ‌شناسی	ضخامت به متر	سازند
ائوسن میانی - بالایی	آندزیت- توف برشی - لایلی توف، پومیس، توف، شیل، ماسه‌سنگ	۳۸۰۰	کرج
ائوسن	کنگلومرای سرخ رنگ با زمینه‌ی آهک نومولیت‌دار	۲۰-۴۵۰	فجن
ژوراسیک میانی - فوقانی	آهک‌های ضخیم لایه به رنگ روشن	۵۰۰	لار
ژوراسیک تحتانی	شیل، ماسه‌سنگ، لایه‌های زغال‌سنگی	۱۰۰۰-۱۵۰۰	شمشک
کامبرین میانی - بالایی	کوارتزیت قاعده‌ای، دولومیت تیره، دولومیت و آهک	۵۸۵	میلا
کامبرین زیرین	ماسه‌سنگ آرکوزی یا سیمان سیلیسی به رنگ ارغوانی	۵۰۰	لالون
کامبرین زیرین	شیل‌های ماسه‌ای دانه‌ریز، شیل‌های رسی تا سیلیتی	۲۷۰	زایگون
کامبرین زیرین	شیل‌های رسی - سیلیتی و ماسه‌ای به رنگ‌های ارغوانی - سبز و خاکستری	۷۱۴	باروت
اینفراکامبرین - کامبرین	دولومیت، شیل شیل‌های فسفاتی	۱۱۶۰	سلطانیه
اینفراکامبرین	ماسه‌سنگ، شیل‌های قرمز- ارغوانی میکادار با آهک دولومیت	۴۹۸	بایندور
پرکامبرین	شیل اسلیتی، آرژیلیتی تا حدودی سیلیسی به رنگ سبز- خاکستری - قرمز	۱۰۰۰	کهر

۳-۶- تکتونیک

محدوده ورقه زنگان از نگاه ساختاری، بخش‌هایی از دو زون طارم و سلطانیه را دربر می‌گیرد. زون طارم به پیکر یک فرازمین با روند شمال‌غرب- جنوب‌غرب در گوشه شمال شرقی ورقه رخنمون دارد و زون سلطانیه نیز به‌صورت یک فرازمین با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق موازی با زون طارم از گوشه جنوب‌شرقی ورقه تا غرب آن کشیده شده است.

زون طارم یک کمان ماگمایی مرکب از نهشته‌های آتشفشانی و آتشفشان‌های ائوسن است که توسط توده‌های نفوذی الیگوسن تحت تأثیر قرار گرفته و نشان‌دهنده فعالیت آتشفشانی در یک حوضه رسوبی کم‌عمق با فازهای متناوب انفجاری و خروج روانه‌های آندزیتی، داسیتی و بسیار اندک ریولیتی است که به خاطر عمق کم حوضه هم‌چهره زیر آبی و هم‌چهره خشکی را نشان می‌دهند. در حالیکه زون سلطانیه به‌طور عمده از نهشته‌های رسوبی پرکامبرین- پالئوزوئیک بسیار کم مزوزوئیک پدید آمده و در حقیقت پی‌سنگ بالا آمده پرکامبرین- پالئوزوئیک در زون اصلی ایران مرکزی است. گسل سلطانیه یک گسل پی‌سنگی و عمیق کهن است که تکاپوی آن از پالئوزوئیک به بعد شروع شده ولی

اوج تکاپوی آن از ائوسن به بعد بوده است. نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی به درون مجموعه‌های آتشفشانی- آواری ائوسن و نیز چین‌خوردگی این واحدها بازگوکننده رخداد تکتونیکی آلپ میانی در منطقه است (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹).

۳-۷- ژئومورفولوژی منطقه

حوضه آبریز زنجانرود از شمال با ارتفاعات طارم و از جنوب با رشته‌کوه‌های سلطانیه هم‌مرز می‌باشد. ارتفاعات شمال‌شرقی (کوه‌های طارم) منطقه مورد مطالعه، به عنوان بخشی از البرز غربی، مورفولوژی کوه‌ساز دارد و شامل توده‌های وسیع نفوذی (گرانیت) و توف‌های سبز ائوسن می‌باشند (شکل ۳-۵). بیش‌تر رخنمون‌های شمال دشت زنجان، مجموعه‌های پیروکلاستیک ائوسن (سازند کرج) است. لیتولوژی چیره ردیف‌های آذرآواری، از نوع توف‌های سبز به همراه میان لایه‌های شیلی و گاهی آهکی است. اشکال رسوبی موجود، نظیر لایه‌بندی دانه‌بندی تدریجی لامیناسیون خمیده، فلوت کاست، لغزش‌های ثقیلی حکایت از انباشتگی در محیط دریایی و وجود نوعی جریان‌های آشفته و ناآرامی‌های تکتونیکی زمان رسوبگذاری دارد (معاونت برنامه‌ریزی استانداری زنجان، ۱۳۸۹). کوه قاجار به ارتفاع ۲۸۸۹ متر و کوه چله خان به ارتفاع ۲۷۲۴ متر از مهم‌ترین قله‌های بخش کوهستانی شمال‌شرقی می‌باشند. بخش کوهستانی جنوب غربی (کوه‌های سلطانیه) حوضه آبریز زنجانرود، بخشی از ورق ایران مرکزی هستند و عمدتاً از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده‌اند. کوه سیاه به ارتفاع ۲۷۲۰ متر و کوه سلطانیه به ارتفاع ۲۷۰۰ متر از بلندترین کوه‌های این بخش محسوب می‌شوند. کوه‌های بخش شمال شرقی زنجان بر عکس بخش مقابل به صورت یک برجستگی یکپارچه است و توده‌های وسیع نفوذی (گرانیت) و توف‌های سبز ائوسن چارچوب کلی آن را تشکیل می‌دهد. کوه قاجار به ارتفاع ۲۸۸۹ متر و کوه چله خان به ارتفاع ۲۷۲۴ متر از مهم‌ترین قله‌های آن می‌باشند (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، ۱۳۸۹).

فصل چهارم

مواد و روش‌ها

۴-۱- مقدمه

جهت انجام یک تحقیق علمی و جامع، رعایت موارد زیر لازم و ضروری می‌باشد:

- شناخت کامل منطقه مطالعاتی و تحقیقات پیشین انجام شده در منطقه
- انتخاب روش مناسب نمونه‌برداری و انجام نمونه‌برداری صحیح
- انتخاب و انجام روش‌های صحیح آنالیز نمونه‌ها
- در نهایت به‌کاربری شاخص‌ها، نمودارها و نرم‌افزارهای مناسب جهت تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج

در این فصل، به معرفی نحوه تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، نحوه نمونه‌برداری، روش‌های مختلف مورد استفاده جهت انجام آنالیزهای فیزیکوشیمیایی، روش‌های آماری، نرم‌افزارهای مختلف و شاخص‌های ژئوشیمیایی به‌کار برده شده، پرداخته شده است.

۴-۲- تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری

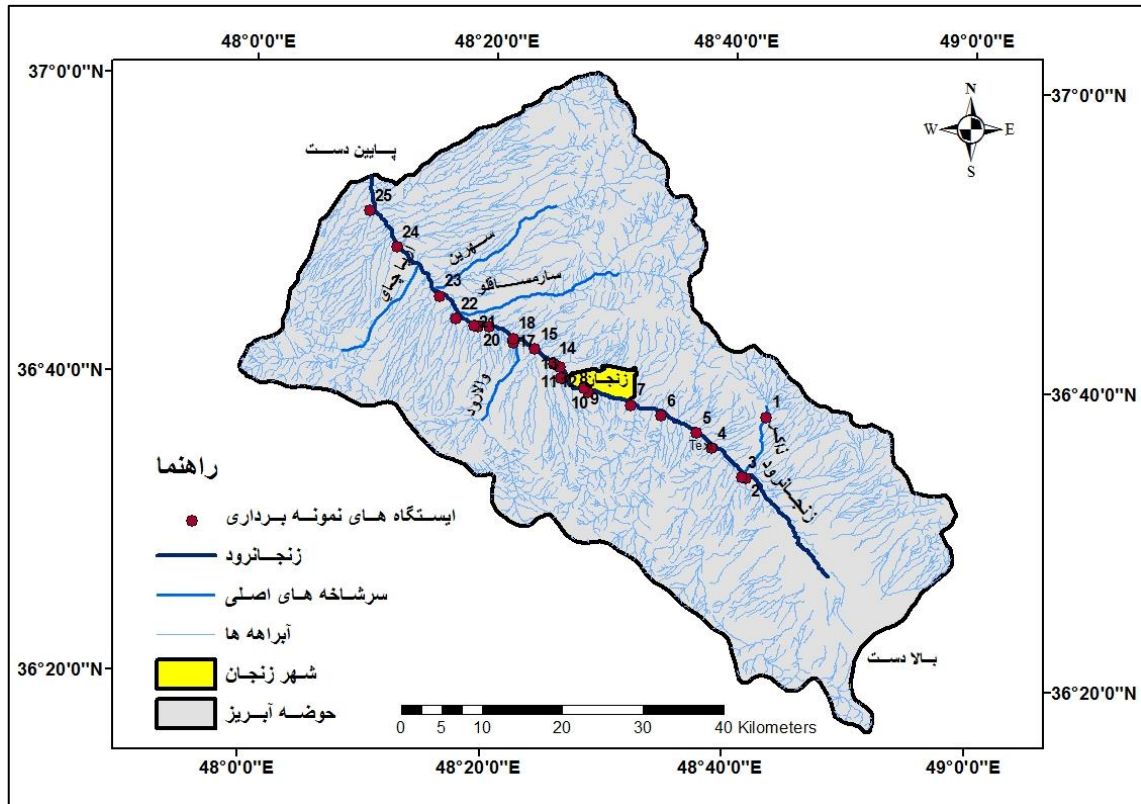
ایستگاه‌های نمونه‌برداری پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه توپوگرافی و بازدید صحرایی از منطقه، با در نظر گرفتن پارامترهای مهم، مانند مورفولوژی رودخانه، ورود شاخه‌های فرعی به رودخانه، شرایط اقلیمی، توزیع منابع آلوده کننده (بشرزاد و زمین‌زاد)، تمرکز مراکز صنعتی، مسکونی، کشاورزی و تغییرات زمین‌شناسی، انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها در مسیر اصلی رودخانه و کلیه سرشاخه‌ها و منابع ورود آلودگی به رودخانه مانند مسیل‌ها، پساب‌های صنعتی، پساب‌های سطحی شهری تعیین گردیدند.

۲۵ ایستگاه نمونه‌برداری، از محل سرشاخه رودخانه ذاکر تا بعد از سرشاخه سهرین در پایان فصل خشک در آبان ماه سال ۱۳۹۱ تعیین شد (جدول ۴-۱ و شکل ۴-۱). شایان ذکر می‌باشد که ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب و رسوب تطابق کامل با هم داشتند، ولی به دلیل عدم وجود آب در

برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری، مجموعاً ۱۹ نمونه آب، ۱ نمونه فاضلاب و ۲۴ نمونه رسوب برداشت شد، تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. با توجه به این‌که در مسیر سرشاخه سهرین، قبل از ورود به زنجانرود، سد تهم احداث شده است تا آب سرشاخه سهرین در مخزن سد ذخیره شود و جهت آشامیدن و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد، لذا سرشاخه سهرین به‌طور مستقیم و از سطح زمین تغذیه کننده رودخانه زنجانرود نمی‌باشد. آب از سرشاخه ذاکر و برخی سرشاخه‌های فصلی نیز، در مواقع سیلابی وارد رودخانه زنجانرود می‌شود و با توجه به اینکه نمونه‌برداری در پایان فصل خشک صورت گرفته است، این سرشاخه‌ها، قبل از ورود به زنجانرود خشک بودند و نمونه آب از این ایستگاه‌ها برداشت نگردید.

جدول ۴-۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

شماره ایستگاه	محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
1	سرشاخه ذاکر (پایین دست روستای ذاکر)	۴۸°۴۳'۱۰/۶"	۳۶°۳۸'۱۶/۰"	۱۸۶۹
2	رودخانه قبل از سرشاخه ذاکر و قبل از روستای نیماور	۴۸°۴۱'۳۳/۰"	۳۶°۳۳'۵۶/۰"	۱۷۳۸
3	محل تلاقی رودخانه با سرشاخه ذاکر (بعد از روستای نیماور و قبل از روستای بناب)	۴۸°۴۱'۱۲/۹"	۳۶°۳۴'۲۰/۲"	۱۷۳۳
4	رودخانه بعد از سرشاخه ذاکر و قبل از کارخانه سرب و روی	۴۸°۳۸'۵۱/۵"	۳۶°۳۵'۵۵/۹"	۱۷۰۸
5	رودخانه بعد از کارخانه سرب و روی و قبل از روستای دیزج	۴۸°۳۷'۲۰/۴"	۳۶°۳۶'۵۳/۹"	۱۶۹۸
6	رودخانه ۵ کیلومتر بعد از کارخانه سرب و روی	۴۸°۳۴'۲۷/۲"	۳۶°۳۸'۱۱/۶"	۱۶۷۳
7	رودخانه قبل ورود به شهر	۴۸°۳۱'۵۵/۲"	۳۶°۳۸'۴۵/۱"	۱۶۴۵
8	رودخانه قبل از پل میر بهاء الدین و بعد از راه آهن (داخل شهر)	۴۸°۲۸'۳۸/۱"	۳۶°۳۹'۲۶/۹"	۱۶۰۶
9	نمونه فاضلاب خانگی	۴۸°۲۷'۵۳/۳"	۳۶°۳۹'۴۶/۶"	۱۶۱۰
10	رودخانه در داخل شهر	۴۸°۲۷'۵۴/۱"	۳۶°۳۹'۳۸/۱"	۱۶۱۱
11	رودخانه در نقطه خروج از شهر	۴۸°۲۶'۱۷/۳"	۳۶°۴۰'۴۲/۴"	۱۵۸۰
12	رودخانه قبل از روستای حاجی احمد	۴۸°۲۶'۱۱/۱"	۳۶°۴۰'۴۳/۱"	۱۵۷۷
13	رودخانه بعد از روستای حاجی احمد	۴۸°۲۵'۵۱/۹"	۳۶°۴۱'۰۳/۵"	۱۵۷۲
14	رودخانه بعد از روستای حاجی احمد و قبل از شهرک صنعتی علی آباد	۴۸°۲۵'۲۳/۶"	۳۶°۴۱'۲۰/۱"	۱۵۶۷
15	رودخانه بعد از شهرک صنعتی علی آباد و قبل از ورود سرشاخه والارود	۴۸°۲۳'۴۸/۵"	۳۶°۴۲'۱۶/۲"	۱۵۵۰
16	سرشاخه والارود (پایین دست روستای والارود)	۴۸°۲۱'۵۹/۳"	۳۶°۴۲'۴۵/۰"	۱۵۴۸
17	سرشاخه والارود بعد از روستای والارود و قبل از ورود به زنجانرود (۵۰ متر بعد از ایستگاه ۱۶)	۴۸°۲۱'۵۷/۵"	۳۶°۴۲'۳۶/۷"	۱۵۴۴
18	رودخانه در محل تلاقی سرشاخه والارود با زنجانرود	۴۸°۲۱'۵۴/۰"	۳۶°۴۲'۵۳/۰"	۱۵۴۶
19	رودخانه بعد از سرشاخه والارود	۴۸°۲۰'۰۸/۷"	۳۶°۴۳'۳۸/۵"	۱۵۱۶
20	رودخانه قبل از پمپ بنزین و پس از شرکت کودسازان و شمش‌سازان زنجان	۴۸°۱۹'۰۰/۸"	۳۶°۴۳'۴۲/۰"	۱۵۱۲
21	رودخانه بعد از پمپ بنزین	۴۸°۱۸'۳۷/۶"	۳۶°۴۳'۴۵/۳"	۱۵۰۴
22	رودخانه قبل از سرشاخه سارمساقلو و در روستای امین آباد	۴۸°۱۷'۰۸/۷"	۳۶°۴۴'۱۹/۴"	۱۴۹۵
23	رودخانه بعد از سرشاخه سارمساقلو و قبل از سرشاخه سهرین (روستای ینگچه)	۴۸°۱۵'۴۱/۰"	۳۶°۴۵'۳۷/۰"	۱۴۷۷
24	رودخانه بعد از سرشاخه سهرین	۴۸°۱۲'۰۵/۹"	۳۶°۴۸'۴۷/۹"	۱۴۱۳
25	رودخانه به فاصله ۲ کیلومتر از ایستگاه ۲۴	۴۸°۱۰'۰۴/۸"	۳۶°۵۱'۰۰/۰"	۱۳۷۹



شکل ۴-۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب و رسوب در طول رودخانه زنجانرود

۴-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های آب و رسوب

جهت ارزیابی کیفی منابع آبی و مطالعات هیدرولوژی، باید به نحوه نمونه‌برداری، توجه خاص نمود. چنانچه عملیات نمونه‌برداری از منبع اصلی، با شرایط علمی و استاندارد، مطابقت نداشته باشد، در این صورت، حتی با انتخاب روش‌های پیشرفته آزمایشگاهی، نتایج غلط و گمراه کننده‌ای به دست می‌آید. نمونه‌برداری در پایان فصل خشک، آبان ماه سال ۱۳۹۱ صورت پذیرفت.

۴-۳-۱- نمونه‌های آب

فرایند نمونه‌برداری آب شامل مراحل نمونه‌گیری آب، تثبیت و انتقال به آزمایشگاه است. نمونه‌برداری از آب رودخانه زنجانرود، از ۱۹ ایستگاه، در طول رودخانه انجام شد. مکان دقیق هر ایستگاه با کمک دستگاه مکان‌یاب جهانی^۱ تعیین گردید. قبل از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری، تمام بطری‌های پلی‌اتیلنی

1- Global positioning system

مورد نیاز، به مدت یک روز با محلول پتاسیم یداید ۸ درصد پر و نگهداری شد و سپس با آب مورد نظر در محل نمونه‌برداری، به‌طور کامل آب‌شویی و برچسب گذاری شدند. از هر ایستگاه دو نمونه در ظروف پلی‌اتیلن ۰/۵ لیتری و ۱/۵ لیتری جمع‌آوری شد.

جهت نمونه‌برداری از آب در هر ایستگاه، در سمت راست، چپ و وسط رودخانه، از عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری زیر سطح آب، در حالت رو به جریان، نمونه‌برداری انجام شد؛ سپس نمونه‌ها، مخلوط و فیلتر شده، پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، در محل نمونه‌برداری، با کمک دستگاه قابل حمل دیجیتالی اندازه‌گیری شدند و بعد در داخل بطری‌های پلی‌اتیلن ۰/۵ لیتری و ۱/۵ لیتری، ریخته شدند.

۴-۳-۲- نمونه‌های رسوب

به منظور انجام مطالعات رسوب‌شناسی و اندازه‌گیری پارامترهای رسوب‌شناختی، نمونه‌برداری رسوبات رودخانه از محل‌های نمونه‌برداری آب انجام شد. ۲۴ نمونه رسوب، از کف رودخانه از عمق حدود ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری توسط نمونه‌گیر استوانه‌ای شکل جمع‌آوری گردید. شایان ذکر می‌باشد که عدم تطابق تعداد نمونه‌های آب و رسوب به علت نبود آب در برخی از ایستگاه‌ها می‌باشد. برای مطالعه دقیق‌تر کیفیت رسوبات، در هر ایستگاه از مقطع عرضی رودخانه سه نمونه (ساحل راست، ساحل چپ و وسط) جمع شد که جهت ایجاد نمونه همگن مخلوط گردید. برای جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی، نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی ذخیره و به آزمایشگاه علوم آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود انتقال یافت. نمونه‌ها در هوای آزمایشگاه خشک و برای انجام آنالیزهای مختلف، آماده گردیدند.

۴-۴ - آنالیزهای شیمیایی

pH-۱-۴-۴

- آب

pH آب در محل نمونه برداری با دستگاه pH متر مدل Lutron YK-2001CT اندازه‌گیری شد. هر بار قبل از اندازه‌گیری با استفاده از محلول‌های استاندارد (۴ و ۷ pH) کالیبره می‌شد تا خطای دستگاهی ایجاد نگردد.

- رسوب

روش EPA SW-846 METHOD 9045 برای اندازه‌گیری pH نمونه‌های رسوب به کار برده شد. در این روش از نسبت ۱ به ۱ رسوب به آب مقطر استفاده شد. ابتدا ۲۰ گرم از نمونه رسوب عبوری از الک شماره ۱۰، توسط ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن شد و در بشر ۵۰ سی‌سی ریخته شد. ۲۰ سی‌سی آب مقطر بر روی رسوب موجود در بشر ۵۰ سی‌سی اضافه گردید و مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر روی دستگاه استیرر مدل IKA.RH.Basic 2 گذاشته شد. پس از پایان ۳۰ دقیقه، مخلوط حاصل به مدت ۱ ساعت در حالت سکون قرار گرفت تا زلال شود و در نهایت pH رسوب توسط دستگاه pH متر قابل حمل مدل YK-2001 CT اندازه‌گیری شد.

EC -۲-۴-۴

- آب

هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌های آب در محل نمونه برداری با دستگاه EC متر مدل Lutron YK-2001CT اندازه‌گیری شد.

- رسوب

برای اندازه‌گیری EC رسوبات، در بشر ۲۵۰ سی‌سی، ۱۰ گرم از نمونه رسوب مورد نظر برداشته شد و به نسبت ۱ به ۵، ۵۰ سی‌سی آب مقطر به رسوب اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۱ ساعت با سرعت ۱۵۰rpm بر روی دستگاه استیرر مخلوط شد. پس از آن، مخلوط به مدت ۱ ساعت ساکن ماند و پس از صاف کردن مخلوط، EC نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

۴-۴-۳- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها

نمونه‌های موجود در بطری‌های ۱/۵ لیتری رنگی (برای اثرگذاری کمتر نور)، جهت آنالیز با دستگاه کروماتوگرافی یونی یا IC^۱ و تعیین غلظت آنیون‌ها (HCO_3^- ، Cl^- ، SO_4^{2-} و NO_3^-) و کاتیون‌ها (Na^+ ، K^+ و Ca^{2+} و Mg^{2+}) در داخل یخدانهای دارای یخ، در دمای زیر ۴ درجه سانتی‌گراد، در کمتر از ۴۸ ساعت به پارک علم و فناوری استان سمنان منتقل شدند.

۴-۴-۴- غلظت فلزات سنگین

- آب

نمونه‌های موجود در بطری‌های ۰/۵ لیتری، با اسید نیتریک ۰/۶۰٪، اسیدی شده تا pH نمونه‌ها به کمتر از ۳ برسد. اسیدی نمودن، جهت جلوگیری از رسوب فلزهای سنگین و رشد باکتری و قارچ، صورت گرفت. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه علوم محیط زیست دانشگاه زنجان، جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین به کمک دستگاه ICP-OES^۲ منتقل شدند. توسط این روش، غلظت ۱۱ عنصر شامل مس، روی، نیکل، کادمیم، کروم، سرب، استرانسیم، آلومینیوم، کبالت، آهن و اسکاندیم در هر نمونه آب اندازه‌گیری گردید.

1- Ion Chromatography
2- Inductively Coupled Plasma-OES

- رسوب

برای هضم و آماده سازی نمونه‌های رسوب جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها، از روش معرفی شده توسط Environment Canada, (1990) استفاده گردید:

مرحله اول: ۱ گرم از رسوب مورد نظر که کوبیده و از الک شماره ۲۳۰ مش عبور داده شده بود، در ۱ بشر ۱ لیتری ریخته شد.

مرحله دوم: ۱۰۰ میلی‌لیتر از اسید نیتریک ۱۶ نرمال به بشر مورد نظر به مدت ۲ دقیقه، بتدریج اضافه شد.

مرحله سوم: ۴۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰.۳٪، ظرف ۵ دقیقه و به آرامی به بشر حاوی رسوب اضافه گردید.

مرحله چهارم: بشر حاوی ترکیبات گفته شده بر روی بشقاب داغ قرار داده شد تا محتوای بشر به جوش بیاید. سپس بشر را از روی بشقاب داغ برداشته تا سرد شود و به دمای اتاق برسد.

مرحله پنجم: برای تهیه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول تیزاب سلطانی^۱ باید:

الف- ۲۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک، داخل یک ارلن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شود.

ب- ۷۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر ($EC < 1 \mu S/cm$) به ارلن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری اضافه شود.

ج- به ارلن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری حاوی اسید نیتریک و آب مقطر، ۵۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک‌اسید اضافه گردد.

د- در آخر ترکیب حاصل با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شود.

مرحله ششم: ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول تیزاب سلطانی، به بشر حاوی مخلوط به‌دست آمده از مرحله چهارم اضافه گردید.

1- Aqua regia

مرحله هفتم: مخلوط موجود در بشر به مدت ۱ شب در حالت سکون در دمای اتاق باقی ماند.

مرحله هشتم: محتویات بشر، که دارای رنگ زرد لیمویی می‌باشند، از صافی عبور داده شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰cc رسانده تا برای قرار گرفتن در بطری‌های در بسته و برچسب خورده آماده شوند.

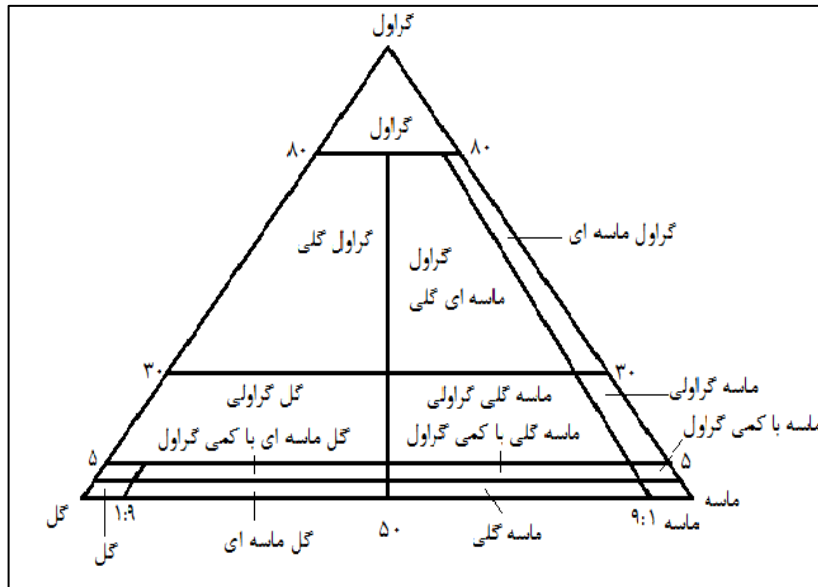
مرحله نهم: نمونه‌های هضم شده رسوب، با رعایت نکات ایمنی، به آزمایشگاه علوم زمین دانشگاه زنجان و دانشکده شیمی دانشگاه شاهرود جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین به کمک روش ICP-OES و AAS مدل AA-670، انتقال یافت.

۴-۴-۵- دانه‌بندی رسوبات

نمونه‌های رسوب، پس از انتقال به آزمایشگاه، در دمای اتاق، بصورت کامل خشک گردیدند، پس از جدا نمودن مواد اضافی گیاهی مانند شاخ و برگ و قلوه سنگ‌ها، ۱۰۰۰ گرم از نمونه هموزن شده‌ی مربوط به هر ایستگاه، برداشته شد، تا با استفاده از دستگاه لرزاننده^۱ و الک شماره ۱۰ (برای جداسازی ذرات گراول از ماسه) و الک شماره ۲۳۰ (برای جدا کردن ذرات ماسه از گل=سیلت+ رس)، دانه‌بندی رسوبات انجام شود.

عملیات دانه‌بندی رسوبات، جهت تعیین بافت رسوبات صورت گرفت. برای اینکار از مثلث فولک، استفاده شد (شکل ۴-۲). فولک در سال ۱۹۵۴، بر اساس اندازه دانه‌های تشکیل دهنده‌ی رسوبات دانه درشت، نمودار مثلث شکلی را ارائه نمود که در سه گوشه آن گراول (ذرات < ۲ میلی‌متر)، ماسه (ذرات بین ۰/۰۶۲۵ تا ۲ میلی‌متر) و گل (ذرات کوچکتر از ۰/۰۶۲۵) قرار دارند. در این مثلث، بر اساس نسبت فراوانی ذرات نام برده در رسوبات، ۱۵ گروه بافتی اصلی مشخص شده است. فراوانی ذرات در حد گراول نشان‌دهنده انرژی بالای محیط از لحاظ سرعت جریان در هنگام رسوبگذاری می‌باشد.

1- Shaker



شکل ۴-۲- طبقه‌بندی بافت رسوب بر اساس مثلث فولک (۱۹۵۴)

۴-۴-۶- درصد مواد آلی رسوبات

جهت تعیین مواد آلی موجود در رسوبات رودخانه زنجانرود، روش استاندارد APHA, 1995, Standard metod 209 f به کار برده شد. در این روش ابتدا نمونه‌ها وزن شد (۱۰ گرم) و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت داخل کوره قرار گرفت تا رطوبت آن به صورت کامل خارج شود. سپس نمونه‌ها پس از خارج نمودن از کوره وزن شدند و دوباره در داخل کوره قرار داده شدند و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت نگه داشته شدند. بعد از گذشت این زمان، نمونه‌ها دوباره وزن شدند. از تفاضل وزن قبل و بعد از حرارت دهی با استفاده از رابطه ۴-۱، مقدار ماده آلی رسوبات تعیین شد.

$$OM\% = (DW_{105} - DW_{550} / DW_{105}) \times 100 \quad (1-4)$$

در این رابطه، OM%، درصد ماده آلی رسوب، DW_{105} ، جرم رسوب در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و DW_{550} ، جرم رسوب در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.

۴-۴-۷- درصد کربنات کلسیم (CaCO_3) رسوبات

برای به‌دست آوردن درصد کربنات کلسیم موجود در نمونه رسوب، از روش Carver (1971) استفاده شد. در این روش بعد از به‌دست آوردن وزن رسوب پس از دمای 550°C درجه سانتی‌گراد که در مرحله تعیین مقدار ماده آلی رسوب به‌دست آمده بود، در ادامه رسوب به مدت ۱ ساعت در دمای 900°C درجه سانتی‌گراد، قرار گرفت. ۲ الی ۳ ساعت زمان لازم است که دمای کوره به دمای 900°C درجه سانتی‌گراد برسد و این زمان جز زمان حرارت دادن به نمونه رسوب محسوب نمی‌شود. با استفاده از رابطه ۴-۲ از تفاضل وزن رسوب، قبل و بعد از قرار دادن در دمای 900°C درجه سانتی‌گراد، درصد کربنات کلسیم نمونه تعیین گردید.

$$\text{CaCO}_3\% = (DW_{550} - DW_{900} / DW_{550}) 100 \quad (4-2)$$

در این رابطه، $\text{CaCO}_3\%$ ، درصد کربنات کلسیم رسوب، DW_{550} ، جرم رسوب در دمای 550°C درجه سانتی‌گراد و DW_{900} ، جرم رسوب در دمای 900°C درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۴-۵- فاکتورها و شاخص‌های مورد استفاده در تحلیل داده‌های رسوب

برای تعیین شدت و منشأ آلودگی (بشرزاد و زمین‌زاد) در نمونه‌های رسوب، از ضرایب ژئوشیمیایی زیر استفاده گردید:

۱- ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

۲- شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index)

۳- فاکتور آلودگی (Contamination Factor)

۴- درجه ضریب آلودگی (Contamination Degree)

۵- درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Contamination Degree)

۶- شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index)

۷- رهنمودهای کیفیت رسوب (Sediment Quality Guidelines)

۴-۶- آنالیزهای آماری

برای ارزیابی شدت آلودگی، روش‌های آماری تحلیل داده‌ها مانند: تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند.

۴-۷- نرم‌افزارهای به کار برده شده

در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS 10، Chemistry، SPSS18، Aq.QA، PHREEQC 3.0.6 برای تفسیر، تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

فصل پنجم

کیفیت آب و رسوب

۵-۱- مقدمه

وجود مناطق مسکونی، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در اطراف رودخانه زنجانرود، سبب آلودگی منابع آب و رسوب این رودخانه شده است. از آنجا که محدوده مورد مطالعه، دارای رسوبات کواترنری با نفوذپذیری بالا می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که آلودگی واقعی، بیش از آلودگی مشاهده شده در این مطالعه می‌باشد و می‌تواند علاوه بر آب‌های سطحی و رسوبات منطقه، خاک و منابع آب زیرزمینی را در محدوده مورد مطالعه درگیر نماید.

پس از انجام نمونه‌برداری و آنالیزهای مورد نظر بر روی نمونه‌های آب و رسوب برداشت شده، ۱۱ عنصر (مس، روی، نیکل، کادمیم، کروم، آهن، سرب، استرانسیم، آلومینیوم، کبالت و اسکاندیم) جهت ارزیابی آلودگی محدوده مورد مطالعه، انتخاب شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در این بخش ابتدا پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات منطقه مورد مطالعه، مانند دمای آب، pH و EC نمونه‌های آب و رسوب، TDS موجود در آب و دانه‌بندی رسوبات، مورد بررسی قرار گرفته است. پس از آن، ارزیابی کیفی آب رودخانه زنجانرود به کمک نمودارهای مربوطه صورت پذیرفته و در ادامه به بررسی نقشه هم‌غلظت فلزات و عناصر بالقوه سمی در آب و رسوبات محدوده مورد مطالعه، پرداخته شده است. ارزیابی میزان آلودگی و منشأ احتمالی آلودگی رسوبات (بشرزاد و زمین‌زاد) با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی، محاسبه‌ی همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها و همچنین همبستگی بین عناصر مذکور و پارامترهای مورد مطالعه و سایر مطالعات آماری، مانند آنالیز تحلیل مؤلفه اصلی جهت بررسی کیفیت رسوبات منطقه مورد مطالعه، از دیگر بررسی‌های انجام شده در این فصل می‌باشد.

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

رسوبات منطقه

در جدول ۵-۱ غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، آورده شده است. غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب و رسوب در جدول ۵-۲ نشان داده شده است. شایان ذکر می‌باشد با توجه به اینکه در پنج ایستگاه اول نمونه آبی جهت برداشت وجود نداشت، لذا شماره ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب از W6 آغاز شده است. در واقع S6 نمونه رسوب زیر نمونه آب W6 می‌باشد و به همین ترتیب تا S25 و W25 ادامه دارد.

جدول ۵-۱- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های آب منطقه (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

نمونه	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
W6	۲۰/۶۱۹	۶۴/۴۷۸	۳/۴۱۹	۱۵/۹۲۴	۱۱۴	۱/۵۶	۴۶/۱۵۰	۲۰۵/۵۷
W7	۴/۳۹۳	۴۰/۸۰۴	۴/۳۴۶	۶/۰۹۵	۵۴	۰/۶۴	۲۱/۳۰۰	۱۱۴/۰۷
W8	۱۶/۴۲۵	۹۵/۲۷۳	۷/۷۰۰	۲۹/۹۹۵	۱۵۲	۲/۷۰	۱۵۹/۷۵۰	۲۸۱/۸۲
W9	۱۵/۱۱۸	۱۰۹/۰۹	۲۱/۰۱۰	۹۰/۳۴۶	۱۵۵	۰/۹۶	۶۱۰/۶۰۰	۲۵۹/۳۵
W10	۱۶/۴۴۳	۹۶/۸۹۷	۷/۰۲۳	۲۰/۷۴۷	۱۶۰	۲/۵۰	۸۸/۷۵۰	۱۶۷/۷۵
W11	۱۳/۵۰۷	۸۳/۳۳۸	۵/۷۰۶	۱۸/۱۰۶	۱۴۸	۲/۶۰	۸۸/۷۵۰	۲۰۵/۵۷
W12	۱۳/۷۸۷	۹۱/۳۳۱	۷/۶۴۷	۲۶/۰۵۹	۱۵۲	۰/۸۳	۱۴۵/۵۵۰	۲۲۰/۸۲
W13	۱۳/۷۴۴	۸۵/۱۲۷	۶/۰۴۹	۱۷/۷۲۵	۱۴۲	۲/۵۰	۸۱/۶۵۰	۱۹۸/۳۵
W14	۱۲/۰۸۸	۷۶/۸۰۸	۶/۲۱۴	۱۶/۸۷۸	۱۴۰	۱/۳۴	۸۶/۹۷۵	۲۱۳/۵۰
W15	۱۲/۲۰۰	۷۳/۱۶۳	۸/۳۱۷	۱۷/۰۵۸	۱۳۴	۱/۳۴	۱۰۲/۹۵۰	۱۵۹/۸۲
W16	۱۵/۷۳۳	۹۷/۷۴۰	۸/۸۶۰	۲۱/۳۵۰	۱۵۵	۳/۵	۱۰۸/۲۷۵	۲۵۱/۳۲
W17	۳۶/۳۳۶	۹۳/۸۰۵	۵/۲۲۱	۱۴/۴۱۰	۱۳۲	۱/۷۸	۹۵/۸۵۰	۲۵۹/۳۵
W18	۲۰/۳۱۷	۱۰۲/۲۰۷	۸/۵۶۷	۲۴/۳۳۳	۱۸۵	۱/۴۰	۱۱۳/۶۰۰	۲۷۴/۵۰
W19	۲۰/۴۵۴	۱۱۰/۳۰۲	۸/۳۱۱	۲۴/۴۷۷	۱۹۰	۰/۹۴	۱۱۳/۶۰۰	۲۸۱/۸۲
W20	۲۰/۴۶۸	۹۷/۸۳۸	۸/۸۷۷	۲۴/۱۶۰	۱۷۵	۰/۹۰	۱۱۷/۱۵۰	۲۸۱/۸۲
W21	۲۰/۹۰۴	۹۹/۰۴۷	۸/۶۲۵	۲۴/۵۰۹	۱۸۵	۱/۰۸	۱۱۷/۱۵۰	۲۶۶/۵۷
W22	۲۰/۶۹۵	۹۴/۷۶۹	۷/۷۴۹	۲۳/۳۶۶	۱۹۰	۱/۲۰	۱۱۷/۱۵۰	۲۵۱/۳۲
W23	۱۸/۳۴۶	۸۳/۷۶۳	۵/۶۹۲	۲۰/۵۶۵	۱۸۵	۱/۵۶	۱۱۳/۶۰۰	۲۴۴/۰۰
W24	۲۱/۶۳۹	۱۰۰/۱۹۲	۵/۹۱۳	۲۱/۲۸۳	۱۶۵	۲/۷۰	۱۰۲/۹۵۰	۲۲۸/۷۵
W25	۲۳/۳۲۰	۱۱۴/۹۷۵	۵/۹۳۳	۲۲/۵۸۴	۲۰۰	۳/۵۰	۱۱۰/۰۵۰	۲۲۸/۷۵
استاندارد آب آشامیدنی	۳۰.***	۳۰.****	—	۲۰.**	۲۵۰.***	۵۰.**	۲۵۰.***	—
خروجی فاضلاب*	۱۰۰	۷۵	—	۱	۴۰۰	۵۰	۶۰۰	—

*سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران ۱۳۷۳

WHO 2011 و *EPA 2012

***استاندارد ۱۰۵۳ ایران ۱۳۸۸

جدول ۵-۲- غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب و رسوب منطقه مورد مطالعه

نمونه	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb	Sr	Co	دما (C°)	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/L)	OM (%)	CaCO ₃ (%)
S1	۸۸/۴	۱۱۵/۷	۶۸/۷	-/۶۸	۲۰/۹	۱۴۴/۰	۲۷۲/۳	۶/۶	—	۸/۳۶	۱۰۳	—	-/۳۱	-/۳۳
S2	۵۸/۳	۷۸/۸	۴۰/۲	-/۷۳	۲۵/۲	۱۳۵/۵	۲۵۱/۲	۷/۴	—	۸/۰۷	۱۲۴	—	-/۵۹	۱/۰۷
S3	۷۱/۶	۱۲۱/۷	۴۹/۷۵	-/۶۷	۲۱/۴	۱۳۵/۲	۱۳۲/۷	۷/۳	—	۸/۲۳	۴۴	—	-/۳۷	۱/۷۸
S4	۷۳/۲	۷۵/۲	۳۸/۳	-/۸۰	۲۷/۶	۱۲۵/۱	۲۹۰/۲	۷/۸	—	۸/۳۹	۵۸	—	-/۱۴	-/۶۳
S5	۶۴/۸	۱۷۰/۹	۱۹/۸	-/۹۰	۲۱/۷	۷۰۴/۶	۳۱۰/۷	۷/۸	—	۸/۶۴	۵۸	—	-/۷۱	-/۶۳
S6	۵۶/۰	۸۱/۱	۲۹/۳	-/۸۲	۲۸/۰	۱۳۸/۴	۲۴۲/۹	۸/۱	—	۹/۰۹	۵۳	—	-/۰۴	-/۷۷
S7	۷۶/۵	۱۱۲/۸	۱۹/۷	-/۶۱	۱۶/۶	۱۳۸/۷	۱۷۷/۹	۶/۷	—	۸/۹۸	۵۵	—	-/۳۰	-/۱۸
S8	۱۱۷/۹	۱۷۶/۴	۲۸/۲	-/۹۸	۳۲/۲	۵۰/۵	۲۰۲/۳	۹/۱	—	۷/۹۹	۲۱۱	—	-/۲۶	-/۷۲
S10	۲۸۲/۷	۳۴۰/۲	۲۸/۱	۱/۰۷	۲۸/۲	۳۱۳/۵	۲۱۸/۸	۸/۸	—	۷/۸۳	۱۸۵	—	-/۶۱	-/۹۲
S11	۲۰۲/۲	۳۹۲/۷	۲۲/۹	۱/۱۲	۲۵/۷	۳۵۸/۶	۲۴۲/۳	۸/۶	—	۸/۰۰	۱۲۲	—	-/۵۶	-/۷۲
S12	۹۱/۲	۸۵/۶	۱۳/۰	-/۴۹	۱۲/۸	۹۱/۸	۱۳۷/۵	۶/۶	—	۸/۲۵	۱۳۸	—	-/۱۶	-/۵۳
S13	۱۵۳/۷	۸۶/۷	۱۹/۰	-/۵۸	۲۱/۵	۱۳۸/۷	۳۳۴/۵	۷/۰	—	۸/۴۹	۱۵۳	—	-/۳۲	-/۹۳
S14	۹۵/۴	۹۶/۹	۱۹/۷	-/۷۴	۲۲/۹	۱۵۷/۵	۲۲۹/۳	۸/۰	—	۸/۴۱	۱۰۴	—	-/۲۲	-/۵۰
S15	۱۱۷/۷	۷۴/۱	۲۲/۶	-/۸۲	۲۳/۶	۱۹۷/۵	۲۴۱/۱	۷/۶	—	۷/۶۱	۳۱۶	—	-/۴۶	-/۷۲
S16	۱۱۵/۲	۱۰۰/۱۲	۲۱/۵	۱/۰۱	۲۵/۵	۲۰۱/۷	۲۶۰/۸	۸/۸	—	۷/۱۶	۱۳۸	—	-/۶۳	-/۶۰
S17	۶۸/۷	۶۰/۶	۲۱/۷	۱/۱۳	۲۳/۲	۱۳۰/۸	۱۷۹/۲	۷/۸	—	۸/۹۴	۷۹	—	-/۱۷	-/۶۸
S18	۸۴/۰	۹۹/۵	۲۰/۰	-/۶۹	۲۴/۰	۱۴۵/۱	۱۸۱/۶	۷/۵	—	۸/۷۸	۷۱	—	-/۱۵	-/۴۴
S19	۷۷/۵	۱۱۷/۸	۲۴/۲	-/۸۲	۲۸/۴	۱۵۰/۱	۱۸۴/۹	۸/۱	—	۸/۱۸	۸۵	—	-/۵۵	-/۸۱
S20	۵۷/۷	۴۹/۳	۲۲/۱	-/۵۶	۲۱/۲	۱۰۹/۴	۱۶۸/۵	۷/۴	—	۸/۵۳	۳۹۱	—	-/۶۶	۱/۱۱
S21	۷۶/۱	۹۴/۵	۱۹/۴	-/۷۱	۲۴/۵	۴۴/۴	۲۲۴/۷	۷/۲	—	۸/۲۴	۷۴	—	-/۳۰	-/۸۱
S22	۶۴/۲	۵۴/۴	۱۶/۵	-/۶۸	۱۸/۱	۳۳/۵	۳۳۹/۲	۷/۶	—	۸/۷۵	۶۶	—	-/۰۸	-/۵۵
S23	۶۰/۶	۲۹/۲	۱۶/۲	-/۵۶	۱۴/۵	۲۹/۰	۲۷۹/۳	۷/۶	—	۸/۷۸	۵۰	—	-/۱۴	-/۸۲
S24	۵۷/۶	۴۰/۳	۲۰/۷	-/۷۳	۲۱/۵	۴۰/۲	۲۳۵/۵	۸/۳	—	۸/۴۵	۶۴	—	-/۱۵	-/۹۷
S25	۴۹/۱	۱۹/۵	۱۶/۴	-/۵۵	۱۴/۹	۲۹/۶	۲۲۰/۸	۶/۳	—	۸/۴۹	۶۷	—	-/۱۵	-/۸۶
W6	ND	ND	ND	ND	ND	۳۰	۵۹/۸	ND	—	۸/۰	۶۷۵	۴۸۵	—	—
W7	ND	ND	ND	ND	ND	—	۱۸/۹	ND	—	۸/۰	۲۴۵	۲۳۹	—	—
W8	ND	ND	ND	ND	ND	۶۷	۸۰/۲	ND	—	۱۰/۴	۱۲۳۵	۸۳۴	—	—
W9	ND	ND	ND	ND	ND	۹۰	۸۲/۳	ND	—	۷/۹	—	—	—	—
W10	ND	ND	ND	ND	ND	—	۸۶/۸	ND	—	۷/۹	۱۲۱۶	۸۱۲	—	—
W11	ND	ND	ND	ND	ND	۱۲۲	۷۰/۲	ND	—	۷/۷	۱۰۳۴	۶۹۴	—	—
W12	ND	ND	ND	ND	ND	۸۳	۷۳/۰	ND	—	۷/۷	۱۲۱۹	۷۹۷	—	—
W13	ND	ND	ND	ND	ND	۴۷	۷۰/۹	ND	—	۸/۰	۱۰۳۷	۶۹۱	—	—
W14	ND	ND	ND	ND	ND	۵۴	۶۱/۳	ND	—	۷/۸	۹۴۶	۶۳۱	—	—
W15	ND	ND	ND	ND	ND	۳۱	۵۹/۲	ND	—	۷/۹	۱۱۷۵	۷۸۳	—	—
W16	ND	ND	ND	ND	ND	۲۶	۷۹/۲	ND	—	۷/۸	۱۲۵۵	۸۳۷	—	—
W17	ND	ND	ND	ND	ND	۳۳	۹۸/۲	ND	—	۷/۹	۹۰۵	۶۰۵	—	—
W18	ND	ND	ND	ND	ND	۴۶	۹۵/۲	ND	—	۸/۰	۱۴۲۱	۹۴۷	—	—
W19	ND	ND	ND	ND	ND	۶۲	۹۴/۵	ND	—	۸/۰	۱۴۴۵	۹۶۹	—	—
W20	ND	ND	ND	ND	ND	۵۰	۸۹/۵	ND	—	۸/۱	۱۴۰۰	۹۳۱	—	—
W21	ND	ND	ND	ND	ND	۶۸	۸۹/۵	ND	—	۸/۵	۱۳۹۷	۹۳۲	—	—
W22	ND	ND	ND	ND	ND	۱۱۱	۸۵/۰	ND	—	۹/۱	۱۵۵۰	۱۰۱۳	—	—
W23	ND	ND	ND	ND	ND	—	۷۲/۹	ND	—	۹/۱	۱۱۶۲	۷۷۵	—	—
W24	ND	ND	ND	ND	ND	۱۱۶	۸۶/۹	ND	—	۹/۹	۱۰۵۳	۷۰۲	—	—
W25	ND	ND	ND	ND	ND	۱۴۹	۹۶/۶	ND	—	۹/۱	۱۱۵۹	۷۷۲	—	—
	۳۳	۹۵	۵۲	-/۱۷	۷۲	۱۹	۳۲۰	۱۴	—	—	—	—	—	—
	۲۰۰۰ ^{۰۰}	۱۰۰ ^{۰۰}	۷۰ ^{۰۰}	۳ ^{۰۰}	۵۰ ^{۰۰}	۱۰ ^{۰۰}	—	—	—	۶/۵-۸/۵ ^{۰۰}	—	۵۰۰ ^{۰۰۰}	—	—
	۱	۲	۲	۰/۱	۲	۱	—	۱	—	۶/۵-۸/۵	—	—	—	—

استانداردهای آب آشامیدنی بر اساس WHO 2011^{۰۰} و EPA 2012^{۰۰۰}

غلظت تمام عناصر در آب (W6-W25) و استانداردهای آب آشامیدنی و خروجی فاضلاب بر حسب ppb می‌باشد.

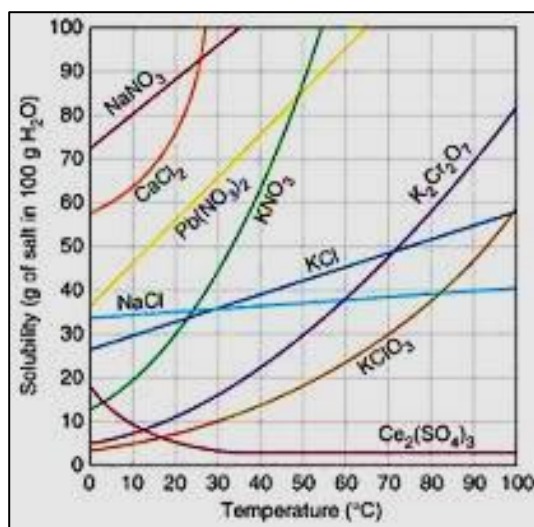
غلظت تمام عناصر در رسوبات (S1-S25) و میانگین رسوبات جهانی بر حسب mg/kg می‌باشد.

Bowen, 1979^{۰۰۰۰}

سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، ۱۳۷۳^۰

۵-۳- بررسی تغییرات دما

دما یکی از مهم‌ترین عوامل، در سیستم‌های آب سطحی، در طبیعت، به‌شمار می‌رود. دمای آب‌های سطحی، فعالیت گونه‌های بیولوژیکی موجود در آب را کنترل می‌کند و بر روی بسیاری از واکنش‌های شیمیایی موجود در سیستم‌های آبی، اثر می‌گذارد. همچنین، تغییرات دما در میزان انحلال‌پذیری مواد موجود در آب، تأثیرگذار است. انحلال‌پذیری وابسته به دما است و می‌توان آن را به‌کمک منحنی انحلال‌پذیری نشان داد. در نمودار انحلال‌پذیری، هر منحنی رو به بالا، به معنی این است که ماده در آب گرم بهتر حل می‌شود، در این صورت گفته می‌شود انحلال گرماگیر است و برعکس، چنانچه منحنی رو به پایین باشد، ماده در آب سرد بهتر حل می‌شود و انحلال را گرماده نامند. چنانچه منحنی به‌صورت افقی باشد، نشان می‌دهد که ماده در دماهای مختلف، انحلال‌پذیری ثابتی دارد. (شکل ۵-۱).

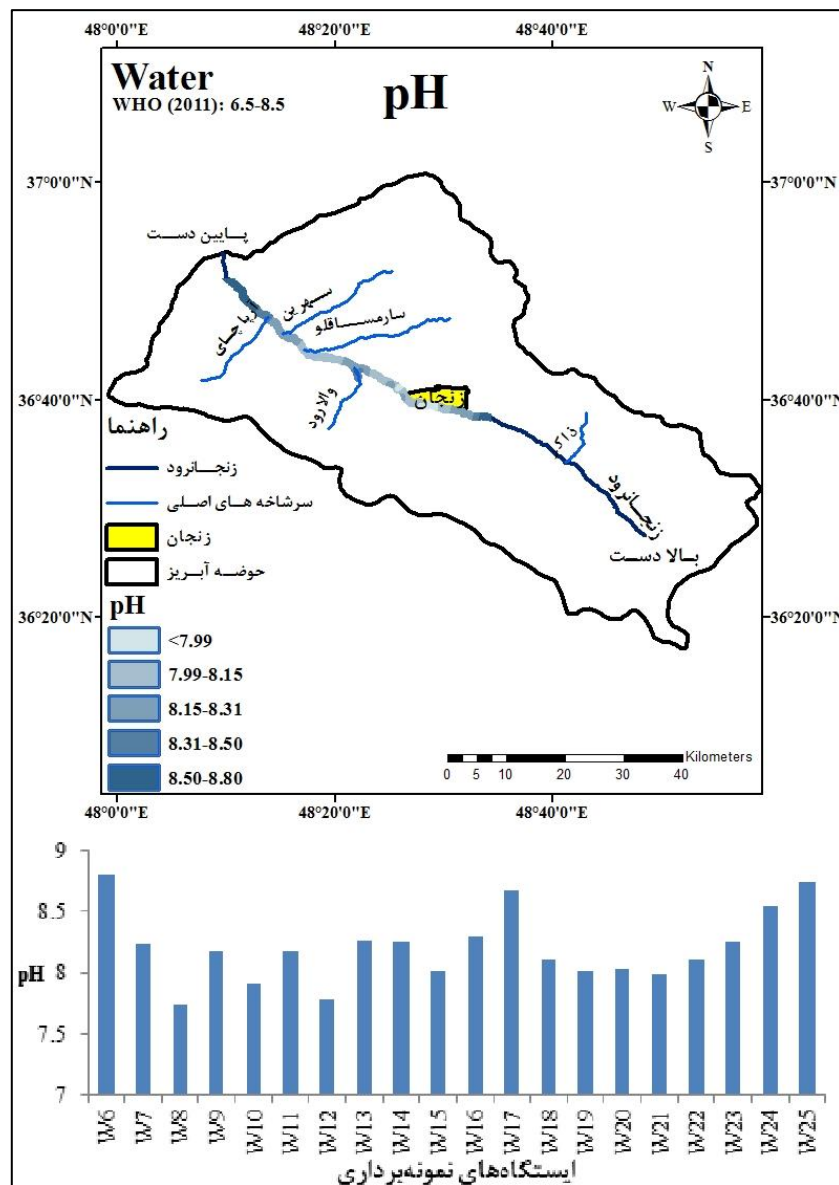


شکل ۵-۱- رابطه میان دما و انحلال‌پذیری در آب (مورتیمر، ۱۳۸۴)

دمای آب منطقه مورد مطالعه، بین ۷/۷ تا ۱۰/۴ درجه سانتی‌گراد متغیر است. پایین بودن دما در رودخانه زنجانرود، سبب کاهش انحلال‌پذیری عناصر جزئی و یون‌های موجود در آب، گردیده است.

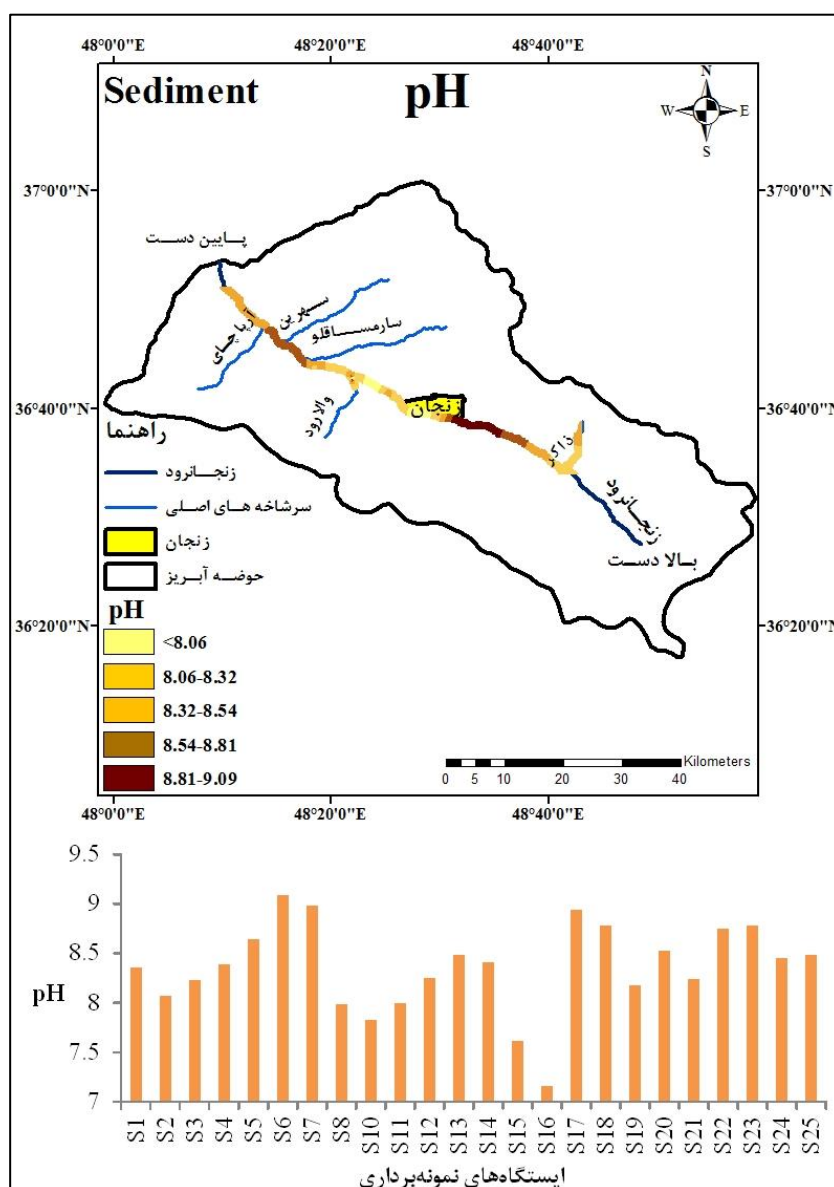
۵-۴- بررسی تغییرات pH در نمونه‌های آب و رسوب

pH در میزان دسترس‌پذیری، انحلال و رسوب‌گذاری فلزات مؤثر است. میزان pH آب‌های طبیعی بین ۴ تا ۱۰ می‌باشد و سامانه کربنات- کربنیک اسید، کنترل‌کننده اصلی pH در آب‌های طبیعی است (ایبای، ۱۳۹۱). حد مجاز pH آب آشامیدنی در استاندارد ۱۰۵۳ ایران و WHO 2011 بین ۶/۵ تا ۸/۵ قرار دارد. pH اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب رودخانه، بین ۷/۷۴ تا ۸/۷۴ می‌باشد. در شکل ۵-۲ نقشه تغییرات pH نمونه‌های آب، در مسیر رودخانه نشان داده شده است.



شکل ۵-۲- تغییرات pH در نمونه‌های آب منطقه

با توجه به اینکه ایستگاه شماره W6 بعد از سازند کرج (دارای گدازه‌های بازالتی با بافت حفره‌دار)، قرار گرفته است، دارای بیش‌ترین مقدار pH در نمونه‌های آب می‌باشد. کم‌ترین مقدار pH نمونه‌های آب، متعلق به ایستگاه شماره ۸ (W8) می‌باشد. لازم به ذکر می‌باشد که این ایستگاه در محل تخلیه فاضلاب‌های شهری قرار گرفته است. میانگین pH نمونه‌های آب رودخانه ۸/۳۸ است که نشان می‌دهد آب رودخانه زنجانرود در محدوده قلیائی قرار دارد. در شکل ۵-۳ نقشه تغییرات pH در نمونه‌های رسوب، منطقه نشان داده شده است.

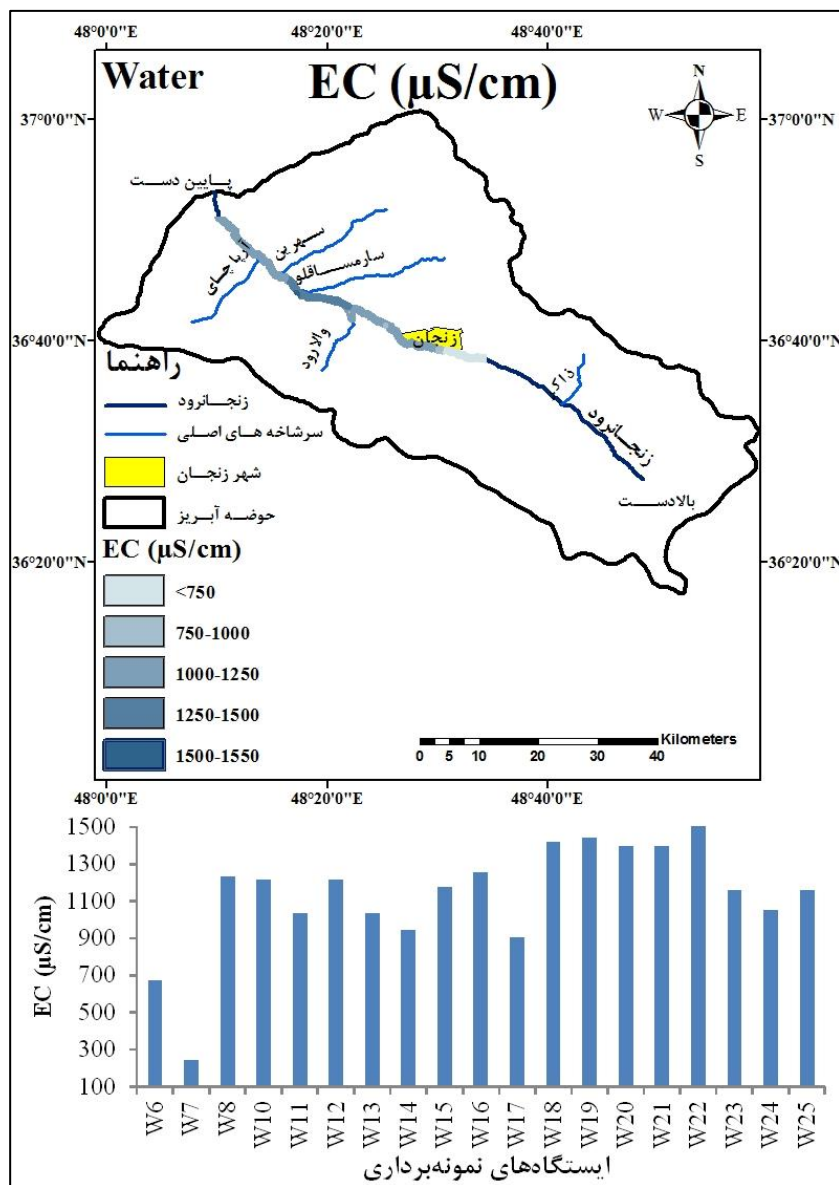


شکل ۵-۳- تغییرات pH در نمونه‌های رسوب منطقه

مشابه نمونه‌های آب، pH نمونه‌های رسوب نیز، در محدوده قلیائی واقع شده است. به‌طور تقریبی، روند افزایشی و کاهشی مقدار pH در نمونه‌های آب و رسوب رودخانه زنجانرود یکسان است. pH نمونه‌های رسوب رودخانه بین ۷/۶۱ تا ۹/۰۹ است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار pH در نمونه‌های رسوب، به‌ترتیب مربوط به ایستگاه شماره ۶ (۹/۰۹) و ایستگاه شماره ۱۶ در سرشاخه والارود (۷/۱۶) می‌باشد. افزایش مقدار pH نمونه رسوب در ایستگاه شماره ۶، همانند نمونه آب در این ایستگاه (W6)، ناشی از گدازه‌های بازالتی است. علت کم بودن pH در رسوب سرشاخه والارود را می‌توان به ورود فاضلاب روستای والارود نسبت داد.

۵-۵- بررسی تغییرات EC در نمونه‌های آب و رسوب

هدایت الکتریکی، شاخص کلی برای اندازه‌گیری کیفیت آب است که ناشی از خاصیت رسانایی جریان الکتریسیته در محیط آبی می‌باشد. هدایت الکتریکی نماینده حضور یون‌های موجود در آب و کل جامدات محلول در آب (TDS) است (پوی و همکاران، ۱۳۸۲). در شکل ۴-۵ نقشه تغییرات EC نمونه‌های آب در طول رودخانه زنجانرود نشان داده شده است. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب رودخانه زنجانرود از ۲۴۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تا ۱۵۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به ایستگاه شماره W7 می‌باشد که دارای نمک‌های محلول کم‌تری است. این ایستگاه بر روی نهشته‌های سیلابی قرار گرفته و نقطه‌ی ورودی به شهر است. همچنین صنایع اطراف این ایستگاه، کارخانه‌های کوچک نساجی و سنگ‌بری است که تأثیر چندانی بر روی هدایت الکتریکی ندارد. غالباً افزایش و کاهش مقدار هدایت الکتریکی در طول مسیر رودخانه، ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است. از نظر زمین‌شناسی، اکثر ایستگاه‌ها بر روی آبرفت‌های سیلابی قرار دارند. برخی ایستگاه‌ها بر روی سازند کرج قرار گرفته‌اند. سازند کرج متشکل از سنگ‌های آتشفشانی و توف است که حلالیت پایینی دارند و بر روی هدایت الکتریکی ایستگاه‌های مستقر بر روی این سازند تأثیر چندانی ندارند.

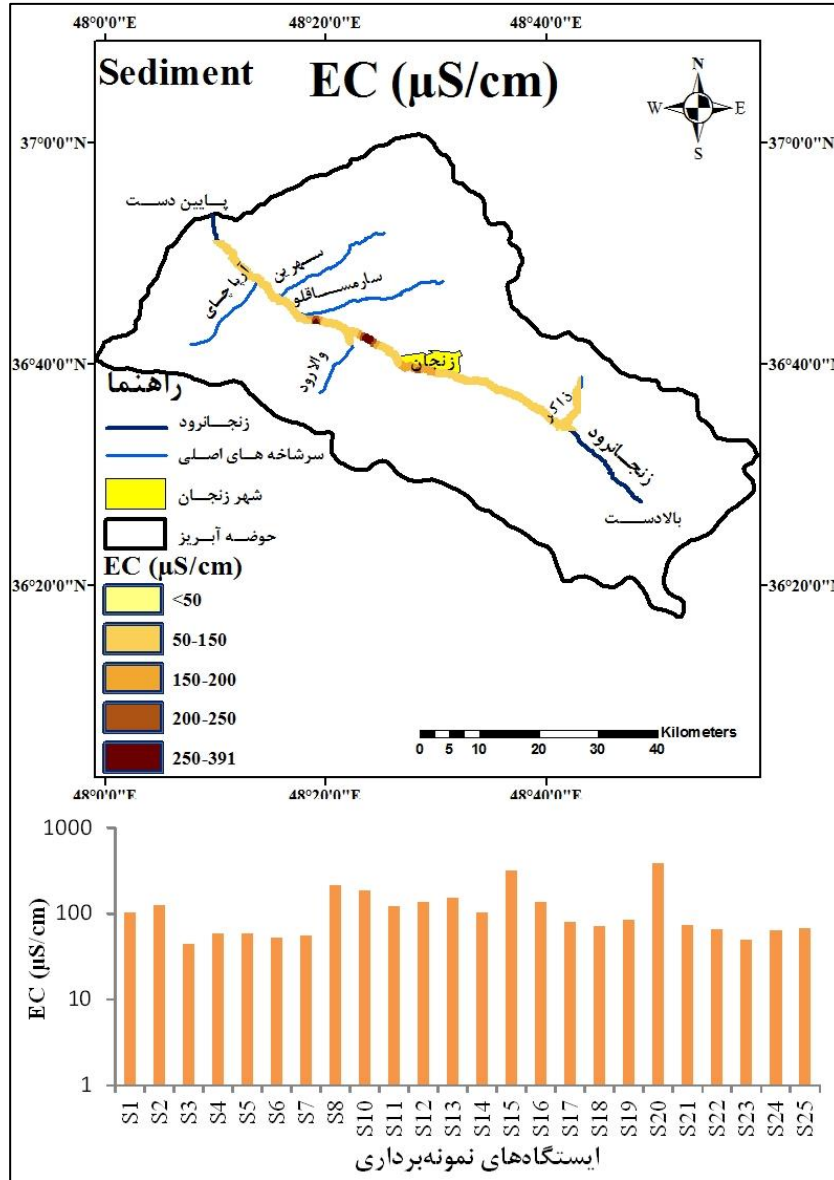


شکل ۴-۵- تغییرات EC در نمونه های آب منطقه

بیشترین مقدار EC در آب مربوط به ایستگاه W22 است. به احتمال زیاد، دلیل این امر، ورود فاضلاب های روستای امین آباد، واقع در محل ایستگاه W22 و افزایش واحدهای تبخیری به سمت پایین دست رودخانه زنجانرود، می باشد. به طور کلی مقدار هدایت الکتریکی به سمت پایین دست حوضه آبریز افزایش چشمگیری را نشان نمی دهد و نوسانات موجود در مقدار هدایت الکتریکی در مسیر رودخانه زنجانرود، می تواند ناشی از ورود فاضلاب های صنعتی، خانگی، پساب کشاورزی، وجود کارخانه های متعدد در ابعاد کوچک و بزرگ در اطراف رودخانه و ورود سرشاخه های فصلی و دائمی به

داخل رودخانه باشد. همچنین شهر زنجان باعث حدود ۶ برابر افزایش (مقایسه EC نمونه‌های W8 با W7) در مقدار EC آب رودخانه شده است. نکته قابل تأمل این است که، در منطقه مورد مطالعه، دما پایین بوده و می‌تواند در مقدار هدایت الکتریکی اثر به‌سزایی وارد نماید. حد مجازی برای EC در استاندارد آب آشامیدنی ۱۰۵۳ ایران، سازمان بهداشت جهانی (WHO) و آژانس حفاظت از محیط‌زیست (EPA) تعیین نشده است.

هدایت الکتریکی مربوط به نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه، نوسانات بیش‌تری را نسبت به آب نشان می‌دهد (شکل ۵-۵). کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به نمونه رسوب S3 ($44 \mu\text{S}/\text{cm}$) و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به نمونه رسوب S20 ($391 \mu\text{S}/\text{cm}$) می‌باشد. مقدار میانگین هدایت الکتریکی در رسوبات رودخانه برابر با $118/52 \mu\text{S}/\text{cm}$ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. وجود شرکت آفتاب پژوه، تولید کننده‌ی پایدارکننده‌های پی وی سی (نمک‌ها، سولفات سدیم، هیدروکسید آلومینیم)، سبب افزایش مقدار هدایت الکتریکی در محل ایستگاه S2 شده است. ورود رودخانه به شهر، باعث افزایش EC در نمونه‌های رسوب از ایستگاه S8 به بعد گردیده است. در ایستگاه‌های داخل شهر به علت ورود فاضلاب‌ها و تجمع زباله‌های شهری به مسیر رودخانه، میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. همچنین در محل ایستگاه S15 نیز افزایش می‌یابد. ایستگاه S15 پس از روستای کوشکن، دانشگاه زنجان و شهرک صنعتی شماره ۱ واقع شده است. پس از ایستگاه S15 مقدار هدایت الکتریکی رسوب کاهش می‌یابد تا اینکه در ایستگاه S20 به بیش‌ترین مقدار خود ($391 \mu\text{S}/\text{cm}$) می‌رسد. علت این امر ممکن است ورود مواد شوینده از روستاها، مراکز صنعتی و خانه‌باغ‌های اطراف باشد (شکل ۵-۶). برای مقدار هدایت الکتریکی موجود در رسوبات، حد مجازی تعیین نشده است.



شکل ۵-۵- تغییرات EC در نمونه‌های رسوب منطقه



شکل ۵-۶- وجود مقدار زیادی کف در محل ایستگاه S20 (دید به سمت شمال غرب)

۵-۶- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کیفیت منابع آب منطقه

رودخانه زنجانرود یکی از مهم‌ترین منابع آب سطحی در استان زنجان محسوب می‌شود. در مسیر این رودخانه، روستاها، مراکز صنعتی و زمین‌های کشاورزی متعددی قرار دارند که می‌توانند در کیفیت آب این رودخانه تأثیر گذار باشند.

۵-۶-۱- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

۵-۶-۱-۱- کاتیون‌ها

- سدیم

سدیم حلالیت بالایی در آب‌های طبیعی دارد و به فراوانی یافت می‌شود. غلظت بالای سدیم در آب آشامیدنی می‌تواند بر روی سلامتی اثرگذار باشد و سبب افزایش فشار خون در افراد مبتلا به بیماری فشار خون گردد. آب‌های دارای مقدار زیاد سدیم، جهت مصارف کشاورزی و اهداف آبیاری مناسب نمی‌باشند (Kuppuraj et al., 2010).

سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و استاندارد ۱۰۵۳ ایران، حد مجاز سدیم در آب شرب را 200 mg/L پیشنهاد کرده‌اند. محتوای سدیم در منطقه مورد مطالعه از $6/095$ تا $29/995$ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. تمام نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، دارای مقدار پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده، برای سدیم، جهت اهداف آشامیدنی می‌باشند. سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، استاندارد خروجی فاضلاب جهت تخلیه به آب‌های سطحی، برای سدیم را، 1 میلی‌گرم بر لیتر تعیین نموده است، بنابراین در تمامی ایستگاه‌ها، غلظت سدیم، بیش از حد مجاز تعیین شده برای خروجی فاضلاب می‌باشد. کاهش ناگهانی سدیم در ایستگاه W7، ناشی از افزایش دبی رودخانه زنجانرود در محل این ایستگاه است.

- پتاسیم

پتاسیم یک عنصر ضروری برای موجودات زنده محسوب می‌شود و از طریق زنجیره غذایی وارد بدن انسان می‌گردد. علائم کمبود این عنصر در بدن، شامل خستگی، خواب آلودگی، ضعف عضلانی، یبوست، نامنظمی ضربان قلب و تأخیر در تخلیه معده می‌باشد (ویکی‌پدیا، ۲۰۱۳).

پتاسیم در کانی‌های بالای سری بوون (Bowen) قرار دارد. این کانی‌ها در نزدیکی سطح زمین تشکیل می‌شوند و دارای مقاومت بالا در برابر هوازدگی می‌باشند. بنابراین غلظت کم پتاسیم در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه را می‌توان ناشی از کانی‌های مقاوم حاوی پتاسیم دانست. از دیگر عوامل احتمالی غلظت کم پتاسیم، می‌توان به ورود این یون به ساختار کانی‌های رسی به‌ویژه ایلیت اشاره کرد که در طول مکانیسم جذب و تشکیل کانی‌های ثانویه ایجاد می‌شوند (تیموری به نقل از Gaofeng et al., 2010).

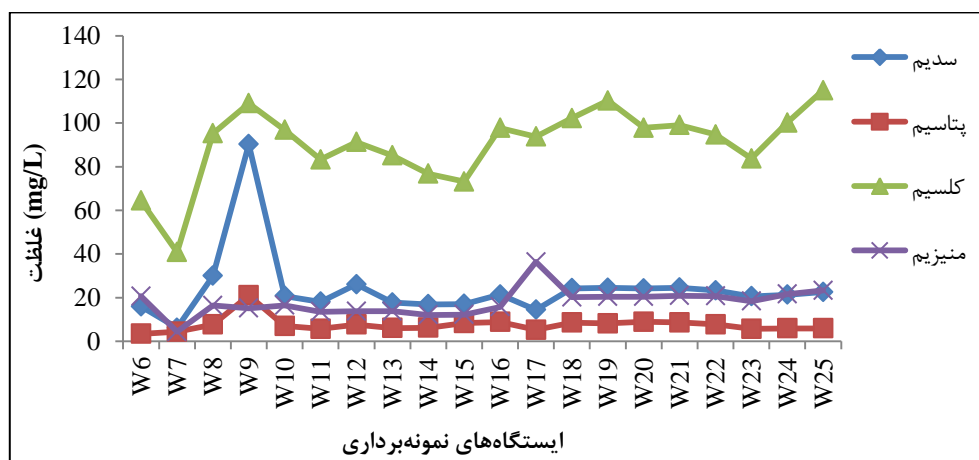
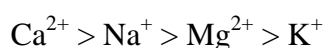
میانگین غلظت پتاسیم در کل مسیر مورد مطالعه، ۶/۸۲ میلی‌گرم بر لیتر است. بالاترین مقدار پتاسیم مربوط به ایستگاه W9 می‌باشد. این ایستگاه، نمونه پساب شهری و فاضلاب خانگی است که به موازات رودخانه در بالادست آن، به‌صورت روباز، جریان دارد و به‌طرز غیراصولی، در محیط رها شده است. کم‌ترین مقدار پتاسیم مربوط به ایستگاه W6 می‌باشد که اولین ایستگاه دارای آب، در منطقه مورد مطالعه است. استاندارد ۱۰۵۳ ایران و WHO (2011) عددی را به عنوان مقدار مجاز برای پتاسیم در نظر نگرفته‌اند. تا حدی حضور شهر و شهرک صنعتی (W8 و W15 به ترتیب) بر افزایش غلظت پتاسیم مؤثر بوده‌اند، ولی به‌طور کلی تغییرات شدیدی در غلظت این کاتیون در مسیر رودخانه دیده نمی‌شود.

- کلسیم و منیزیم

حد مطلوب کلسیم و منیزیم برای مصارف آشامیدنی، به ترتیب ۳۰۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است

(استاندارد ۱۰۵۳ ایران، ۱۳۸۸). در این مطالعه، دامنه تغییرات کلسیم و منیزیم به ترتیب ۴۰/۸۰۴ تا ۱۱۴/۹۷۵ و ۴/۳۹۳ تا ۲۳/۳۲ میلی گرم بر لیتر می باشد. غلظت کاتیون منیزیم در تمامی ایستگاه‌های نمونه برداری به جز ایستگاه W17، پایین تر از حد مجاز می باشد. ایستگاه W17 بر روی سرشاخه والارود واقع شده است، این سرشاخه به ترتیب از بالادست به سمت رودخانه زنجارود از سازندهای باروت، دولومیت‌های سلطانیه، سازند بایندور، سازند کهر، نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیوسن - پلیئستوسن، سازند کرج و در نهایت از تراس‌های آبرفتی عبور می کند و به رودخانه زنجارود می ریزد. سازندهای باروت، سلطانیه، بایندور و کهر حاوی دولومیت می باشند. دولومیت غنی از کلسیم و منیزیم می باشد. بنابراین افزایش مقادیر غلظت کلسیم و منیزیم در این ایستگاه را می توان به منشأ زمین‌زاد آن نسبت داد. از سوی دیگر افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در ایستگاه‌های ورودی به شهر در زنجارود (W8) را می توان به تأثیر فاضلاب شهری بر افزایش غلظت این دو یون در مسیر زنجارود نسبت داد.

همانطور که در شکل ۵-۷ مشاهده می شود، غلظت کاتیون‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه، از بالادست حوضه به سمت پایین دست حوضه، عموماً یک روند افزایشی را نشان می دهد. به طور کلی روند تغییرات کاتیون‌ها نسبت به هم در زیر آمده است:



شکل ۵-۷- تغییرات غلظت کاتیون‌ها در منطقه

۵-۶-۱-۲- آنیون‌ها

- کلرید

کلر به شکل عنصری در طبیعت وجود ندارد، اما، به دلیل ماهیت واکنشی آن، در بسیاری از ترکیبات، وجود دارد. از کاربردهای این عنصر می‌توان به استفاده از کلر در سفید کننده‌ها، مواد ضد عفونی کننده و رنگ‌ها، اشاره کرد. اسید هیدروکلریک (HCl)، یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی صنعتی است (Ede, 2006).

محتوای کلرید در رودخانه زنجانرود، $21/3$ تا $159/75$ میلی‌گرم بر لیتر است. سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و استاندارد 1053 ایران، حد مجاز کلرید در آب آشامیدنی را 250 mg/L تعیین نموده‌اند. غلظت کلر در تمامی نمونه‌های رودخانه پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. حد مجاز این آنیون بر اساس سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای خروجی فاضلاب 600 mg/L می‌باشد که در نمونه فاضلاب W9 مقادیر بیش از حد مجاز را نشان می‌دهد. با توجه به نفوذپذیری بالای زمین در اطراف رودخانه زنجانرود و جنس واحدهای زمین‌شناسی در ارتفاعات اطراف رودخانه (مارن، دولومیت، ماسه‌سنگ، شیل) و کم بودن واحدهای تبخیری در منطقه، به‌طور کلی غلظت کلر در دیگر نمونه‌های آب پایین‌تر از مقدار استاندارد تعیین شده، می‌باشد. همچنین افزایش حدود $7/5$ برابر (مقایسه نمونه W7 و W8) غلظت کلرید در رودخانه زنجانرود، تأثیر ورود فاضلاب شهری بر افزایش غلظت این آنیون را واضح می‌سازد.

- سولفات

سولفات‌ها به‌طور طبیعی در کانی‌های متعدد، از جمله باریت^۱، اپسومیت^۲ و ژیپس^۳ وجود دارند. سولفات‌ها، به همراه کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و سدیم در منابع آبی مشاهده می‌شوند و در

1- Barite
2- Epsomite
3- Gypsum

تولید کود، مواد شیمیایی، رنگ، شیشه، کاغذ، صابون‌ها، منسوجات، قارچ کش‌ها، حشره کش‌ها، خمیر چوب، فلز و آبکاری، تصفیه فاضلاب استفاده می‌شوند (Ede, 2006).

سولفات در آب آشامیدنی می‌تواند ایجاد طعم و مزه نماید، حداکثر غلظت مجاز سولفات، ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، است (EPA, 2012). بین یون سولفات و منیزیم از نظر تغییر طعم و امکان اختلال در جهاز هاضمه ارتباطی وجود دارد، از این رو در شرایطی که مقدار منیزیم از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌تر باشد، مقدار سولفات نباید بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد (استاندارد ۱۰۵۳ ایران).

با توجه به استانداردهای موجود، غلظت سولفات در منطقه مورد مطالعه، از حد مجاز تجاوز ننموده است. در ایستگاه W7 به علت رقیق‌شدگی، از میزان سولفات نسبت به ایستگاه قبل از آن (W6) کاسته شده است. به‌طور کلی یکی از دلایل احتمالی پایین بودن غلظت سولفات نسبت به استاندارد جهانی در کل منطقه را، می‌توان به رسوبات آبرفتی اطراف رودخانه نسبت داد که مساحت وسیعی از حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. افزایش غلظت سولفات در رودخانه (W10) نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های شهرنشینی بر پراکنش این عنصر در مسیر رودخانه است.

- نیتрат

فاضلاب‌های شهری و پساب کشاورزی، منابع رایج آلودگی نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشند. غلظت بالای نیترات منجر به بیماری متموگلوبینمیا^۱ می‌شود و مصرف طولانی مدت آب غنی از نیترات، ممکن است سرطان‌زا باشد (Kuppuraj et al., 2010).

غلظت نیترات در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه، روندی نوسانی دارد و پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (EPA, 2012) می‌باشد. کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت این یون مربوط به ایستگاه W7 (۰/۶۴ mg/L) و ایستگاه W8 (۳/۵ mg/L) می‌باشد. غلظت نیترات در

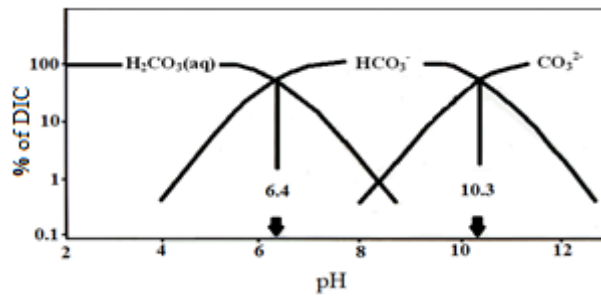
1- Methemoglobinemia

ایستگاه شماره W8 بالا بوده و این به دلیل تأثیر شهرنشینی و فاضلاب شهری است. ایستگاه W7 دارای کمترین مقدار نیترات می‌باشد که می‌تواند به دلیل افزایش دبی، ورود آبراهه‌های فصلی به زنجانرود و رقیق سازی آب رودخانه و کم‌تر بودن منابع تولید مواد آلی قبل از ایستگاه باشد.

- بی‌کربنات

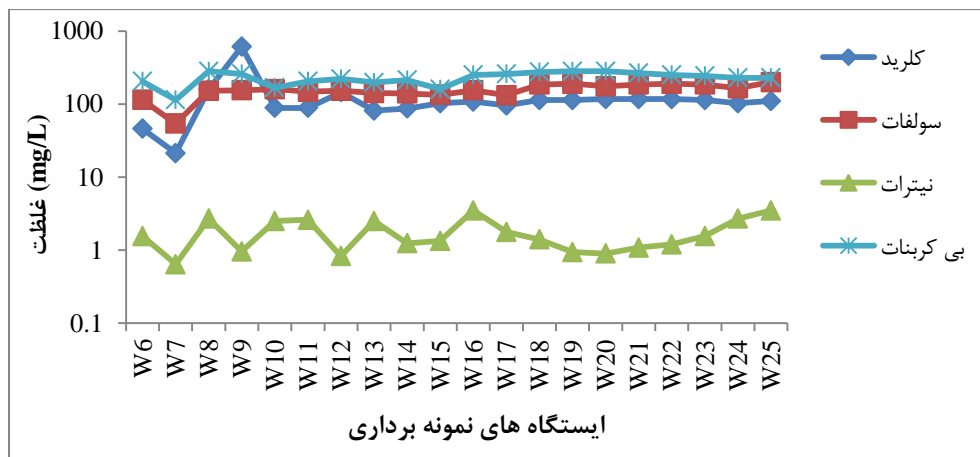
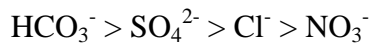
ایستگاه W8 (رودخانه در داخل شهر) و W7 (رودخانه قبل از ورود به شهر)، به ترتیب دارای حداکثر (281/82 mg/L) و حداقل (114/07 mg/L) مقدار یون بی‌کربنات می‌باشند.

همانطور که در شکل ۵-۸ نشان داده شده است، اگر $\text{pH}=10/33$ باشد، یون‌های کربنات و بی‌کربنات با فراوانی مساوی حضور خواهند داشت. فعالیت یکسان گونه‌ها منحصراً توسط ثابت‌های تفکیک تعیین می‌شوند، که تنها اندکی با دما دچار تغییر می‌شوند. اگر $\text{pH}<10/33$ باشد، یون بی‌کربنات در محیط غالب است و اگر $\text{pH}>10/33$ باشد، غلظت یون کربنات بیش‌تر از غلظت یون بی‌کربنات خواهد بود (Eby, 2004). pH کلیه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه کم‌تر از ۸/۸ بوده، بنابراین مقدار کربنات در نمونه‌های مورد مطالعه کم تا صفر است. عامل افزایش یون بی‌کربنات در منطقه مورد مطالعه، انحلال کانی‌های کربناتی (کلسیت و دولومیت) موجود در سازندهای باروت، سلطانیه، بایندور و کهر که دارای دولومیت می‌باشند و همچنین سازندهای لار، روته و شمشک در وسعت اندک، که دارای واحدهای شیلی کربناته می‌باشند، در سمت چپ حوضه آبریز، می‌توانند منشأ زمین‌زاد بی‌کربنات در منطقه مورد مطالعه باشد. از طرفی، افزایش مقدار بی‌کربنات در ایستگاه‌های داخل شهر، می‌تواند نشان از تأثیر تخلیه‌ی زباله‌های شهری و فاضلاب شهری، بر غلظت این یون در زنجانرود باشد.



شکل ۵-۸- فعالیت نسبی گونه‌های مختلف کربنات به عنوان تابعی از pH (Eby, 2004)

همانطور که در شکل ۵-۹- مشاهده می‌شود، غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه، از بالادست حوضه به سمت پایین‌دست حوضه، غالباً یک روند افزایش تدریجی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی غلظت آنیون‌های انتخابی در محدوده‌ی مورد مطالعه پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد، و روند تغییرات غلظت آنیون‌ها به‌صورت زیر است:



شکل ۵-۹- تغییرات غلظت آنیون‌ها در منطقه

۵-۶-۲- تیپ و رخساره هیدروشیمیایی نمونه‌های آب رودخانه زنجارود

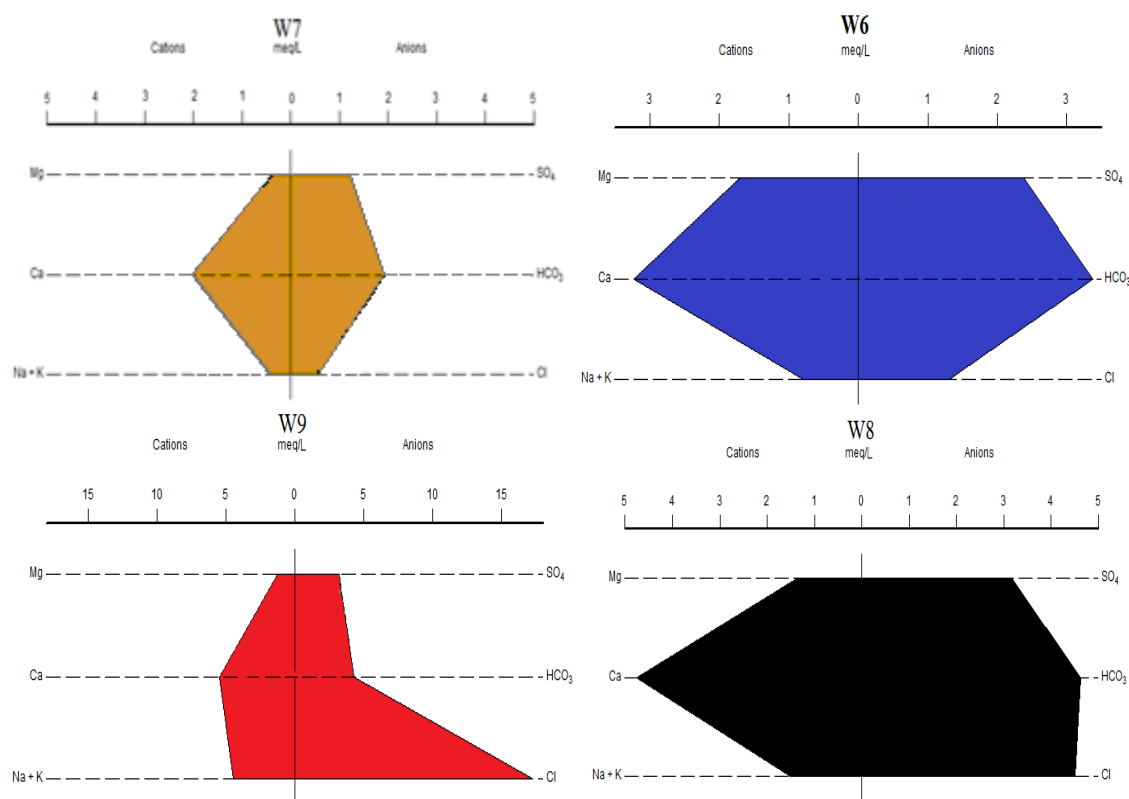
معمولاً برای نمایش ترکیب یونی آب، از نمودارهای استیف^۱، پایپر^۲ و نمودار نیمه لگاریتمی شولر^۳

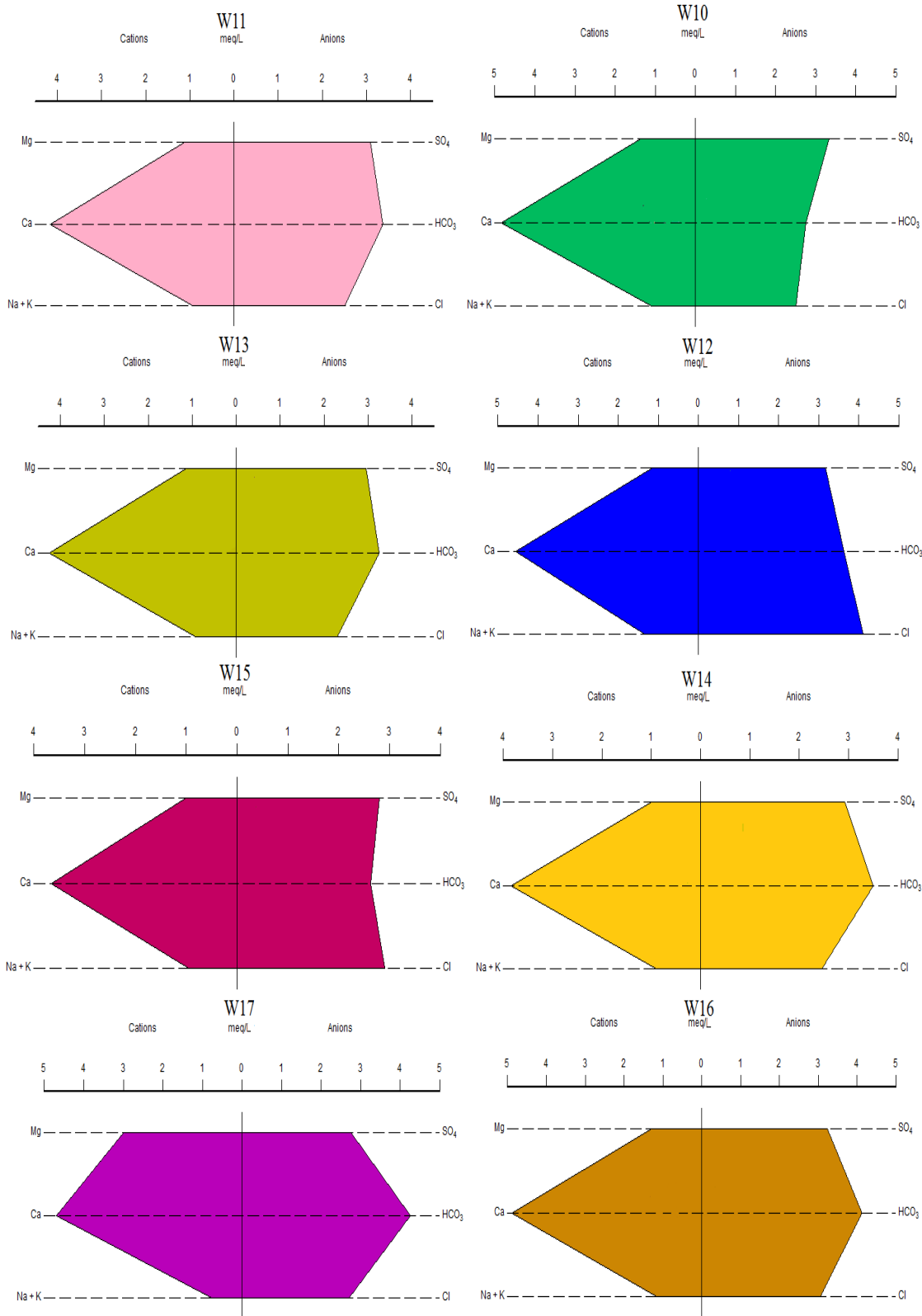
1- Stiff
2- Piper
3- Schoeller

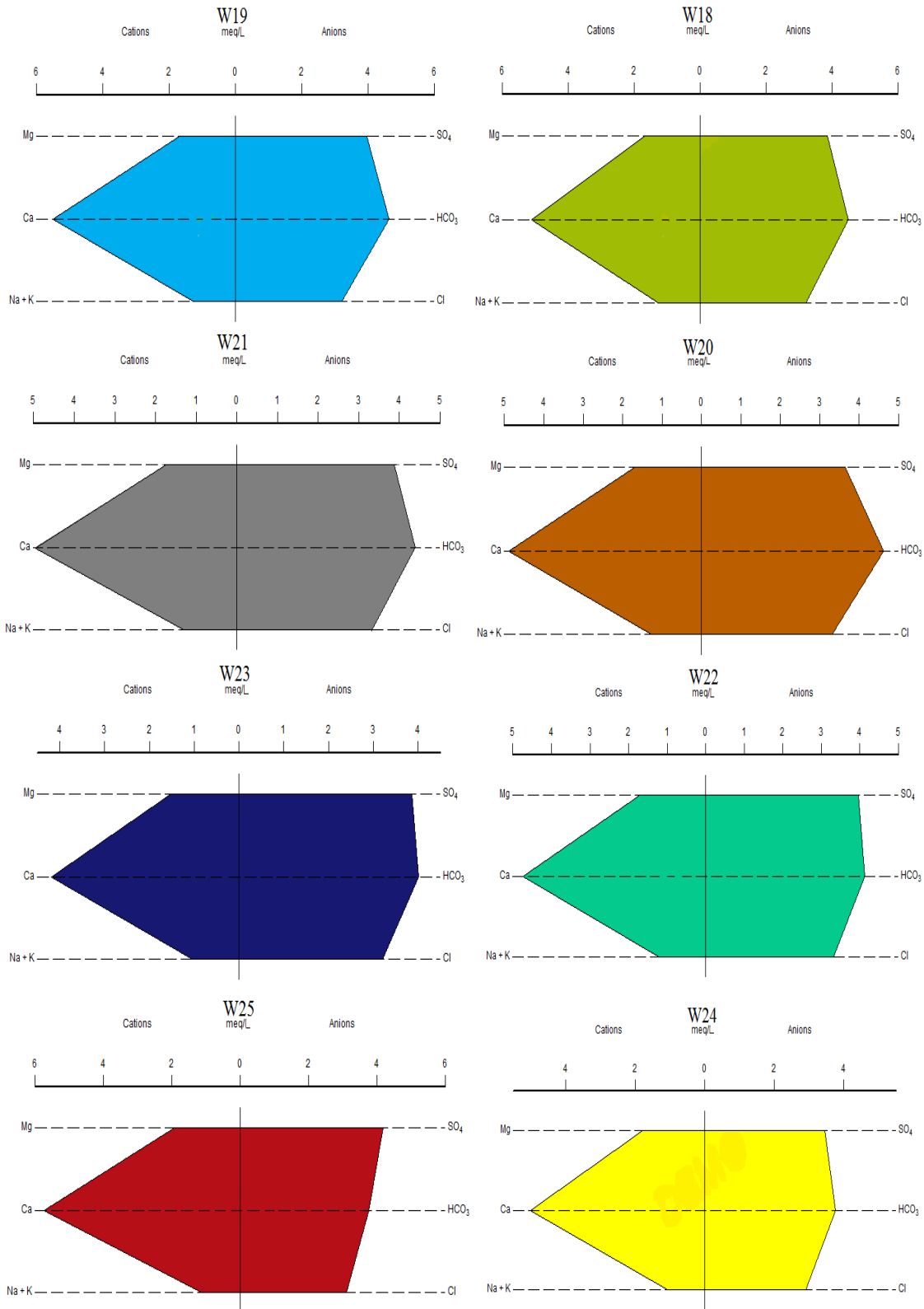
استفاده می‌گردد (Todd and Mays, 2005). در ادامه به توضیح هر یک از نمودارها و تغییرات تیپ و رخساره آب در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، که بخشی از رودخانه زنجانرود می‌باشد، می‌پردازیم.

۵-۶-۲-۱- نمودار استیف

غلظت یون‌های اصلی (کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان) در نمودارهای استیف به شکلی نمایش داده می‌شوند که هم فراوانی نسبی گونه‌های مختلف و هم فراوانی کل این گونه‌ها ارائه شود (Hem, 1985). نتایج تجزیه شیمیایی بر روی خطوط افقی پیاده می‌شود. با اتصال نقاط به یکدیگر، شکل‌های مشخصی به دست می‌آید که از نظر مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها، بسیار سودمند است (صداقت، ۱۳۸۷). با توجه به نمودارهای استیف رسم شده در منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت که رخساره آب در تمام ایستگاه‌ها کلسیک می‌باشد (شکل ۵-۱۰).







شکل ۵-۱۰- نمایش تیپ آب رودخانه زجانرود برای هر ایستگاه به کمک نمودارهای استیف

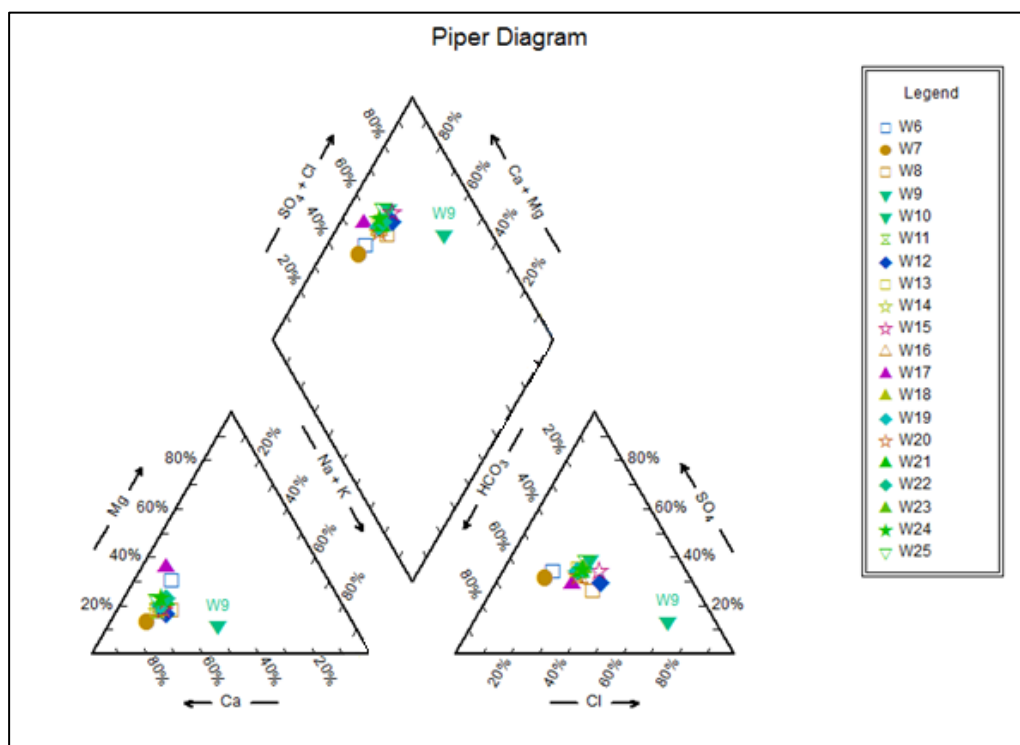
به‌طور کلی آب‌ها از نظر ترکیب شیمیایی، دارای ۳ تیپ اصلی شامل سولفاتی، کلروره و

بی‌کربناتی می‌باشند. هر کدام از تیپ‌ها، دارای ۳ رخساره کلسیک، منیزیک، سدیک (سدیم + پتاسیم) هستند. از بررسی نمودارهای استیف در رودخانه زنجانرود مشخص می‌شود که نمونه آب در ایستگاه‌های W9، W12 و W15، آب از نوع کلروره کلسیک و در ایستگاه‌های W10 و W25 آب از نوع سولفات کلسیک است. ایستگاه W10 در داخل شهر قرار دارد و دلیل این امر می‌تواند تأثیر فعالیت‌های شهری و فاضلاب شهری باشد. ایستگاه W25 در انتهای مسیر قرار گرفته است و دارای رسوبات تبخیری سولفات‌دار است. در باقی ایستگاه‌ها، کاتیون غالب، Ca^{2+} و آنیون غالب نیز، HCO_3^- است، بنابراین، آب در این ایستگاه‌ها، دارای تیپ بی‌کربناته و رخساره کلسیک است. دلیل این امر را می‌توان به غالب بودن رخنمون سازندهای باروت، سلطانیه، بایندور، کهر، لار، روته و شمشک، حاوی دولومیت و واحدهای شیلی کربناته نسبت داد.

۵-۶-۲-۲- نمودار پایپر

برای تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمیایی نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه، از نمودار پایپر توسط نرم‌افزار Aq.QA استفاده گردید (Piper, 1944). بر خلاف نمودار استیف که فقط برای یک نمونه به کار می‌رود، در نمودار پایپر می‌توان تعداد زیادی از نمونه را در یک دیاگرام نشان داد و جهت تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی آب‌ها بسیار مفید می‌باشد. نمودار پایپر مشخصات شیمیایی آب را بر حسب غلظت نسبی اجزاء نشان می‌دهد (صداقت، ۱۳۸۷). نحوه استفاده از این دیاگرام به این ترتیب می‌باشد که غلظت هر یون بر حسب میلی‌اکی‌والان محاسبه می‌شود. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در مثلث مربوط به خود رسم می‌شوند. سپس داده‌های رسم شده در هر مثلث، با رسم یک خط از نقطه مثلث کاتیونی به موازات محور Mg، و یک خط از نقطه مثلث آنیونی به موازات محور SO_4 ، به درون چهارضلعی فراتاب می‌شوند، تقاطع این دو خط در چهارضلعی یک نقطه است که نشان‌دهنده ترکیب یونی آب است. اگر نمونه آب در مرکز یک مثلث یونی رسم شود، به آن رخساره‌ی آمیخته کاتیونی یا آمیخته آنیونی گفته می‌شود (ایبای، ۱۳۹۰).

با توجه به جدول ۳-۵، نتایج حاصل از محل قرارگیری نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که تیپ و رخساره نمونه‌های آب کلروره کلسیک (۰.۱۵٪)، بی‌کربناته کلسیک (۰.۷۵٪) و سولفات کلسیک (۰.۱۰٪) می‌باشد.



شکل ۵-۱۱- نمودار پایپر برای نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

در جدول ۳-۵، تیپ و رخساره نمونه‌های آب هر یک از ایستگاه‌ها و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، نشان داده شده است. در ایستگاه‌های W9، (نمونه فاضلاب شهر زنجان) W15 (بعد از شهرک صنعتی) و W12 (بعد از شهر زنجان) آب دارای تیپ کلروره و رخساره کلسیک می‌باشد. در مسیر رودخانه زنجانرود تیپ آب از نوع بی‌کربناته و سولفات است و رخساره آب کلسیک است.

وجود کوه‌های سلطانیه در جنوب حوضه آبریز زنجانرود، که دارای ترکیب ماسه‌سنگی، شیل رسی-سیلتی، دولومیتی، آهکی، شیل‌های کربناته و لایه‌های ماسه‌سنگی با لایه‌های عدسی شکل ذغال‌دار، می‌باشند، سبب شده است تا در اکثر ایستگاه‌ها، تیپ آب کربناته و رخساره آب کلسیک شود.

جدول ۵-۳- تغییرات تیپ و رخساره آب و توالی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های آب رودخانه زنجانرود

نمونه	توالی آنیون‌ها	توالی کاتیون‌ها	تیپ آب	رخساره آب
W6	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W7	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	بی‌کربناته	کلسیک
W8	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	بی‌کربناته	کلسیک
W9	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	کلروره	کلسیک
W10	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	سولفات	کلسیک
W11	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W12	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	کلروره	کلسیک
W13	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W14	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W15	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	کلروره	کلسیک
W16	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W17	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W18	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W19	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W20	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W21	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W22	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W23	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W24	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
W25	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	سولفات	کلسیک

۵-۶-۳- سختی

یون‌های فلزی چند ظرفیتی کلسیم و منیزیم، بیش‌تر از سایر یون‌ها در آب‌های طبیعی یافت می‌شوند. آبی که حاوی بیش از ۱۵۰ ppm کلسیم و منیزیم محلول باشد، آب سخت محسوب می‌شود (غضبان ۱۳۸۱). سایر یون‌های موجود در منابع آبی ممکن است شامل آهن و منگنز به صورت‌های احیاء شده (Mn^{2+} , Fe^{2+})، استرانسیوم (Sr^{2+}) و آلومینیوم (Al^{3+}) باشد. معمولاً غلظت یون آلومینیوم در آب، بسیار کمتر از یون‌های کلسیم و منیزیم است. به‌طور کلی سختی آب را می‌توان برابر با مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم دانست (پوی و همکاران، ۱۳۸۲).

تجزیه سختی بر روی آب‌های طبیعی که جهت اهداف صنعتی و مصارف آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، انجام می‌پذیرد. سختی از صفر تا چند صد و حتی چند هزار میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند. یک طبقه‌بندی عمومی قابل قبول برای سختی، در جدول ۵-۴، آورده شده است.

جدول ۵-۴- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی (پوی و همکاران، ۱۳۸۲)

دامنه تغییرات	سختی (میلی گرم بر لیتر) بر حسب CaCO_3
<۵۰	نرم
۵۰-۱۵۰	متوسط
۱۵۰-۳۰۰	سخت
>۳۰۰	کاملاً سخت

مقبولیت عمومی درجه سختی آب از یک جامعه به جامعه دیگر متفاوت است. آستانه غلظت کلسیم برای مقبول واقع شدن از نظر مزه ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بسته به آنیون همراه آن متغیر است و آستانه غلظت منیزیم برای مقبول واقع شدن از نظر مزه، کم‌تر از غلظت کلسیم است. گاهی اوقات مصرف کنندگان سختی بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را نیز تحمل می‌کنند ولی در سختی بالای ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، صابون کف نمی‌کند. تغییرات pH در سیستم‌های توزیع آب نیز می‌تواند منجر به بروز رسوب در این قبیل سیستم‌ها شود (WHO, 2011). استاندارد ۱۰۵۳ ایران، حداکثر سختی کل مطلوب بر حسب کربنات کلسیم را ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۵-۵) و مقایسه آن‌ها با طبقه‌بندی آب‌ها از نظر سختی (جدول ۴-۵)، ۶۰٪ کیفیت نمونه‌های آب منطقه کاملاً سخت، ۳۵٪ سخت و ۵٪ نسبتاً سخت می‌باشد. سختی بالای آب منطقه را می‌توان به واحدهای آهکی و دولومیتی موجود در منطقه، نسبت داد.

جدول ۵-۵- طبقه‌بندی منابع آب منطقه مورد مطالعه از نظر سختی (mg/L as CaCO_3)

کیفیت آب	نمونه	سختی کل بر اساس سختی کل
سخت	W6	۲۴۵/۸۵
نسبتاً سخت	W7	۱۱۹/۹۶
کاملاً سخت	W8	۳۰۵/۴۹
کاملاً سخت	W9	۳۳۴/۶۱
کاملاً سخت	W10	۳۰۹/۶۱
سخت	W11	۲۶۳/۶۸

ادامه‌ی جدول ۵-۵- طبقه‌بندی منابع آب منطقه مورد مطالعه از نظر سختی (mg/L as CaCO₃)

کیفیت آب بر اساس سختی کل	سختی کل	نمونه
سخت	۲۸۴/۷۹	W12
سخت	۲۶۹/۱۲	W13
سخت	۲۴۱/۵۳	W14
سخت	۲۳۲/۸۹	W15
کاملاً سخت	۳۰۸/۸	W16
کاملاً سخت	۳۸۳/۷۵	W17
کاملاً سخت	۳۳۸/۴	W18
کاملاً سخت	۳۵۹/۵۹	W19
کاملاً سخت	۳۲۸/۵۳	W20
کاملاً سخت	۳۳۳/۳۴	W21
کاملاً سخت	۳۲۱/۸	W22
سخت	۲۸۴/۶۵	W23
کاملاً سخت	۳۳۹/۲۲	W24
کاملاً سخت	۳۸۳/۰۵	W25

۵-۶-۴- ارزیابی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه در رودخانه زنجارود از نظر شرب

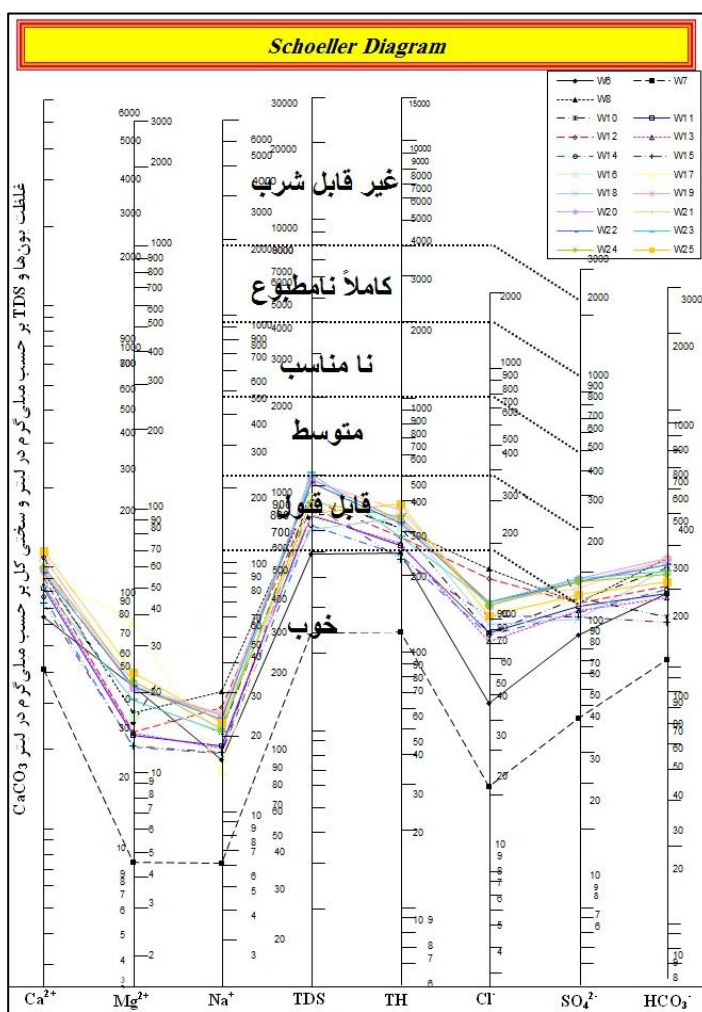
نمودار شولر (Schoeller, 1986) که به آن نمودار لگاریتمی نیز گفته می‌شود، برای طبقه‌بندی آب از نظر آشامیدن به کار می‌رود. در این نمودار مقادیر یون‌ها در ستون‌های قائم نشان داده می‌شوند. تقسیمات ستون‌ها در این نمودار به صورت لگاریتمی است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب‌ها، به صورت خطوط شکسته در این نمودارها، نشان داده می‌شوند (صداقت، ۱۳۸۷).

از نمودار شولر، جهت شناخت وضعیت کیفی آب منطقه مورد مطالعه از نظر شرب، توسط نرم‌افزار Chemistry استفاده شد. بر اساس این نمودار، منابع آبی به ۶ رده طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۵-۶). در اولین رده، آب‌های قابل شرب قرار دارند و آب‌های مضر در رده ششم قرار گرفته‌اند.

جدول ۵-۶- معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب (Schoeller, 1986)

رده	درجه کیفیت آب	کلسیم	منیزیم	سدیم	کل مواد جامد محلول	سختی کل	کلر	سولفات	بی‌کربنات
اول	خوب	<۶	<۵/۸	<۴/۳	<۲۸۰	<۱۹۰	<۵/۳	<۳/۳	<۱/۸
دوم	قابل قبول	۶-۱۱/۵	۵/۸-۱۱/۶	۴/۳-۱۰/۴	۲۸۰-۵۰۰	۱۹۰-۲۵۰	۵/۳-۱۱	۳/۳-۶/۲	۱/۸-۴/۱
سوم	متوسط	۱۱/۵-۲۲/۵	۱۱/۶-۲۳/۳	۱۰/۴-۲۱/۳	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۶۰۰	۱۱-۲۲/۲	۶/۲-۱۲/۵	۴/۱-۷/۳
چهارم	نامناسب	۲۲/۵-۴۲/۵	۲۳/۳-۴۳/۳	۲۱/۳-۴۰/۸	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۶۰۰-۱۰۰۰	۲۲/۲-۵۰/۷	۱۲/۵-۲۵	۷/۳-۱۴/۸
پنجم	کاملاً نامطبوع	۴۲/۵-۹۰	۴۳/۳-۸۳/۳	۴۰/۸-۸۲/۶	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰/۷-۱۱۲/۶	۲۵-۴۸	۱۴/۸-۲۹/۵
ششم	غیر قابل شرب	>۹۰	۴۳/۳-۸۳/۴	>۸۲/۶	>۴۰۰۰	>۲۰۰۰	>۱۱۲/۶	>۴۸	>۲۹/۵

با توجه به شکل ۵-۱۲، مشخص شد که غلظت پارامترهای اندازه‌گیری شده در محدوده مطالعاتی، پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای آب شرب می‌باشد، بنابراین کیفیت آب در محدوده مورد مطالعه جهت مصارف شرب، خوب تا قابل قبول است.



شکل ۵-۱۲- نمودار لگاریتمی تقسیم‌بندی آب محدوده مطالعاتی از نظر آشامیدن (نمودار شولر)

۵-۶-۵- ارزیابی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه در رودخانه زنجانرود از نظر کشاورزی

برای طبقه‌بندی آب مورد استفاده در آبیاری، از روش طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox, 1955) و نمودار آن استفاده شد. در نمودار ویلکاکس، آب آبیاری جهت مصارف کشاورزی براساس دو معیار SAR (خطر سدیم) و EC (هدایت الکتریکی ویژه) به ۱۶ رده تقسیم می‌شود (صداقت، ۱۳۸۷). در این روش آب‌های رده C₁S₁ بهترین و آب‌های رده C₄S₄ بدترین آب برای استفاده در آبیاری است (جدول ۷-۵ و ۸-۵).

جدول ۷-۵- طبقه‌بندی آب جهت کشاورزی بر اساس نسبت جذب سدیم (SAR) و یا خطر قلیایی شدن

SAR	طبقه	کیفیت
<10	S1	خطر قلیایی شدن کم
10-18	S2	خطر قلیایی شدن متوسط
18-26	S3	خطر قلیایی شدن زیاد
>26	S4	خطر قلیایی شدن خیلی زیاد

جدول ۸-۵- طبقه‌بندی آب جهت کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی (EC)

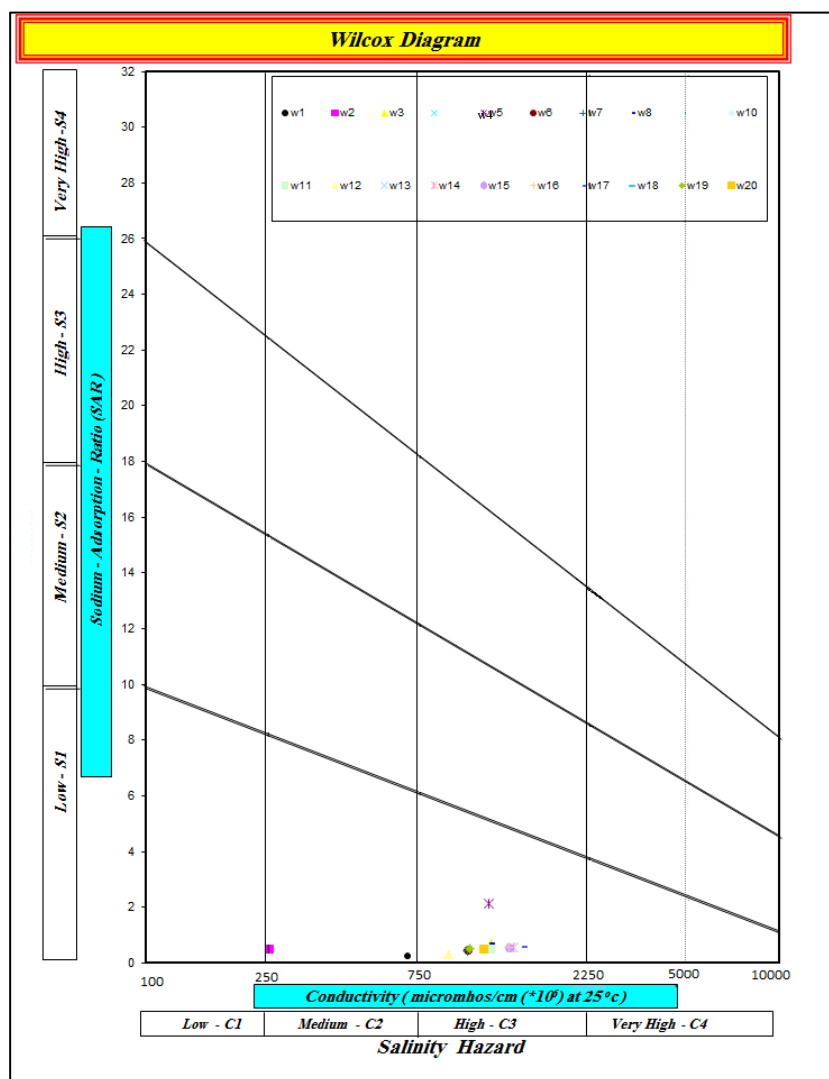
EC (µS/cm)	طبقه	کیفیت از نظر خطر برای خاک
100-250	C1	کم
250-750	C2	متوسط
750-2250	C3	زیاد
>2250	C4	خیلی زیاد

چنانچه مقدار سدیم افزایش یابد، ممکن است جایگزین Ca و Mg موجود در خاک شود و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد (Bashir et al., 2007). میزان این جانشینی را می‌توان با نسبت جذب سدیم (SAR) برآورد کرد که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (۲-۵)$$

در این رابطه، Ca، Na، Mg، نشان‌دهنده غلظت این یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است.

شکل ۵-۱۳، نمودار ویلکاکس را برای نمونه‌های آب منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۳- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار ویلکاکس

برای ترسیم نمودار ویلکاکس، از نرم‌افزار Chemistry استفاده شد. براساس نمودار ویلکاکس (شکل ۵-۱۳ و طبقه‌بندی کیفیت آب در جدول ۵-۹)، ۸۹/۴٪ از نمونه‌ها، در کلاس C_3S_1 (شور- قابل استفاده برای کشاورزی) با سدیم کم و EC زیاد، ۵/۳٪ در کلاس C_1S_1 (شیرین- کاملاً بی‌ضرر) با سدیم کم و EC کم، و ۵/۳٪ در کلاس C_2S_1 (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) با سدیم کم و EC متوسط قرار دارند. به‌طور کلی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، برای اهداف آبیاری در مصارف کشاورزی مناسب هستند.

جدول ۵-۹- طبقه‌بندی کیفیت آب محدوده مطالعاتی برای مصارف کشاورزی

نمونه	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
W6	0.44	675	C2-S1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
W7	0.24	245	C1-S1	شیرین - کاملاً بی‌ضرر
W8	0.74	1235	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W10	0.51	1216	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W11	0.48	1034	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W12	0.67	1219	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W13	0.47	1037	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W14	0.47	946	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W15	0.49	1175	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W16	0.53	1255	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W17	0.32	905	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W18	0.57	1421	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W19	0.56	1445	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W20	0.58	1400	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W21	0.58	1397	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W22	0.56	1550	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W23	0.53	1162	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W24	0.5	1053	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W25	0.5	1159	C3-S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی

از دیگر پارامترهای مهم آب در آبیاری برای مصارف کشاورزی، می‌توان به درصد سدیم و کربنات سدیم ته‌نشین شده اشاره نمود که مقادیر آنها در جدول ۵-۱۰ آورده شده است. این جدول با استفاده از نرم‌افزار Chemistry به‌دست آمده است.

بالا بودن مقدار سدیم، باعث سوختگی ریشه می‌گردد. افزایش مقدار سدیم در آب، سبب کاهش کیفیت آب و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (رحمانی، ۱۳۸۶). درصد سدیم از معادله ۵-۳ به‌دست می‌آید.

$$\text{Na}\% = \frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \times 100 \quad (۳-۵)$$

بر اساس درصد سدیم، کیفیت آب در ۹۵٪ نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، عالی است و در ۵٪

نمونه‌ها خوب است.

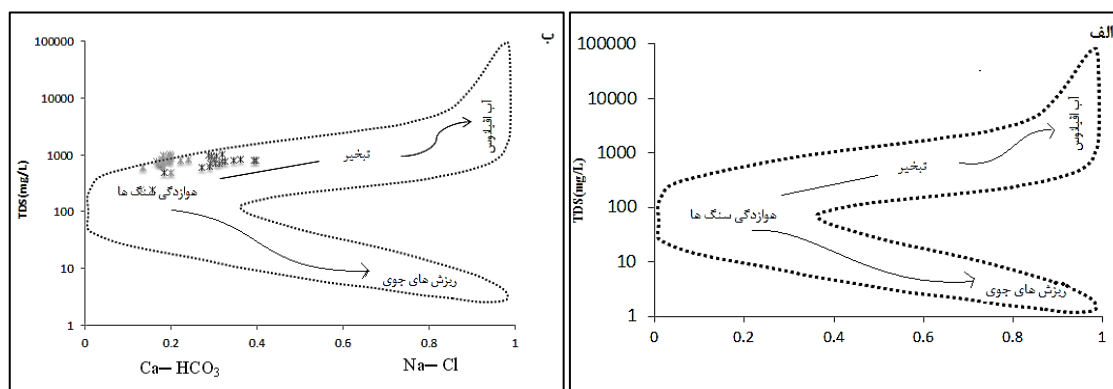
جدول ۵-۱۰- طبقه‌بندی کیفیت آب محدوده مطالعاتی برای مصارف کشاورزی بر اساس درصد سدیم

نمونه	SAR	Na%	کیفیت بر اساس % Na
W6	0.44	13.63	عالی
W7	0.24	13.53	عالی
W8	0.74	19.67	عالی
W9	2.14	39.93	خوب
W10	0.51	14.83	عالی
W11	0.48	14.99	عالی
W12	0.67	18.87	عالی
W13	0.47	14.63	عالی
W14	0.47	15.56	عالی
W15	0.49	16.96	عالی
W16	0.53	15.71	عالی
W17	0.32	8.97	عالی
W18	0.57	15.78	عالی
W19	0.56	15.01	عالی
W20	0.58	16.23	عالی
W21	0.58	16.12	عالی
W22	0.56	15.77	عالی
W23	0.53	15.39	عالی
W24	0.5	13.65	عالی
W25	0.5	12.85	عالی

۵-۶-۶- فرایندهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب منطقه

گیبس (۱۹۷۰)، با راهکاری بحث برانگیز، با خلاصه کردن داده‌های شیمیایی نمونه‌های متعدد منابع آبی، فرایندهای کنترل کننده‌ی ترکیب شیمیایی آب‌های سطحی را مشخص نمود. به نظر وی کاتیون‌های سدیم (آب شور) و کلسیم (آب شیرین) بهترین نمایانگرهای اعضای انتهایی آب‌های شیرین می‌باشند و به همین ترتیب بهترین نمایانگرهای آنیونی دو عضو انتهایی آب‌های سطحی، کلر (آب شور) و بی‌کربنات (آب شیرین) هستند. از رسم فراوانی نسبی کاتیون‌ها و آنیون‌ها یک نمودار بومرنگ شکل به‌دست آمد که بیان کننده سه سازوکار کنترل کننده شیمی آب‌های سطحی می‌باشند.

این سه سازوکار عبارتند از: اول بارش جوئی که توسط آب‌های سطحی با مقدار کل جامدات محلول و کلسیم و کلر نسبتاً بالا مشخص می‌شود و در سمت راست نمودار است. سازوکار دوم هوازدگی است که در سمت چپ نمودار دیده می‌شود. سازوکار سوم تبخیر- تبلور جزء به جزء است. در سازوکار سوم مقدار کل جامدهای حل شده به دلیل تبخیر افزایش می‌یابد. نمودار بومرنگ شکل، مدلی است که بر مبنای نسبت‌های فاکتورهای $\frac{Na^+}{Ca^{2+}+Na^+}$ ، $\frac{Cl^-}{HCO_3^-+Cl^-}$ و TDS ارائه شده است. در شکل ۵-۱۴، قراردعی پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمودار گیبس نشان می‌دهد که عامل غالب در کنترل شیمی آب‌های منطقه مورد مطالعه، بیش‌تر هوازدگی سنگ‌ها و تا حدی تبخیر می‌باشد.



شکل ۵-۱۴- الف- مدل گیبس (Gibbs, 1970). ب- نمایش نمونه‌های آب منطقه بر روی مدل گیبس

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای سرد و خشک است و جنس سنگ‌های در معرض هوازدگی، آهکی و دولومیتی است. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، زمین‌شناسی منطقه و تیپ آب (بی‌کربناته-کلسیک)، غالبیت فرایند هوازدگی در کنترل شیمی آب منطقه، قابل توجیه است.

۵-۶-۷- شاخص اشباع‌شدگی

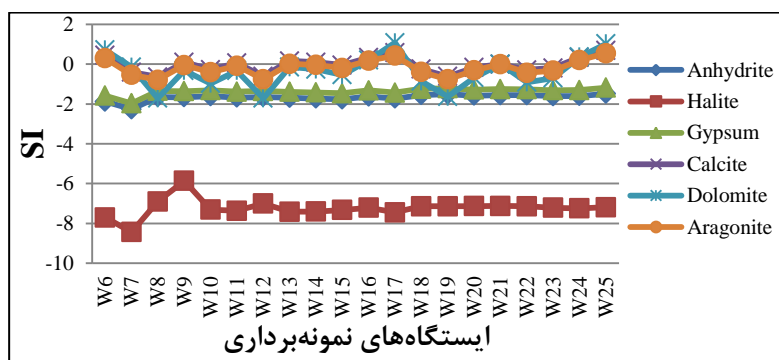
از شاخص اشباع‌شدگی^۱ (SI)، برای کانی‌های مختلف، به منظور ارزیابی میزان تعادل بین آب و کانی استفاده می‌شود. تغییرات موجود در حالت اشباع آب، نسبت به کانی‌های مختلف، مشخص‌کننده واکنش‌های ژئوشیمیایی کنترل‌کننده ترکیب شیمی آب است (آقازاده و همکاران، ۱۳۸۹). به منظور

1- Saturation Index

درک بهتر مهم‌ترین فرایندهای کنترل کننده شیمی، در نمونه آب‌های منطقه مورد مطالعه، شاخص اشباع‌شدگی نمونه‌های آب، برای کانی‌های مختلف، از طریق نرم‌افزار PHREEQC 3.0.6-7757 و رابطه زیر محاسبه گردید (Parkhurst and Appelo, 1999).

$$SI = \frac{IAP}{Kt} \quad (5-5)$$

در این رابطه، SI: شاخص اشباع‌شدگی، IAP: فعالیت یونی و Kt: ثابت انحلال‌پذیری می‌باشد. اگر SI=0 باشد، آب نسبت به کانی مورد نظر در سرحد اشباع است. اگر SI مثبت باشد، فوق اشباع بودن کانی در آب و تمایل آن به ته‌نشینی را نشان می‌دهد. اگر SI منفی باشد، به معنای تحت اشباع بودن کانی در آب و تمایل به انحلال آن است. نتایج به‌دست آمده از محاسبه شاخص اشباع‌شدگی (شکل ۵-۱۵ و جدول ۵-۱۱) نشان می‌دهد که کانی‌های سولفات‌های انیدریت، ژپس و هالیت در نمونه آب‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه، حل شده و تحت اشباع می‌باشند. پس می‌توان گفت غلظت سولفات به حدی نرسیده است که به‌صورت کانی ته‌نشین شود و به‌صورت محلول در آب است. در برخی نمونه‌ها، آب نسبت به کانی‌های کربناته‌ی کلسیت، دولومیت و آراگونیت به حد فوق‌اشباع رسیده است که با توجه به حضور سازندهای زمین‌شناسی دولومیت‌دار و آهک‌دار در ارتفاعات سمت چپ حوضه آبریز، قابل توجیه است. در واقع با افزایش pH و قلیایی شدن نمونه‌های آب، کانی‌های کربناته به سمت تعادل یا فوق اشباع‌شدگی پیش می‌روند.



شکل ۵-۱۵- شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

جدول ۵-۱۱- شاخص اشباع‌شدگی نمونه‌های آب منطقه نسبت به کانی‌های اصلی

نمونه	Anhydrite (CaSO ₄)	Halite (NaCl)	Gypsum (CaSO ₄ .2H ₂ O)	Calcite (CaCO ₃)	Dolomite (CaMg(CO ₃) ₂)	Aragonite (CaCO ₃)
W6	-1.88	-7.7	-1.58	0.44	0.72	0.3
W7	-2.27	-8.43	-1.97	-0.4	-0.142	-0.54
W8	-1.65	-6.9	-1.34	-0.64	-1.71	-0.79
W9	-1.66	-5.86	-1.36	0.1	-0.32	-0.05
W10	-1.61	-7.31	-1.31	-0.27	-0.97	-0.41
W11	-1.68	-7.36	-1.38	0.06	-0.33	-0.08
W12	-1.65	-7	-1.35	-0.61	-1.71	-0.76
W13	-1.69	-7.41	-1.39	0.16	-0.14	0.02
W14	-1.73	-7.4	-1.42	0.1	-0.26	-0.04
W15	-1.77	-7.32	-1.46	-0.05	-0.54	-0.19
W16	-1.62	-7.21	-1.32	0.33	0.2	0.18
W17	-1.73	-7.44	-1.43	0.57	1.08	0.43
W18	-1.55	-7.14	-1.24	-0.25	-0.86	-0.39
W19	-1.51	-7.14	-1.21	-0.62	-1.63	-0.76
W20	-1.58	-7.13	-1.28	-0.17	-0.68	-0.31
W21	-1.56	-7.12	-1.25	0	0	0
W22	-1.56	-7.14	-1.26	-0.29	-0.91	-0.43
W23	-1.61	-7.21	-1.31	-0.19	-0.7	-0.33
W24	-1.6	-7.24	-1.3	0.34	0.36	0.2
W25	-1.49	-7.19	-1.18	0.69	1.02	0.55

۵-۷- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه

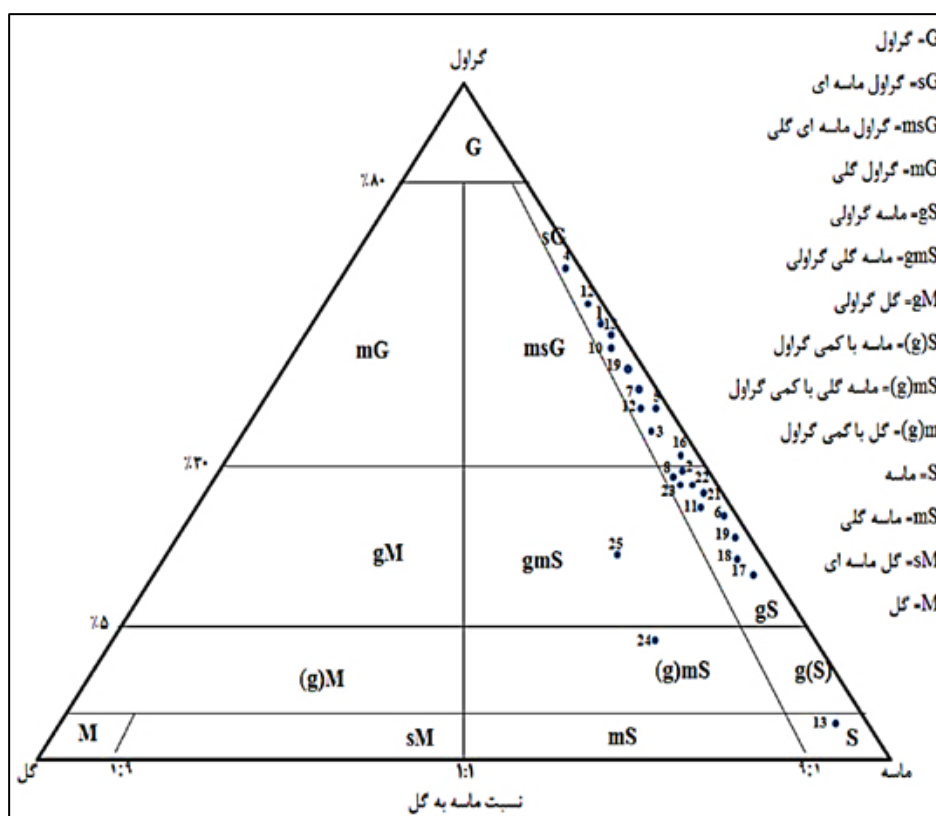
فلزهای سنگین نمی‌توانند برای مدت زمان طولانی به صورت محلول در آب باقی بمانند، این فلزات به طور عمده معلق بوده و توسط رسوبات معلق و رسوبات بستر جذب شده و در نتیجه از فاز محلول به فاز جامد منتقل می‌شوند. همچنین ذرات رسوب، در بعضی از شرایط محیطی، ممکن است فلزهای سنگین را آزاد نمایند و تبدیل به یک منبع ثانویه آلودگی شوند. به همین خاطر توجه به رسوبات، به عنوان یکی از مخازن نهایی طبیعی فلزهای سنگین و تخلیه آن‌ها به محیط ضروری است.

۵-۷-۱- بافت رسوبات

آنالیز توزیع دانه‌های رسوبی جهت مقایسه نمونه‌های مختلف با یکدیگر بسیار پراهمیت است. به کمک این روش می‌توان به خصوصیات رسوبات و فرایندهای مؤثر در تشکیل آن‌ها، پی برد.

طبقه‌بندی بافت رسوبات بر اساس مثلث دانه‌بندی فولک (Folk, 1954)، در جدول ۵-۱۲ و شکل ۵-۱۶، نشان می‌دهد که رسوبات منطقه به صورت پنج بافت گراول ماسه‌ای، ماسه گراولی، ماسه، ماسه گلی گراولی و ماسه گلی با کمی گراول می‌باشند. ایستگاه‌هایی که از شدت جریان بالایی برخوردار هستند، دارای بافت گراول ماسه‌ای می‌باشند. به سمت پایین دست حوضه به دلیل افزایش پهنای

رودخانه و کاهش سرعت جریان آب، بافت رسوبات از نوع دانه‌ریزتر می‌شود و بر مقدار ماسه افزوده می‌گردد. در ایستگاه‌های انتهایی حوضه، دانه‌بندی رسوبات از نوع ماسه گلی گراولی و ماسه گلی با کمی گراول می‌باشد. روند تغییرات اندازه ذرات بدین‌گونه می‌باشد که از درصد گراول به سمت پایین دست حوضه کاسته می‌شود و به درصد ذرات در اندازه ماسه، افزوده می‌گردد.



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

جدول ۵-۱۲- اجزاء مختلف رسوبات منطقه مورد مطالعه

بافت رسوب	Geravel%	Sand%	Mud%	Station
گراول ماسه ای	53.17	45.03	1.8	S1
ماسه گراولی	29.73	66.86	3.41	S2
گراول ماسه ای	31.77	66.97	1.26	S3
گراول ماسه ای	60.87	38.21	0.92	S4
گراول ماسه ای	32.97	65.19	1.84	S5
ماسه گراولی	17.07	82.36	0.57	S6
گراول ماسه ای	40.43	56.86	2.71	S7
ماسه گراولی	22.87	72.35	4.78	S8
-	-	-	-	S9

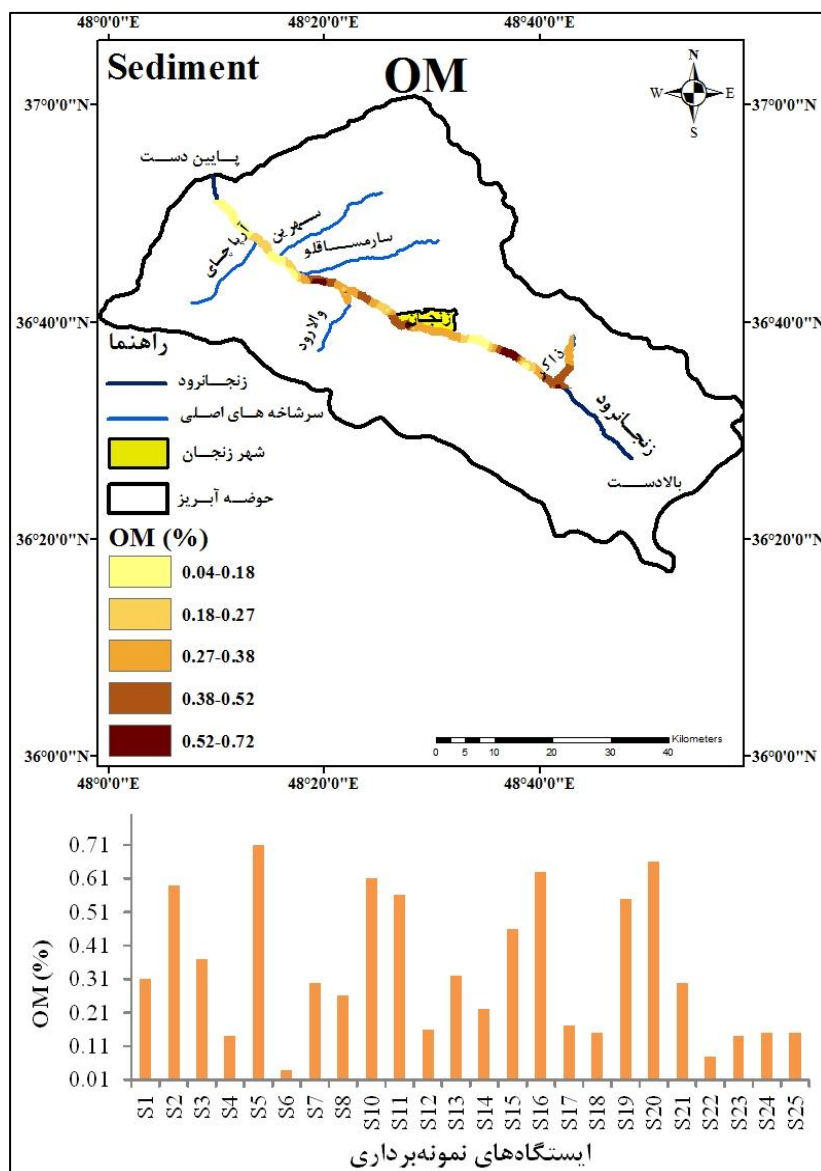
ادامه‌ی جدول ۵-۱۲- اجزاء مختلف رسوبات منطقه مورد مطالعه

بافت رسوب	Geravel%	Sand%	Mud%	Station
گراول ماسه ای	48.25	50.92	0.83	S10
گراول ماسه ای	56.51	41.02	2.47	S11
گراول ماسه ای	32.02	63.98	4	S12
گراول ماسه ای	51.77	46.17	2.06	S13
گراول ماسه ای	30.77	66.36	2.87	S14
ماسه	3.56	96.41	0.03	S15
ماسه گراولی	14.52	82.64	2.84	S16
ماسه گراولی	11.18	86.24	2.58	S17
ماسه گراولی	16.45	76.98	6.57	S18
گراول ماسه ای	42.93	47.6	9.47	S19
ماسه گراولی	24.6	74.65	0.75	S20
ماسه گراولی	27.1	72.03	0.87	S21
ماسه گراولی	27.65	66.2	6.15	S22
سه گلی با کمی گرا	4.54	80.62	14.84	S23
ماسه گلی گراولی	15.3	70.1	14.6	S24
ماسه گراولی	28.32	69.37	2.31	S25

۵-۷-۲- مواد آلی

مواد آلی موجود در رسوبات منابع آبی، ممکن است از منابع طبیعی و یا در اثر فعالیت‌های بشرزاد به وجود آمده باشند. مواد آلی سبب نگهداری فلزات سنگین در رسوبات می‌گردند (پوی و همکاران، ۱۳۸۲). نقشه تغییرات مقادیر مواد آلی در رسوبات در شکل ۵-۱۷ آورده شده است.

ایستگاه S1 در سرشاخه ذاکر قرار دارد و دارای مقدار ماده آلی کمتری نسبت به ایستگاه S2 می‌باشد، که در مسیر زنجانرود، قبل از ورود سرشاخه ذاکر قرار دارد. ایستگاه S3 محل تلاقی سرشاخه ذاکر و رودخانه زنجانرود است. ایستگاه S4 پس از ورود سرشاخه ذاکر بر روی رودخانه زنجانرود قرار دارد. مقدار ماده آلی در ایستگاه‌های S3 و S4 با ورود سرشاخه ذاکر کاهش یافته است. بیشترین مقدار ماده آلی (۰/۷۱٪) در ایستگاه S5 مشاهده می‌شود. واقع شدن شرکت سرب‌وروی در نزدیکی این ایستگاه، می‌تواند از عوامل افزایش مواد آلی در نمونه رسوب S5 باشد. کمترین مقدار ماده آلی مربوط به ایستگاه S6 می‌باشد.



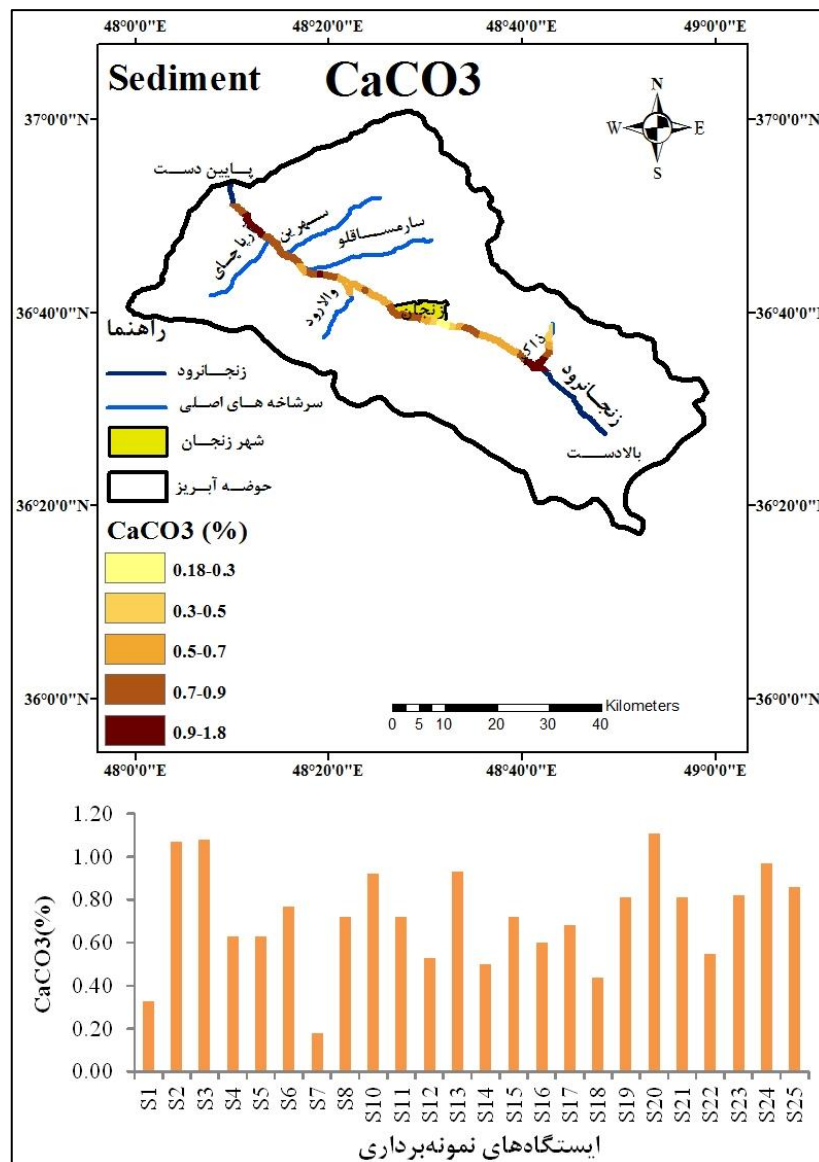
شکل ۵-۱۷- تغییرات مقدار مواد آلی در رسوبات

ایستگاه S6 به دلیل تغذیه دوباره رودخانه، اولین ایستگاهی است که علاوه بر نمونه رسوب دارای نمونه آب نیز می‌باشد و عملاً بخشی از مواد آلی رسوب در آب حل شده است. عدم وجود فعالیت‌های بشرزاد که سبب افزایش مواد آلی در رسوبات می‌گردد، از جمله عوامل کاهش مواد آلی در این ایستگاه است. در ایستگاه‌های داخل شهر (S10 و S11)، مقدار ماده آلی موجود در رسوب، به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری افزایش می‌یابد. در ایستگاه S16 که پایین دست روستای والارود قرار دارد، مقدار ماده آلی ۳۷٪ افزایش یافته است. مقدار ماده آلی در دو ایستگاه S17 و S18 که به ترتیب بر

روی سرشاخه والارود و در محل تلاقی سرشاخه والارود واقع شده‌اند، کاهش می‌یابد. دو ایستگاه S19 و S20 در فاصله کوتاهی نسبت به زمین‌های کشاورزی، در مسیر رودخانه زنجانرود قرار دارند و به احتمال زیاد این امر در افزایش مواد آلی این ایستگاه‌ها مؤثر است. در ادامه با کاهش پوشش گیاهی و کاهش فعالیت‌های بشرزاد، از مقدار ماده آلی کاسته می‌شود.

۵-۷-۳- کربنات کلسیم CaCO_3

در شکل ۵-۱۸، نقشه تغییرات مقادیر کربنات کلسیم نمونه‌های رسوب نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۸- تغییرات مقدار کربنات کلسیم در رسوبات

کمترین و بیشترین غلظت کربنات کلسیم در رسوبات، به ترتیب ۰/۱۸٪ و ۱/۱۱٪ می‌باشد. روند تغییرات کربنات کلسیم در منطقه مورد مطالعه دارای نوسان اندکی است. کمترین مقدار کربنات کلسیم مربوط به ایستگاه W7 می‌باشد. ایستگاه W7 بیش‌تر از جریان‌های گدازه‌ای آندزیتی تأثیر می‌گیرد که این مطلب کم بودن غلظت کربنات کلسیم را توجیه می‌کند. رودخانه زنجانرود در کل مسیر، بر روی رسوبات آبرفتی جوان و رسوبات آواری سخت نشده جوان قرار دارد که تأثیر چندانی در مقدار کربنات کلسیم ایجاد نمی‌کند.

۵-۸- همبستگی بین پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در منابع آب و

رسوبات منطقه

جهت تعیین ضریب همبستگی بین داده‌ها، از نرم افزار SPSS18 استفاده شد. به دلیل نرمال بودن داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. علامت ضریب همبستگی r است که مقدار آن، همواره بین +۱ تا -۱ متغیر است. در صورت وجود یک رابطه مثبت بین داده‌ها، مقدار r به +۱ نزدیک خواهد بود و اگر این رابطه منفی باشد، مقدار r به -۱ نزدیک خواهد شد. میزان معنادار بودن رابطه نیز با $p=0.05$ یا $p=0.01$ تعریف می‌شود. از ضرایب همبستگی برای مشخص نمودن منشأ احتمالی عناصر و بررسی روابط ژئوشیمیایی موجود بین عناصر، استفاده می‌شود.

در جدول ۵-۱۳، همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب، نشان داده شده است. همچنین همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب مورد بررسی، در جدول ۵-۱۴ آورده شده است.

- آب

همبستگی EC با کاتیون‌های کلسیم، پتاسیم و سدیم (به ترتیب ۰/۶۴۶، ۰/۸۵۳ و ۰/۸۳۰) مثبت

است. همچنین EC همبستگی مثبت با سه آنیون بی کربنات (۰/۶۶۸)، سولفات (۰/۷۴۸) و کلر (۰/۸۰۳) دارد. بین EC و TDS یک همبستگی بالا و مثبت ($r=0.995, p<0.01$) وجود دارد. هدایت الکتریکی آب با مقدار کل جامدات محلول رابطه مستقیم دارد. همبستگی هدایت الکتریکی و مقدار کل جامدات محلول، با کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب، به جز منیزیم و نیترات، معنادار است. EC دارای همبستگی منفی با pH (۰/۶۰۰-) است. با افزایش pH و قلیایی شدن محیط، میزان انحلال پذیری کاهش می‌یابد و با کاهش انحلال پذیری از مقدار هدایت الکتریکی کاسته می‌شود. همبستگی مثبت و معنادار بین سدیم با کلر (۰/۸۹۶)، کلسیم (۰/۶۹۶)، پتاسیم (۰/۶۷۲)، بی کربنات (۰/۶۸۸) و سولفات (۰/۷۰۲)، هم‌منشأ بودن آن‌ها از سازندهای کربناته موجود در رشته کوه‌های سلطانیه و سازندهای تبخیری در انتهای مسیر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همبستگی بین کلسیم با منیزیم (۰/۶۲۵) و بی کربنات (۰/۶۷۷) می‌تواند نشان از منشأ گرفتن آن‌ها از سازندهای کربناته (دولومیت و کلسیت) موجود در منطقه باشد. با افزایش pH انحلال پذیری یون‌ها و غلظت یون‌های اصلی محلول در آب کاهش می‌یابد و همبستگی منفی مشاهده شده بین pH با برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها مؤید این مطلب می‌باشد (جدول ۵-۱۳).

جدول ۵-۱۳- مقادیر همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب

	TDS	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	EC	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
HCO ₃ ⁻	۰/۶۵۶ ^{**}	۰/۵۴۳ [*]	۰/۶۷۷ ^{**}	۰/۵۲۱ [*]	۰/۶۸۸ ^{**}	۰/۶۶۸ ^{**}	-۰/۲۲۰	۰/۵۸۴ ^{**}	-۰/۰۳۳	۰/۷۴۸ ^{**}	۱
Cl ⁻	۰/۷۸۵ ^{**}	۰/۳۳۰	۰/۵۴۴ [*]	۰/۶۲۶ ^{**}	۰/۸۹۶ ^{**}	۰/۸۰۳ ^{**}	-۰/۵۸۲ ^{**}	۰/۶۵۰ ^{**}	-۰/۱۶۴	۱	
NO ₃ ⁻	-۰/۱۷۰	۰/۱۹۵	۰/۲۳۲	-۰/۱۸۸	-۰/۰۷۰	-۰/۱۹۷	۰/۴۳۲	۰/۰۵۸	۱		
SO ₄ ²⁻	۰/۷۵۷ ^{**}	۰/۵۲۲	۰/۸۰۸ ^{**}	۰/۴۶۸ [*]	۰/۷۰۲ ^{**}	۰/۷۴۸ ^{**}	-۰/۲۰۴	۱			
pH	-۰/۶۰۸ ^{**}	۰/۲۸۱	-۰/۱۲۳	۰/۵۵۹ [*]	-۰/۶۲۵ ^{**}	-۰/۶۰۰ ^{**}	۱				
EC	۰/۹۹۵ ^{**}	۰/۲۳۹	۰/۶۴۶ ^{**}	۰/۸۵۳ ^{**}	۰/۸۳۰ ^{**}	۱					
Na ⁺	۰/۸۲۱ ^{**}	۰/۲۶۷	۰/۶۹۶ ^{**}	۰/۶۷۲ ^{**}	۱						
K ⁺	۰/۸۴۲ ^{**}	۰	۰/۵۱۸ [*]	۱							
Ca ²⁺	۰/۶۵۱ ^{**}	۰/۶۲۵ ^{**}	۱								
Mg ²⁺	۰/۲۴۷	۱									
TDS	۱										

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

- رسوب

همبستگی منفی pH با عنصر روی (۰/۶۳۹-) نشان‌دهنده رابطه معکوس، بین مقادیر pH و غلظت عنصر مذکور در رسوبات است. pH با سایر پارامترها و فلزات موجود در رسوبات، رابطه آماری معناداری نشان نمی‌دهد و این امر می‌تواند ناشی از تغییرات اندک pH در رسوبات منطقه باشد. اسکاندیم یک عنصر زمین‌زاد در منطقه است. همبستگی بالا و مثبت اسکاندیم با آلومینیوم ($r = 0.814, p < 0.01$) و آهن ($r = 0.829, p < 0.01$) می‌تواند بیانگر منشأ یکسان این عناصر باشد. وجود کارخانه سرب و روی زنجان در مسیر رودخانه زنجانرود، جاده تهران- جلفا- بازرگان به موازات زنجانرود و گراندیوریتها و گرانیت‌های موجود در ارتفاعات طارم و سلطانیه در دو طرف رودخانه، سبب شده است که عنصر سرب با عنصر روی (۰/۶۸۵) همبستگی خوب و مثبت با یکدیگر داشته باشند. همبستگی مثبت بین عناصر کبالت و کروم وجود دارد که منعکس کننده رفتار ژئوشیمیایی مشابه (هر دو جزء عناصر لیتوفیل می‌باشند) و منابع یکسان آنها است (Yuan et al., 2010). فعالیت‌های شهری، کارخانه‌های صنعتی و تردد اتومبیل‌ها در جاده‌های منطقه مورد مطالعه، سبب شده است که عنصر روی با سه عنصر سرب (۰/۶۸۵)، کادمیم (۰/۶۲۰) و مس (۰/۶۷۵)، دارای همبستگی مثبت باشد. همبستگی مثبت کروم، کبالت و کادمیم با عناصر زمین‌زاد منطقه (آلومینیوم، اسکاندیم و آهن) می‌تواند بیانگر منشأ زمین‌زاد این عناصر در حوضه آبریز باشد. وجود لایه‌های زغال‌دار در سازند شمشک حوضه آبریز، می‌تواند سبب افزایش این عناصر در منطقه شود. همبستگی مثبت کادمیم با عناصر زمین‌زاد و بشرزاد منطقه، ناشی از منشأ دوگانه این عنصر است. همبستگی آلومینیوم با عنصر نیکل (۰/۶۷۸) ناشی از حضور کانی‌های الیوین‌دار و پیروکسن دار در ارتفاعات منطقه می‌باشد.

جدول ۵-۱۴- مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه

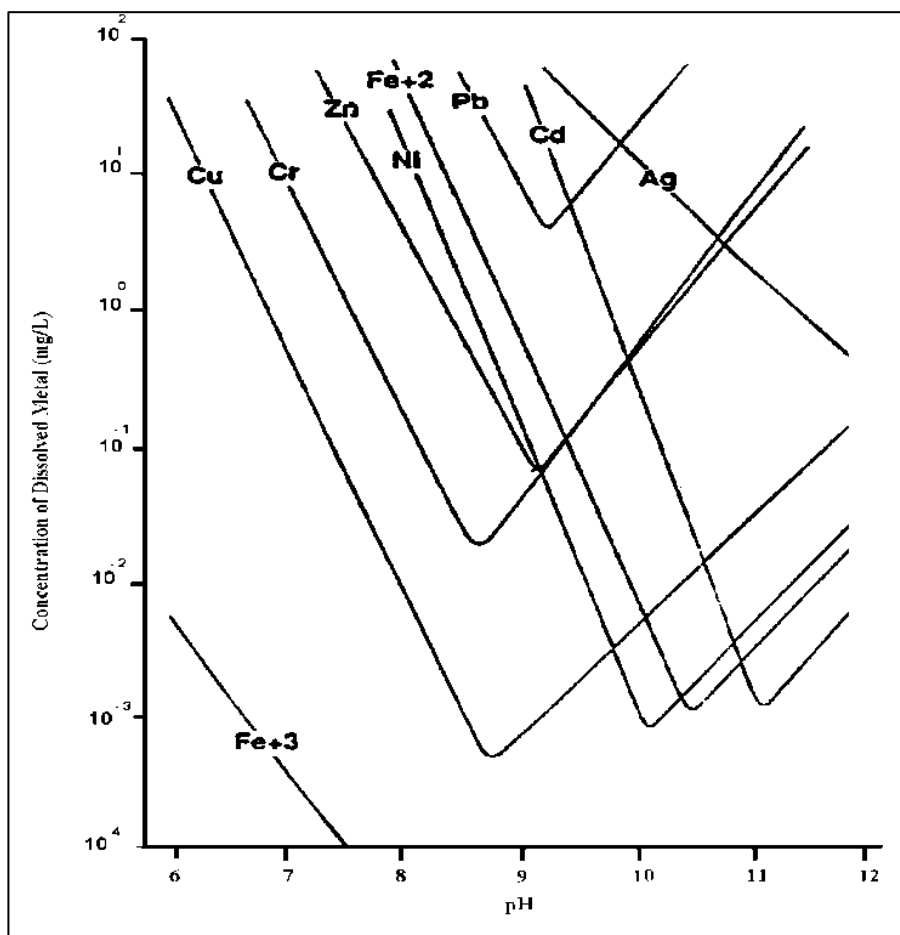
Mud	CaCO3	OM	EC	pH	Sc	Sr	Al	Pb	Cd	Zn	Cu	Fe	Ni	Co	Cr	
															۱	Cr
														۱	۰/۷۴۱**	Co
													۱	۰/۰۵۶	۰/۴۷۱*	Ni
												۱	۰/۳۶۵	۰/۶۴۷**	۰/۷۲۵**	Fe
											۱	۰/۱۵۹	۰/۰۴۷	۰/۴۰۸*	۰/۳۶۱	Cu
										۱	۰/۶۷۵**	۰/۳۴۱	۰/۲۱۱	۰/۵۱۰*	۰/۴۹۳*	Zn
									۱	۰/۶۲۰**	۰/۴۶۹*	۰/۶۱۲**	۰/۲۵۰	۰/۷۸۱**	۰/۷۵۷**	Cd
								۱	۰/۵۱۲*	۰/۶۸۵**	۰/۴۷۸*	۰/۲۵۴	۰/۲۶۹	۰/۲۵۴	۰/۴۱۴*	Pb
							۱	۰/۴۷۸*	۰/۶۰۰**	۰/۴۴۶*	۰/۲۵۳	۰/۷۹۵**	۰/۶۷۸**	۰/۴۹۳*	۰/۷۳۴**	Al
						۱	۰/۳۴۳	۰/۰۰۸	۰/۱۵	۰/۰۲۷	۰/۰۷۳	۰/۲۰۲	۰/۰۱۰	۰/۱۶۱	۰/۱۳۰	Sr
					۱	۰/۲۰۲	۰/۸۱۴**	۰/۲۶۲	۰/۵۴۱**	۰/۳۰۴	۰/۰۷۲	۰/۸۲۹**	۰/۴۳۵*	۰/۶۰۰**	۰/۶۰۰**	Sc
				۱	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۲۲۷	۰/۲۶۴	۰/۴۰۷*	۰/۶۳۹**	۰/۵۸۶**	۰/۱۲۹	۰/۱۵۳	۰/۴۱۳*	۰/۳۶۷	pH
			۱	۰/۵۶۸**	۰/۲۷۱	۰/۰۷۷	۰/۰۷۵	۰/۲۰۸	۰/۱۲۱	۰/۲۱۷	۰/۴۹۹*	۰/۰۹۵	۰/۰۳۹	۰/۱۹۸	۰/۲۳۷	EC
		۱	۰/۵۰۷*	۰/۶۰۰**	۰/۰۱۷	۰/۰۹۲	۰/۱۳۹	۰/۵۶۷**	۰/۲۶۸	۰/۵۳۸**	۰/۴۳۰*	۰/۰۵۴	۰/۱۸۶	۰/۱۴۷	۰/۲۵۱	OM
	۱	۰/۱۵۹	۰/۲۳۰	۰/۱۸۷	۰/۰۶۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۱۳۱	۰/۰۹۳	۰/۱۶۴	۰/۰۲۴	۰/۱۷۲	۰/۰۴۶	۰/۲۸۷	۰/۲۵۱	CaCO3
۱	۰/۰۹۹	۰/۲۰۲	۰/۴۲۲*	۰/۲۶۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۲۶۳	۰/۳۷۶	۰/۱۵۶	۰/۱۱۲	۰/۲۲۴	۰/۰۸۶	۰/۲۳۲	۰/۰۸۴	۰/۲۴۱	Mud
۰/۱۴۶	۰/۱۵۶	۰/۲۱۱	۰/۰۸۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۶	۰/۲۰۲	۰/۲۹۰	۰/۲۷۷	۰/۰۴۱	۰/۲۴۶	۰/۳۸۹	۰/۰۰۷	۰/۳۳۰	۰/۰۶۶	۰/۱۲۷	Sand

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

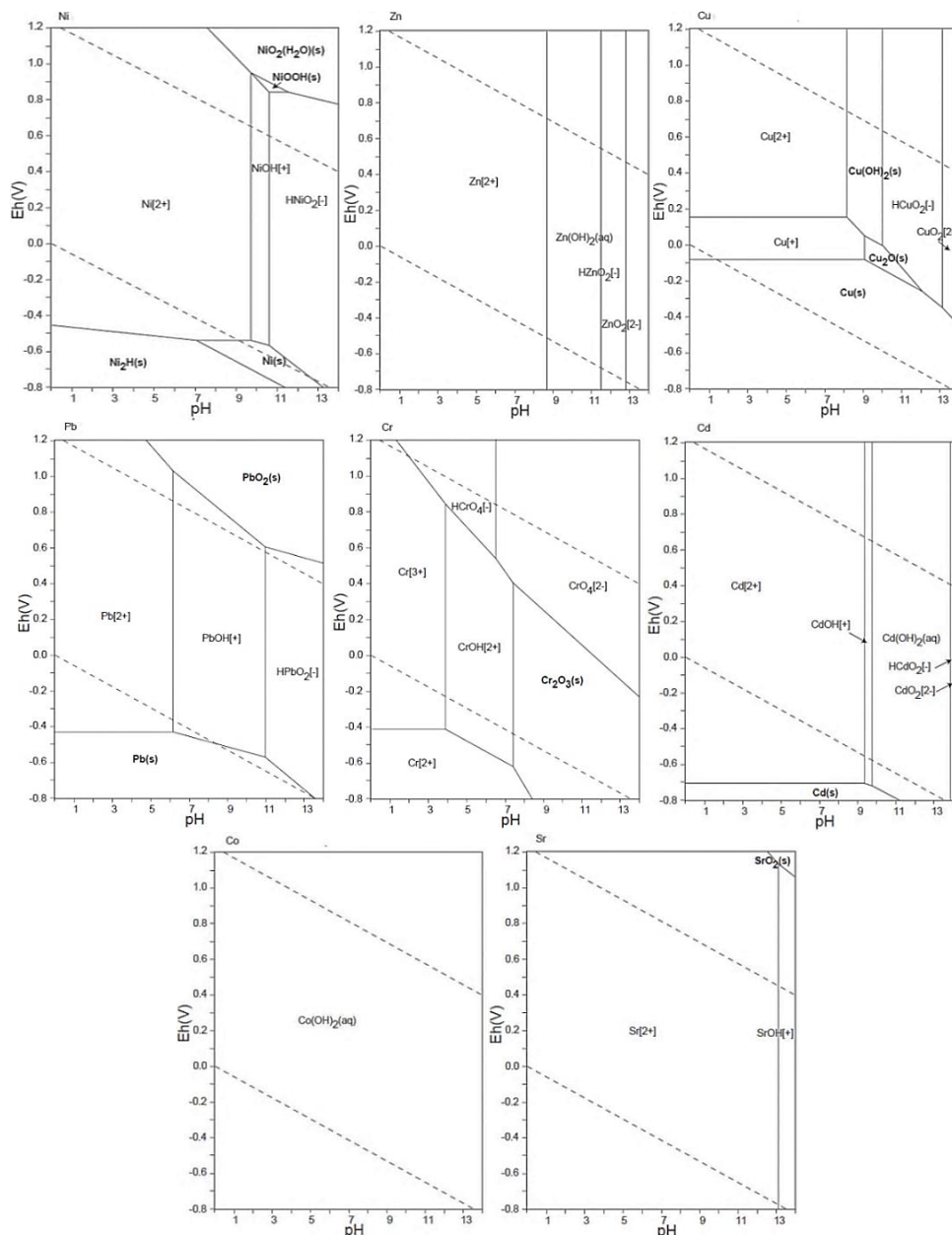
*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

۵-۹- بررسی تغییرات و پراکنش غلظت عناصر در نمونه‌های آب و رسوب

جهت بررسی کیفیت نمونه‌های آب و رسوب، تغییرات ۸ عنصر انتخابی که در جدول (۵-۲) به آن‌ها اشاره شده است، مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش، روند تغییرات عناصر در آب با روند تغییرات عناصر در رسوب، مقایسه گردیده است. برای تفسیر دقیق تغییرات انجام شده، از نمودار انحلال پذیری عناصر در آب بر اساس pH (شکل ۵-۱۹) و نمودار پایداری عناصر بر اساس Eh- pH در آب (شکل ۵-۲۰)، استفاده شده است. همچنین نقشه هم‌غلظت عناصر در محیط GIS 10 برای نمایش توزیع و پراکنش غلظت فلزات انتخابی در منابع آب و رسوب منطقه، ترسیم شده است.



شکل ۵-۱۹- انحلال پذیری عناصر در آب بر اساس pH (Radha, 1993)



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

۵-۹-۱- مس

مس جزء عناصر ضروری برای بسیاری از موجودات زنده و انسان می‌باشد. از فلز مس در ظروف پخت و پز، سیستم‌های توزیع آب، کودها، باکتری کش‌ها، قارچ کش‌ها، افزودنی‌های خوراک دام و رنگسازی به‌کار می‌رود. از منابع بشرزاد عمده توزیع مس در محیط‌زیست می‌توان به عملیات استخراج معادن، کشاورزی، مواد زائد جامد شهری و فاضلاب تصفیه نشده کارخانه‌ها اشاره نمود (Selinus et al.,

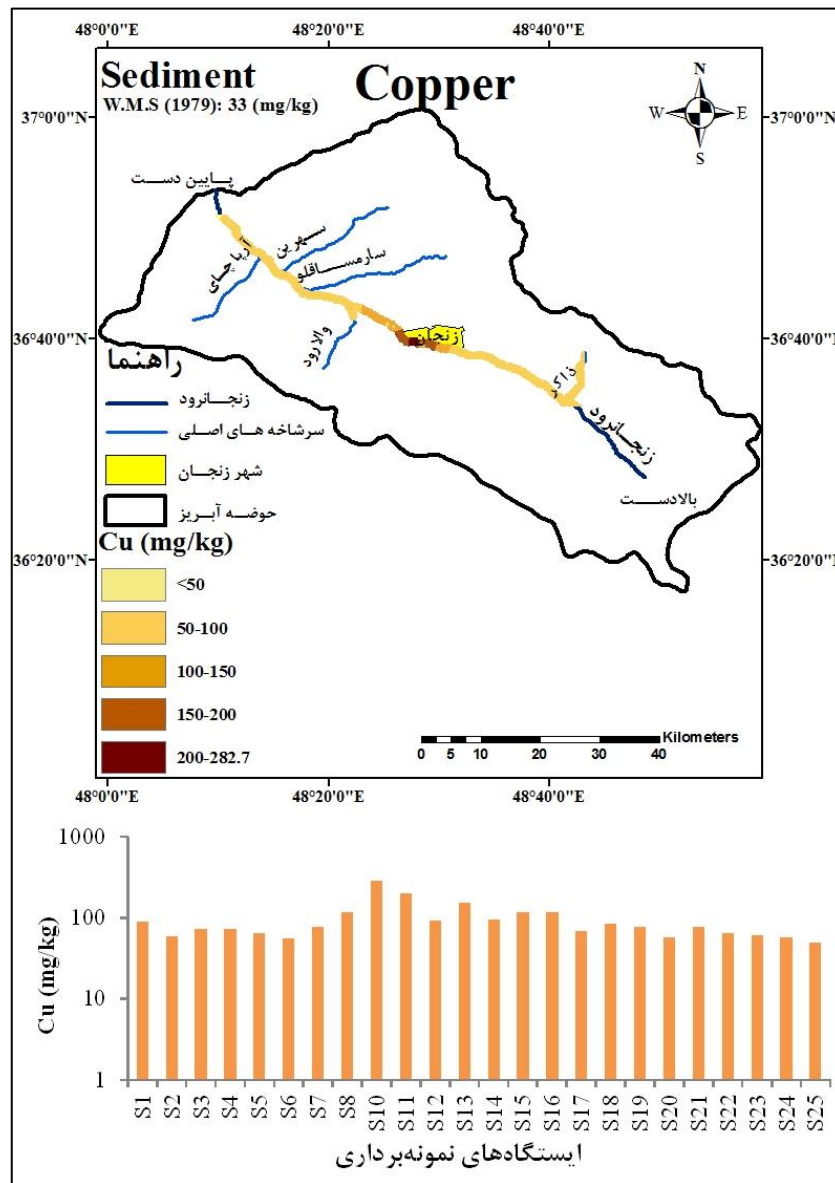
(2005). مس در کانی‌های مالاکیت، مس خالص، کوپریت، کوولیت، کالکوزین، تنوریت، مالاکیت و کالکوپریت وجود دارد (کریم‌پور، ۱۳۷۸).

فلز مس در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه مشاهده نشد. با توجه به شکل ۵-۲۱، که نمودار پایداری مس بر اساس Eh- pH را نشان می‌دهد، گونه غالب مس در نمونه آب‌های منطقه، Cu^{2+} است (Takeno, 2005). انحلال‌پذیری مس در نمونه آب‌های منطقه، به دلیل دمای پایین آب منطقه (میانگین دمای آب ۸/۷۷ درجه سانتی‌گراد) و pH قلیایی حاکم بر منطقه (میانگین pH معادل ۸/۳۸)، بسیار پایین است (شکل ۵-۱۹) است. غلظت این فلز زیر حد آشکارسازی دستگاه در نمونه‌های آب است.

نقشه تغییرات غلظت مس در نمونه رسوب‌های منطقه، در شکل ۵-۲۱ نشان داده شده است. کم‌ترین مقدار مس در نمونه رسوب منطقه مورد مطالعه، متعلق به ایستگاه S25 ($49/1 \text{ mg/kg}$) است. بیش‌ترین مقدار مس در ایستگاه S10 ($282/7 \text{ mg/kg}$)، یعنی رسوبات رودخانه تحت تأثیر فاضلاب شهری مشاهده می‌شود که این امر، تأثیر شهرنشینی را بر توزیع غلظت این عنصر در رسوبات، معلوم می‌سازد. غلظت میانگین مس در نمونه‌های رسوب زنجانرود، $94/67$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با توجه به اینکه غلظت متوسط مس در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، 33 mg/kg تعیین شده است، در تمامی ایستگاه‌ها غلظت مس بالاتر از مقدار ذکر شده (W.M.S) می‌باشد.

استفاده از کودهای فسفاته و فعالیتهای کشاورزی حاشیه‌ی رودخانه، می‌تواند منبعی برای ورود مس به رودخانه زنجانرود محسوب شوند (Albanese et al., 2012). با توجه به وجود معدن مس ماری در منطقه، که بیش‌تر بر روی ۵ ایستگاه آخر تأثیرگذار است، حضور شرکت زنجان مس در شهرک صنعتی روی، در حوضه آبریز زنجانرود و انباشته شدن مواد زائد جامد شهری در اطراف رودخانه و مؤثر بودن فاضلاب شهری به‌ویژه در ایستگاه S10، دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد در آلودگی رسوبات منطقه به فلز مس، مؤثر می‌باشد. همبستگی مثبت و معنادار مس، با روی ($r=0.675$)، مؤید مطالب

ذکر شده می‌باشد.



شکل ۵-۲۱- تغییرات غلظت مس در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۹-۲- روی

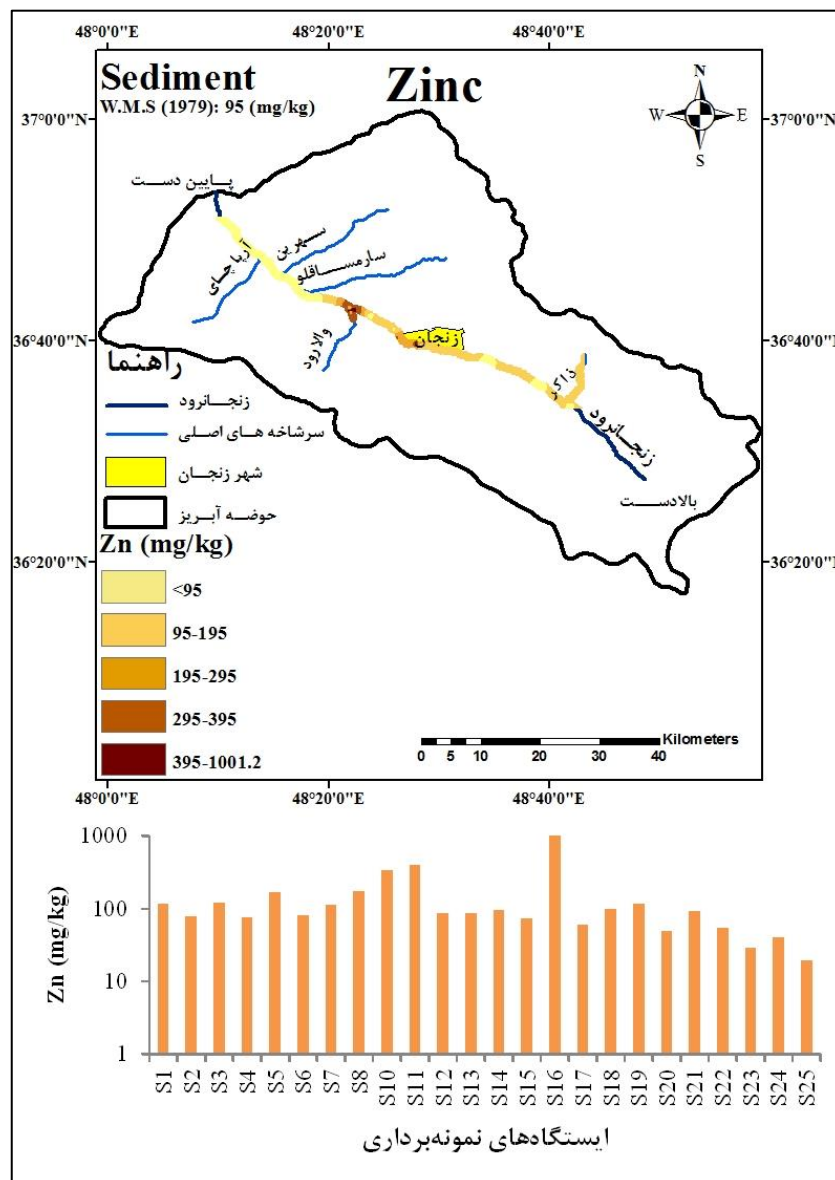
روی در مواد غذایی و آب آشامیدنی، به صورت نمک غیرآلی و یا در ساختار ترکیب‌های آلی یافت می‌شود (Selinus et al., 2005). عوارض کمبود روی در بدن انسان شامل کوتاه قدی، بیماری پوستی، تأخیر در التیام زخم‌های پوستی، از دست دادن حواس چشایی می‌باشد. چنانچه مصرف میزان روی به بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم در روز برسد، موجب ایجاد کم‌خونی می‌شود و اگر این میزان به بیش از ۶۰۰۰

میلی گرم در روز برسد، برای انسان کشنده خواهد بود (غضبان، ۱۳۸۱). مهم‌ترین کانی‌های روی، اسفالریت، همی‌مورفیت، ویلمیت، زینکیت و اسمیت زونیت می‌باشد (کریم‌پور، ۱۳۷۸). از منابع عمده فلز روی، می‌توان فرسایش سنگ‌های شیلی، معدن‌کاری، کودهای کشاورزی، آبکاری فلزات، ذوب فلزات، و لجن فاضلاب را نام برد (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). یکی از منابع عمده افزایش روی در محیط، انتشار این عنصر از سطح لاستیک وسایل نقلیه در محدوده شهری است (Albanese et al., 2012).

به‌دلیل انحلال‌پذیری اندک روی، در دمای کم و محدوده pH منطقه (۸/۳۸)، این فلز در نمونه‌های آب منطقه، مشاهده نشد و غلظت این فلز در آب، پایین‌تر از حد‌آشکارسازی دستگاه است. گونه غالب روی در محدوده pH منطقه (۷/۱۶-۹/۰۹)، Zn^{2+} و $Zn(OH)_2$ است (Takeno, 2005).

با توجه به شکل ۵-۲۲، غلظت روی در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه، بین ۱۹/۵ تا ۳۹۲/۷ mg/kg (میانگین ۱۱۴/۲۴ mg/kg) متغیر است. غلظت روی در ایستگاه S16 (۱۰۰۱/۲ mg/kg) به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد که این افزایش غلظت، ناشی از وجود شرکت روئین‌کار شمش روی، در نزدیکی ایستگاه S16 (سرشاخه والارود) و احتمالاً تأثیر پساب این کارخانه بر رسوبات رودخانه است. با توجه به‌اینکه، غلظت میانگین جهانی روی در رسوبات ۹۵ mg/kg می‌باشد، غلظت این عنصر در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بیش از این مقدار می‌باشد. کم‌ترین مقدار روی مربوط به ایستگاه S25 می‌باشد، این ایستگاه، از عوامل زمین‌زاد و بشرزاد که در افزایش غلظت روی مؤثر می‌باشند، به‌دور است. وجود شیل‌های غیردگرگونی مربوط به تشکیلات گرانیت دوران و کرج، معدن سرب و روی در ارتفاعات بالاتر از منطقه مورد مطالعه (شهاب‌پور، ۱۳۸۴)، از عوامل زمین‌زاد حضور روی در رسوبات منطقه، محسوب می‌شوند. همبستگی مثبت روی با سرب (۰/۶۸۵) این مطلب را تأیید می‌کند. از عوامل انسان‌زاد که در افزایش غلظت روی در نمونه‌های رسوب به‌ویژه در ایستگاه‌های S8، S10، S11 و S14 مؤثر می‌باشند، می‌توان به وجود شهرک صنعتی تخصصی روی، زمین‌های کشاورزی، شرکت

روی باران زنجان، لجن فاضلاب در محدوده شهر زنجان، اشاره نمود. همبستگی مثبت و معنادار فلز روی با کادمیم (۰/۶۲۰) مؤید منشأ مشترک و تأثیر فعالیت‌های بشرزاد بر توزیع این عناصر در رسوبات منطقه می‌باشد. رودخانه زنجارود، به موازات جاده تهران- زنجان و زنجان- تبریز در جریان است. تردد وسایل نقلیه در این جاده‌ها و رها شدن روی از لاستیک اتومبیل‌ها، می‌تواند عامل دیگری در افزایش غلظت روی در اکثر نمونه‌های رسوب باشد.



شکل ۵-۲۲- تغییرات غلظت روی در نمونه‌های رسوب منطقه

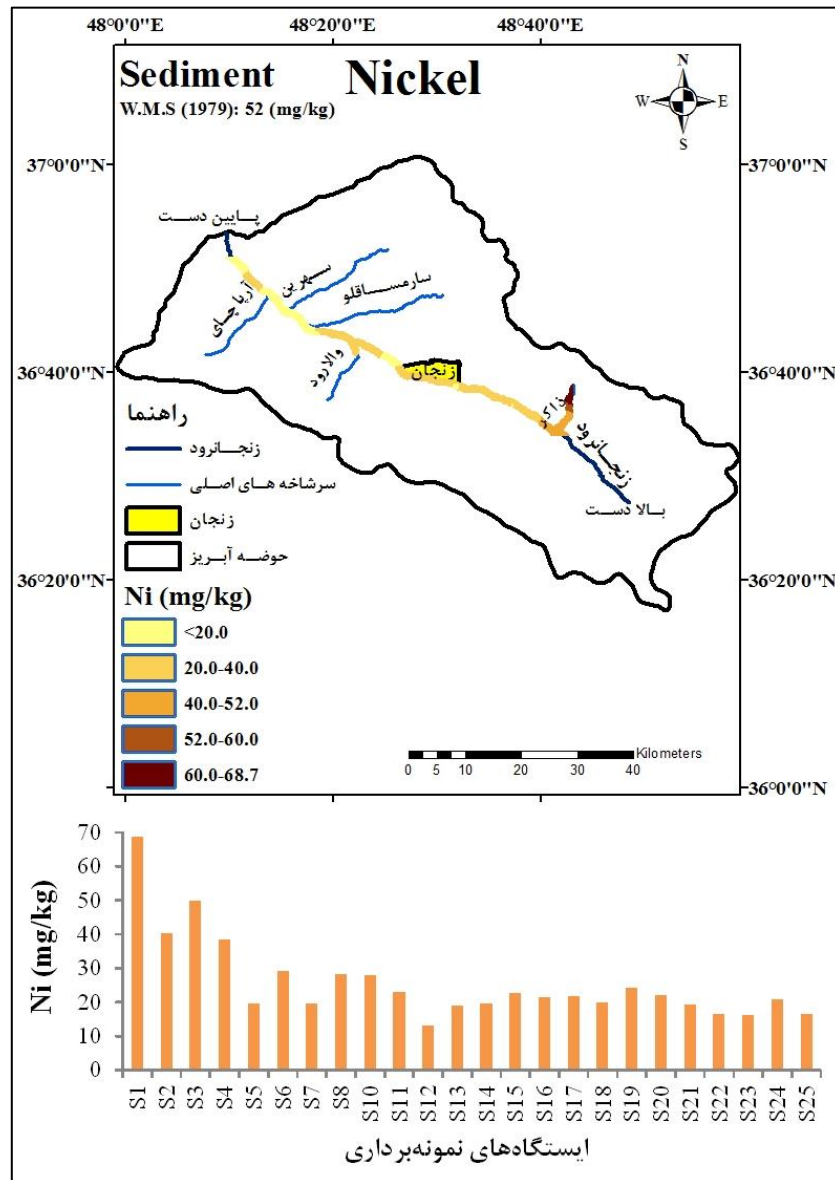
۵-۹-۳- نیکل

نیکل، عنصری ضروری در بدن موجودات زنده محسوب می‌شود. نیکل در ساختار آنزیم‌هایی که حداقل در ۵ فرایند، شامل: مصرف هیدروژن مولکولی، هیدرولیز اوره، اکسیداسیون برگشت پذیر از مونوکسید کربن تحت شرایط آنوکسیدی، ژنز متان و سم‌زدایی از رادیکال‌های آنیون سوپراکسید، شرکت دارند، وجود دارد. سرطان ریه و حنجره، مشکلات پوستی، کاهش توانایی تولید مثل و آلرژی از نتایج مصرف بالای نیکل می‌باشند. معدن‌کاری، صنایع فلزی، سوخت‌های فسیلی، لجن فاضلاب و موتور وسایل نقلیه در ورود نیکل به محیط‌زیست مؤثر هستند (Selinus et al., 2005). از فلز نیکل در صنعت برق و تولید نیرو، پروژه‌های شیرین‌سازی آب شور، در باتری‌های قابل شارژ، ریخته‌گری، آب‌کاری الکتریکی، تهیه‌ی فولاد ضد زنگ استفاده می‌شود. نیکل به علت شباهت یونی با منیزیم در کانی‌های الیوین، پیروکسن و آمفیبول وجود دارد (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱).

انحلال‌پذیری نیکل در آب، به دلیل انحلال‌پذیری پایین در دمای پایین، نهشته شدن نیکل در رسوب توسط مواد آلی، هیدروکسیدهای آهن و منگنز و حضور کانی‌های رسی، بسیار اندک است. به‌همین دلیل نیکل در آب باقی‌نمانده و وارد رسوبات می‌شود (Selinus et al., 2005). با توجه به نمودار پتانسیل اکسایش-کاهش، گونه غالب نیکل در آب، Ni^{2+} می‌تواند باشد (شکل ۵-۲۰). غلظت نیکل در منابع آب منطقه پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه بوده است و مشاهده نشده است.

میانگین غلظت نیکل در رسوبات جهانی 52 mg/kg می‌باشد (Bowen, 1979). بیش‌ترین مقدار نیکل متعلق به ایستگاه S1 می‌باشد ($68/7 \text{ mg/kg}$). تمرکز صنایع ریخته‌گری در اطراف این ایستگاه (سرشاخه ذاکر)، از مهم‌ترین عوامل افزایش غلظت نیکل در این ایستگاه می‌باشد. همچنین ملحق شدن سرشاخه ذاکر به زنجانرود در ایستگاه S3 باعث افزایش غلظت این عنصر ($49/75 \text{ mg/kg}$) در زنجانرود شده است. در باقی ایستگاه‌ها، مقدار نیکل پایین‌تر از میانگین غلظت آن در رسوبات جهانی است. افزایش متناوب نیکل بعد از عبور از شهر زنجان (S10, S8) تأثیر عوامل بشرزاد را بر توزیع این

فلز در رسوبات منطقه روشن می‌سازد. سنگ‌های پیروکسن‌دار در منطقه، عامل همبستگی مثبت عنصر نیکل با عنصر آلومینیوم (۰/۶۷۸) می‌باشد، که این امر نشان‌دهنده‌ی تأثیر به‌سزای عوامل زمین‌زاد در توزیع این عنصر در منطقه می‌باشد (شکل ۵-۲۳).



شکل ۵-۲۳- تغییرات غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب منطقه

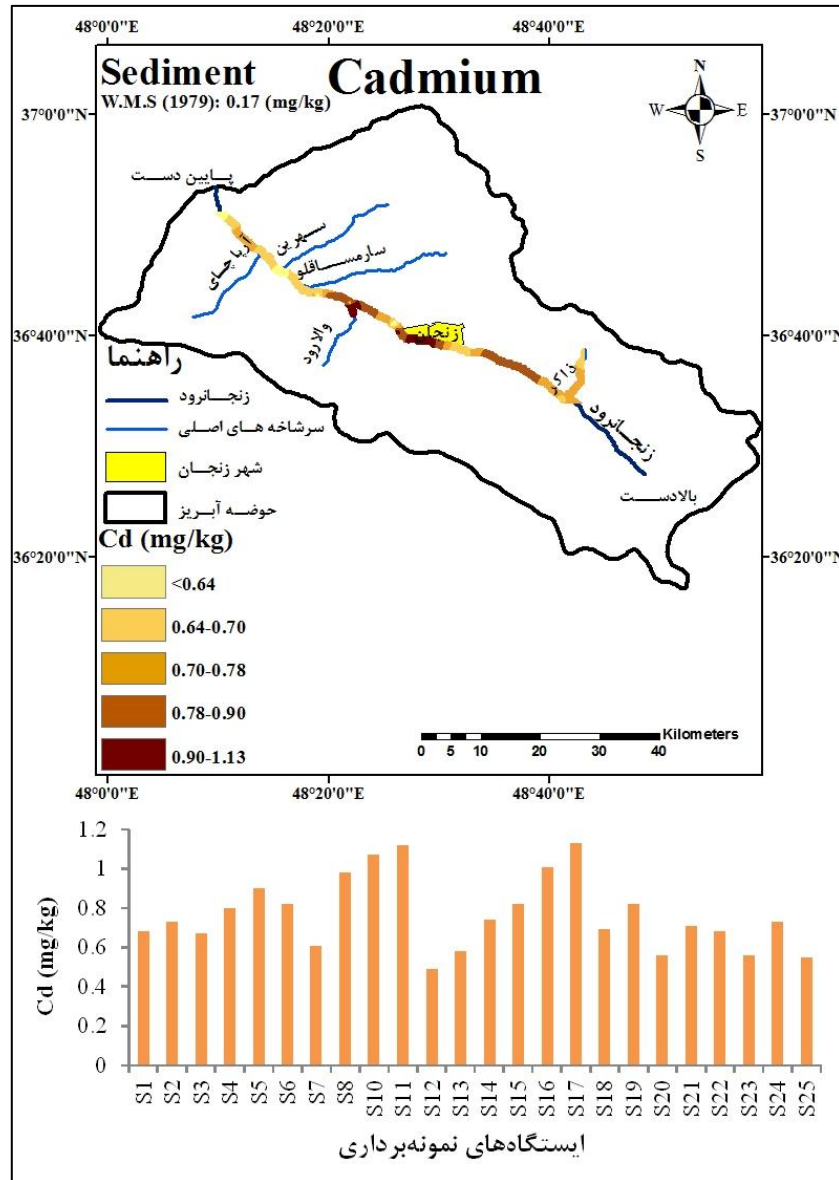
۵-۹-۴- کادمیم

کادمیم عمدتاً در شیل‌های سیاه رنگ یافت می‌شود و بیش‌تر به عنوان محصول جانبی در کانی‌های روی مشاهده می‌شود (کریم‌پور، ۱۳۷۸). این عنصر در اثر استخراج معادن، ترسیب سرب و روی

موجود در هوا که در اثر فعالیت صنایع ذوب فلزات وارد اتمسفر می‌شوند، دفع مواد زائد جامد شهری، استفاده از کودهای فسفاته، سوخت‌های فسیلی و لجن فاضلاب صنایع، وارد محیط‌زیست می‌شود. منبع اصلی این عنصر، فعالیت‌های انسانی است (Chaiwonga, 2012).

عنصر کادمیم یا بر روی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز موجود در رسوبات، می‌نشیند و یا به صورت سیلیکات‌های آهن و کمپلکس‌های کربناته جذب رسوبات می‌گردد (Alloway, 1995). با توجه به دمای کم منطقه، تحرک‌پذیری عنصر کادمیم بسیار پایین بوده، به همین دلیل در رسوبات منطقه تجمع یافته است و در نمونه‌های آب رودخانه زنجانرود مشاهده نشده است.

غلظت کادمیم در نمونه‌های رسوب زنجانرود بین ۰/۴۹ تا ۱/۱۳ و میانگین آن ۰/۷۴ mg/kg می‌باشد. با توجه به میانگین غلظت کادمیم در رسوبات جهانی (۰/۱۷ mg/kg)، غلظت کادمیم موجود در تمام نمونه‌های رسوب، بالاتر از مقدار متوسط ذکر شده، است (شکل ۵-۲۴). وجود همبستگی کادمیم با آلومینیم ($r=0/6$)، حاکی از منبع زمین‌زاد و همبستگی این عنصر با روی (۰/۶۲۰)، نشان از منبع انسان‌زاد این عنصر می‌باشد. وجود لایه‌های زغال‌دار در جنوب حوضه آبریز، از عوامل زمین‌زاد موجود در منطقه محسوب می‌شود که در افزایش کادمیم موجود در رسوبات منطقه (S4, S5) مؤثر بوده است. کارخانه سرب و روی، شهرک تخصصی روی زنجان در جاده بیجار، استفاده از کودها در زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه، تخلیه فاضلاب شهری شهر زنجان به رودخانه (S8, S10, S11) و وجود کارخانه روی (در محل ایستگاه S16 و S17)، همه از عوامل بشرزاد، حضور عنصر کادمیم در رسوبات منطقه می‌باشند. همبستگی کادمیم با روی این مطلب را تأیید می‌کند. در واقع هر دو عامل بشرزاد و زمین‌زاد توزیع کادمیم در رسوبات منطقه را کنترل می‌نمایند.



شکل ۵-۲۴- تغییرات غلظت کادمیم در نمونه‌های رسوب منطقه

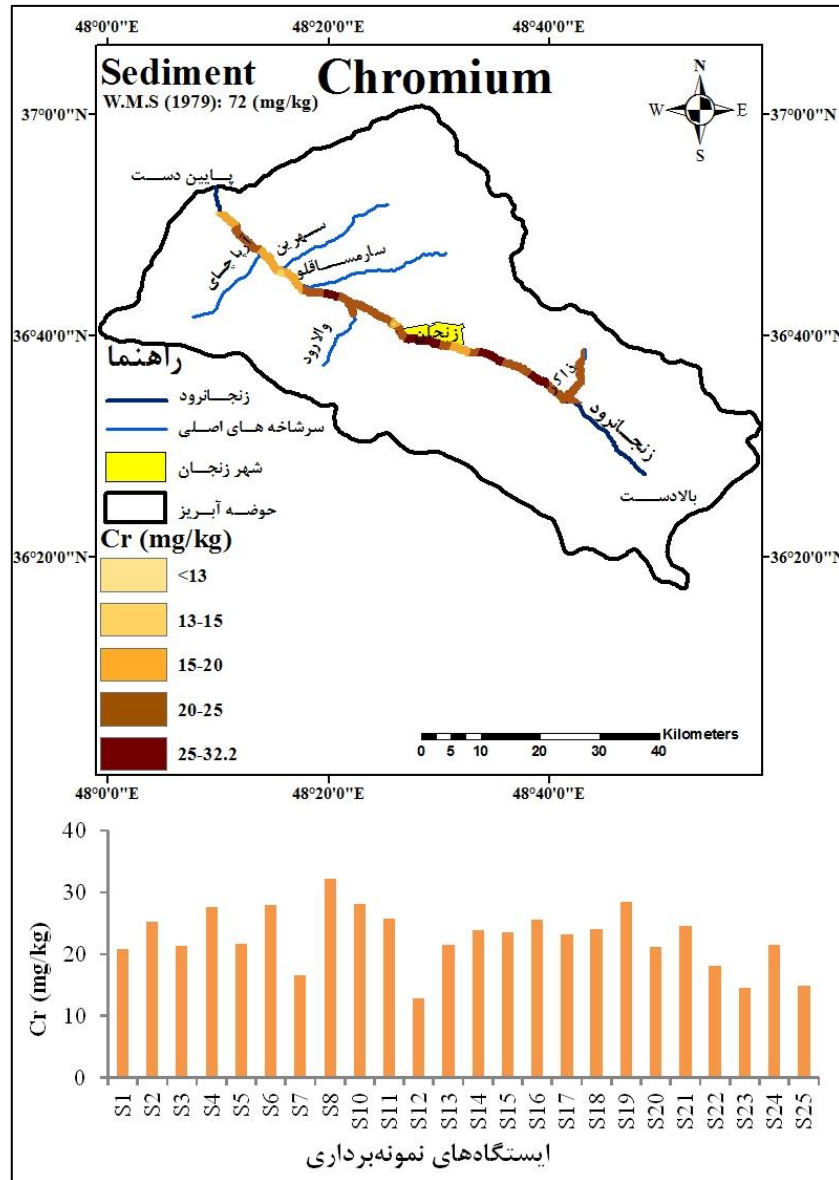
۵-۹-۵- کروم

عنصر کروم در تهیّه فولاد ضد زنگ، روکش ابزار ماشین، چاقو، وسایل جنگی استفاده می‌شود (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). مهم‌ترین کانی حاوی کروم، کرومیت است. کروم در پیروکسین‌ها، به‌خصوص در پیروکسین‌های سنگ‌های اولترابازیک تجمع می‌یابد (مر و شرفی، ۱۳۸۶). فلز کروم و ترکیبات کروم (III) معمولاً برای سلامتی خطرناک نیستند، اما ترکیبات کروم VI در صورت بلع سمّی هستند. ترکیبات کروم (VI) در مقادیر اندک کشنده بوده و سرطان‌زا بودن کروم VI به اثبات رسیده

است. بیشتر ترکیبات کروم VI برای چشم، پوست و بافت‌های مخاطی مضر هستند. تماس دائمی با این ترکیبات می‌تواند موجب آسیب‌های دائمی چشم گردد، مگر مواردی که درمان کامل صورت پذیرد (Alloway et al, 2005).

عدم وجود کروم در نمونه‌های آب، به دلیل دمای بسیار پایین منطقه (۸/۴ درجه سانتی‌گراد) و کاهش انحلال‌پذیری عنصر و جذب کروم توسط کانی‌های رسی و یا مواد آلی رسوبات، در شرایط قلیایی است. این عنصر انحلال‌پذیری کمی در آب‌های طبیعی دارد (Bradl, 2005).

با توجه به شکل ۵-۲۵، غلظت کروم در رسوبات از ۱۲/۸ تا ۳۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. غلظت این عنصر در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری، کم‌تر از میانگین غلظت رسوبات جهانی (۷۲ mg/kg) است. بیش‌ترین مقدار کروم مربوط به ایستگاه S8 است. این ایستگاه، محل تخلیه فاضلاب شهری است. کم‌ترین مقدار کروم در ایستگاه S12 مشاهده می‌شود. وجود سنگ‌های آتشفشانی در سازند کرج، می‌تواند منبع ورود عنصر کروم به محیط محسوب شود. سنگ‌های آتشفشانی سازند کرج در دو طرف حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه و به موازات رودخانه زنجانرود، در وسعت بسیار بالایی گسترده شده‌اند. همبستگی بالای کروم با آلومینیم ($r=0.734$) شاهد دیگری بر منبع زمین‌زاد این عنصر می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، منبع زمین‌زاد و همچنین منبع انسان‌زاد (فعالیت شهرنشینی) می‌تواند سبب ورود عنصر کروم به رودخانه در منطقه مورد مطالعه باشد. همبستگی بالا و مثبت عنصر کروم با کبالت و کادمیم (به ترتیب ۰/۷۴۱ و ۰/۷۵۷) ناشی از رفتار ژئوشیمیایی مشابه و منشأ مشترک این عناصر است. در واقع هر دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد بر روند توزیع این عنصر در رسوبات رودخانه تأثیرگذار بوده‌اند، ولی با حذف تأثیر شهر زنجان، می‌توان گفت که عوامل زمین‌شناسی نقش اصلی را در این امر داشته‌اند.



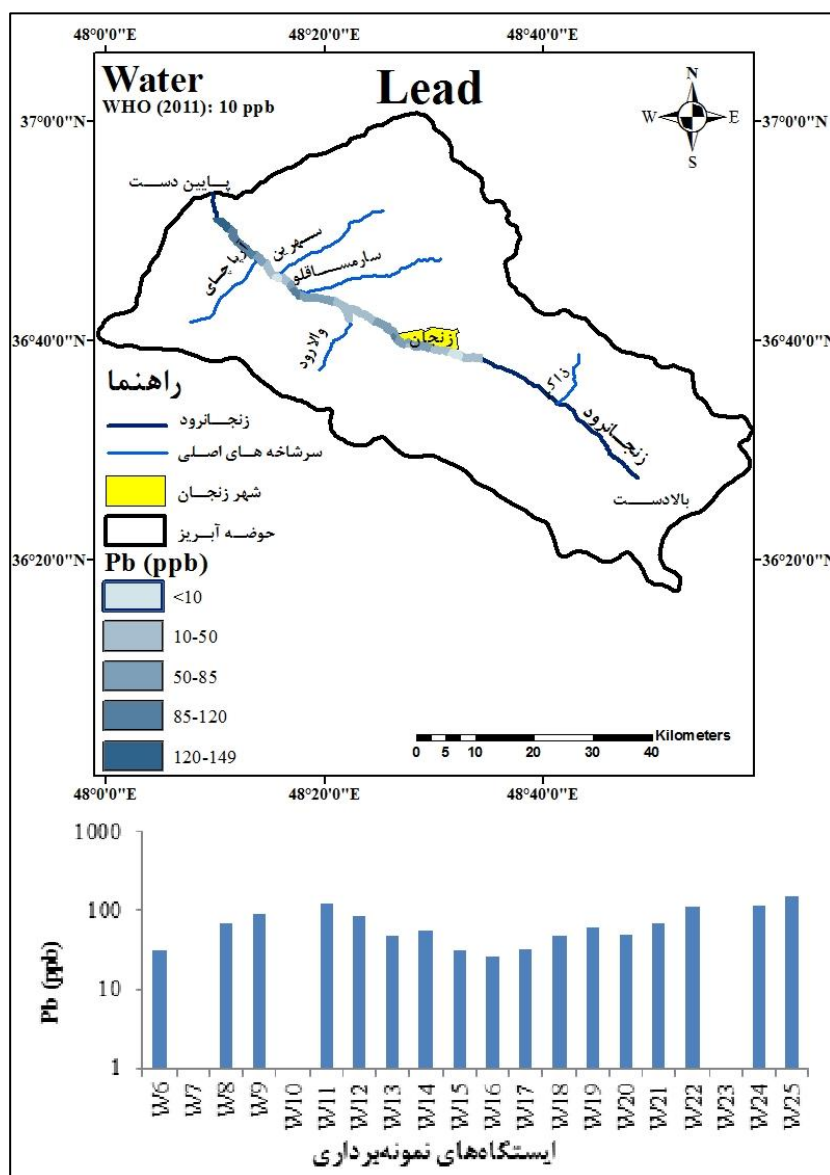
شکل ۵-۲۵- تغییرات غلظت کروم در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۹-۶- سرب

سرب یکی از عناصر سمّی و سنگین در محیط زیست است که در اثر بهره‌برداری از معادن، سوخت وسایل نقلیه، صنایع باتری‌سازی، رنگ‌سازی، صنایع شیشه و لعاب، عکاسی، ساخت لاستیک، صنایع کبریت‌سازی و ساخت حشره‌کش‌ها وارد محیط‌زیست می‌شود (Tong et al., 2000). سرب هیچ‌گونه عملکرد مثبتی در بدن ندارد و افزایش آن در بدن انسان سبب، بیماری عصبی و ناهنجاری عصبی در کودکان (Bierkens et al., 2011)، افزایش فشار خون در بزرگسالان، آسیب کلیه‌ها، ناتوانی جنسی،

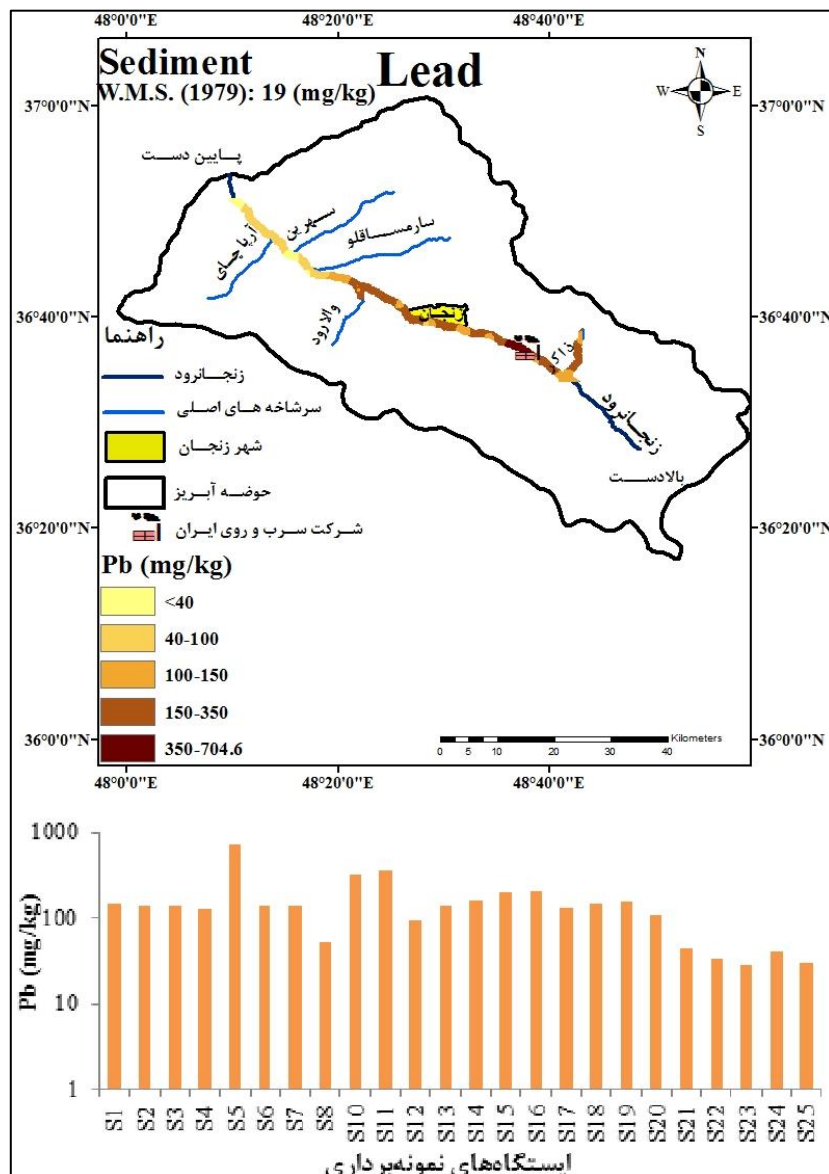
کم خونی و عوارض مربوط به جنین می‌شود (Gidlow, 2004).

شکل ۵-۲۶ تغییرات غلظت سرب در نمونه‌های آب منطقه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، غلظت سرب موجود در نمونه‌های آب ۰.۸۵٪ ایستگاه‌ها، بالاتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO 2011) یا ۱۰ ppb و استاندارد آب آشامیدنی ۱۰۵۳ ایران یا ۵۰ ppb است. در ایستگاه W7, W10 و W19 مقدار سرب نمونه‌های آب پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه بوده و مشاهده نشده است. کم‌ترین مقدار سرب در نمونه‌های آب، مربوط به ایستگاه W6 است که از مناطق



شکل ۵-۲۶- تغییرات غلظت سرب در نمونه‌های آب منطقه

صنعتی و مسکونی دور می‌باشد. وجود پمپ بنزین در نزدیکی ایستگاه شماره W22 سبب افزایش مقدار سرب در نمونه‌ی آب این ایستگاه شده است. بیش‌ترین مقدار سرب آب در ایستگاه شماره W25 مشاهده می‌شود، این ایستگاه بعد از روستای نیک‌پی و در نزدیکی جاده تهران- جلفا- بازرگان قرار دارد. شکل ۵-۲۷، تغییرات غلظت سرب در نمونه‌های رسوب منطقه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین مقدار سرب در نمونه‌های رسوب مربوط به ایستگاه S5 می‌باشد.



شکل ۵-۲۷- تغییرات غلظت سرب در نمونه‌های رسوب منطقه

ایستگاه شماره S5 بعد از کارخانه سرب و روی قرار گرفته است و این عامل می‌تواند سبب افزایش

غلظت سرب در این ایستگاه شده باشد. میانگین سرب در رسوبات جهانی (Bowen, 1979) معادل ۱۹ppm می‌باشد که پایین‌تر از غلظت سرب موجود در نمونه رسوب تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری می‌باشد. سرب در مقادیر اندک در مواد سیلیکاتی سنگ‌های آذرین، به‌خصوص در گرانیت‌ها وجود دارد. گستردگی سنگ‌های آذرین و گرانیت‌ها در منطقه مورد مطالعه، وجود مناطق پتانسیل‌دار سرب و روی (عامل زمین‌زاد)، کارخانه سرب و روی، فاصله کم جاده از رودخانه (سرب موجود در بنزین اتومبیل‌ها)، وجود شهر زنجان و روستاهای اطراف، همه از عوامل افزایش غلظت سرب در رسوب محسوب می‌شوند. با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که، احتمالاً هر دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد، در آلودگی نمونه‌های آب و رسوب منطقه، به فلز سرب، مؤثر می‌باشند.

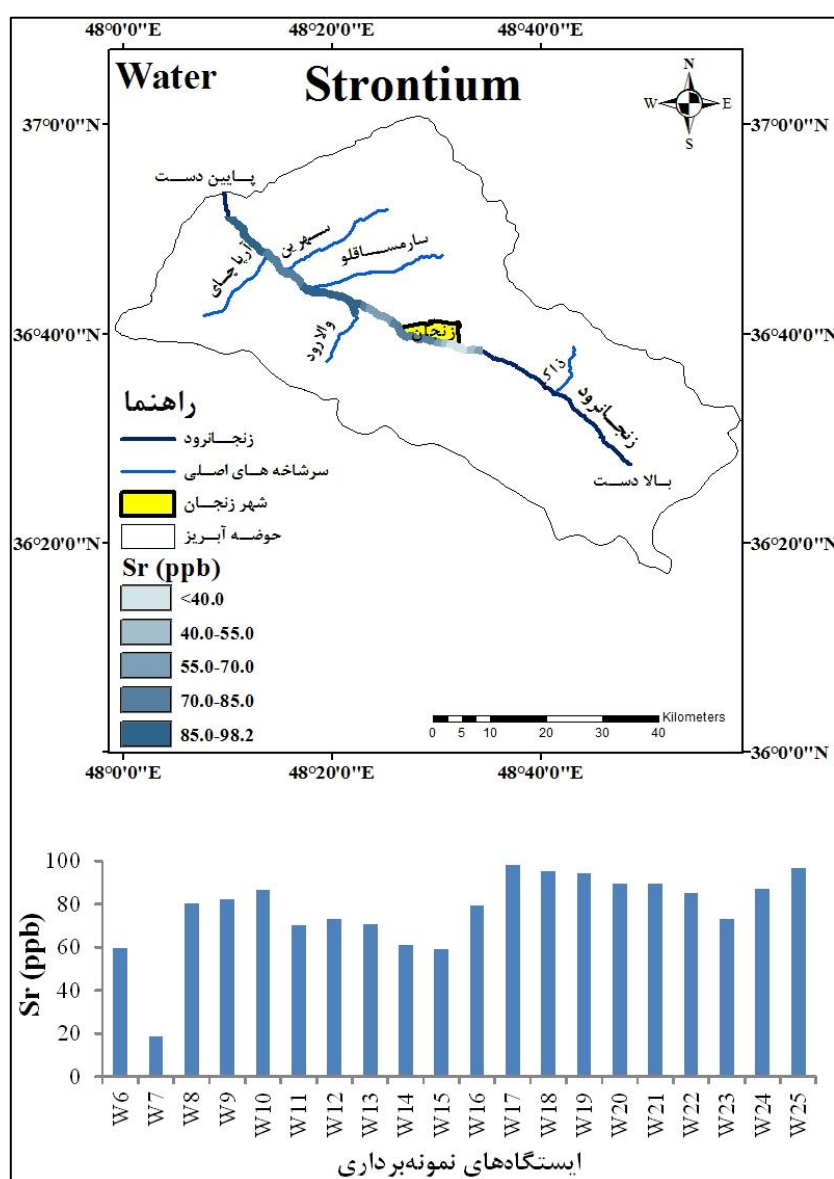
۵-۹-۷- استرانسیم

استرانسیم در کانی‌های سلسیت و استرونیانیت و در سنگ‌های آذرین، بیش‌تر از پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم یافت می‌شود. از استرانسیم برای تولید شیشه‌های رنگی تلویزیون، تولید آهن‌ریا، جواهرسازی و تصفیه روی استفاده می‌شود. ترکیبات محلول استرانسیم در آب، نسبت به ترکیبات نامحلول، برای سلامتی انسان مضرتر هستند. احتمال ورود استرانسیم به بدن از راه خوردن و آشامیدن بیشتر است. دانه‌ها، سبزی‌های برگ‌دار و لبنیات، استرانسیم بالایی دارند. بین ترکیبات استرانسیم، تنها کرومات استرانسیم است که حتی مقادیر بسیار اندک آن هم برای سلامتی بدن مضر است. غلظت بسیار بالای استرانسیم به خاطر آسیب به ماده ژنتیکی سلول‌ها باعث سرطان می‌شود. استرانسیم به‌طور طبیعی در بسیاری از بخش‌های محیط‌زیست مانند سنگ‌ها، خاک، آب و هوا وجود دارد. استرانسیم از طریق خاک و هوازدگی سنگ‌ها، وارد آب می‌شود. در اثر فعالیت‌های بشری و عمدتاً در اثر ریختن زباله‌ها در آب، میزان استرانسیم موجود در آب بیش‌تر از حد طبیعی می‌گردد.

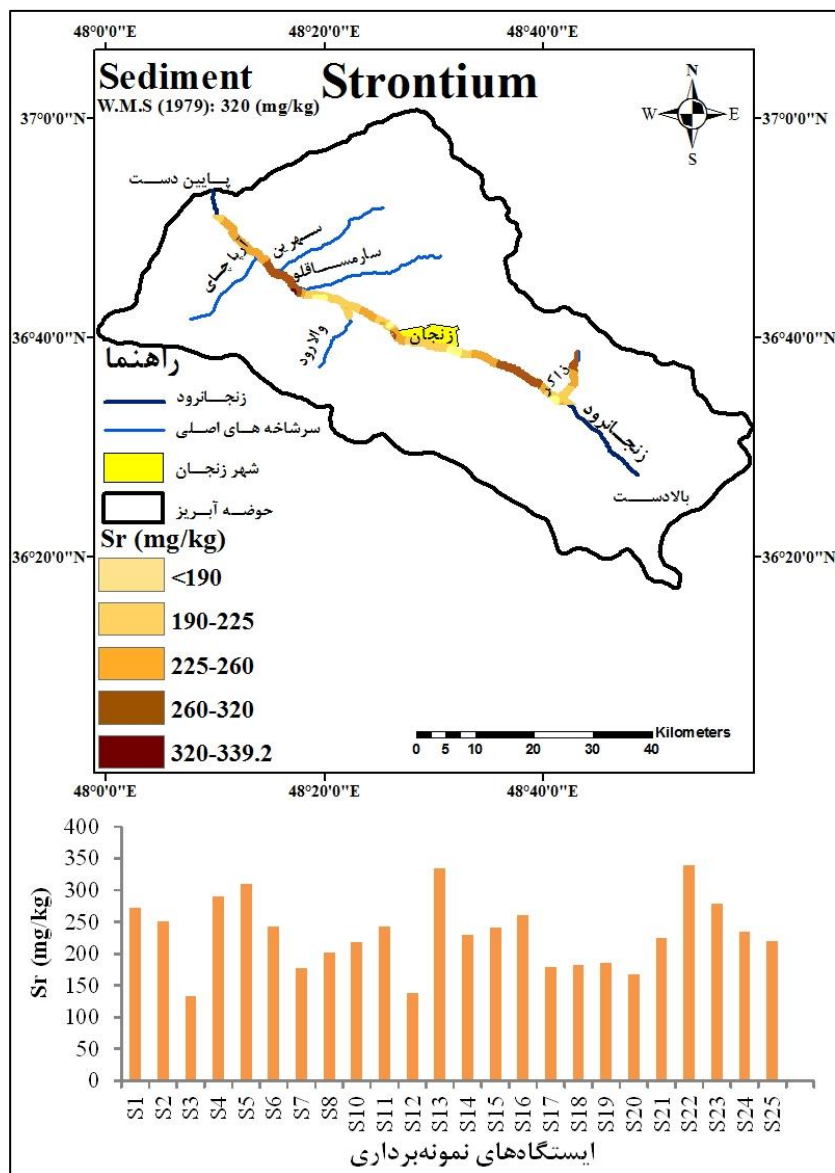
(WHO (2011), EPA (2012) و سازمان حفاظت از محیط زیست ایران، حد استاندارد را برای

استرانسیم در آب آشامیدنی و خروجی فاضلاب، تعیین نکرده‌اند. بنابراین تنها به بررسی روند غلظت

نسبی استرانسیم در نمونه‌های آب منطقه، پرداخته شده است و تغییرات غلظت آن در شکل ۵-۲۹، آورده شده است. کم‌ترین مقدار استرانسیم (۱۸/۹ ppb) مربوط به ایستگاه W7 (رودخانه قبل از ورود به شهر) و بیش‌ترین مقدار آن (۹۸/۲ ppb) مربوط به ایستگاه W17 (سرشاخه والارود) است. با توجه به نمودار اکسایش- کاهش، گونه غالب استرانسیم در آب، Sr^{2+} است. همانطور که در شکل ۵-۲۸ و ۵-۲۹، مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌هایی که مقدار استرانسیم در آب کاهش می‌یابد، در نمونه رسوب همان ایستگاه، افزایش غلظت عنصر استرانسیم را داریم.



شکل ۵-۲۸- تغییرات غلظت استرانسیم در نمونه‌های آب منطقه



شکل ۵-۲۹- تغییرات غلظت استرانسیم در نمونه‌های رسوب منطقه

استرانسیم در محیط‌های قلیایی حلالیت خوبی را دارا می‌باشد (Aubert and Pinta, 1997). به‌طور کلی غلظت استرانسیم محلول در آب، به سمت پایین دست حوضه، افزایش می‌یابد و این افزایش غلظت ناشی از افزایش رخنمون واحدهای آهکی سازندهای لار، میلا و بایندور در ایستگاه‌های انتهایی حوضه است. تشابه عنصر استرانسیم با کلسیم (مر، ۱۳۸۲)، موجب جایگزینی و افزایش انحلال این عنصر در آب به سمت ایستگاه‌های انتهایی منطقه مورد مطالعه، شده است.

بالاترین غلظت استرانسیم در نمونه‌های رسوب، مربوط به ایستگاه S22 است. آبراهه‌هایی که وارد

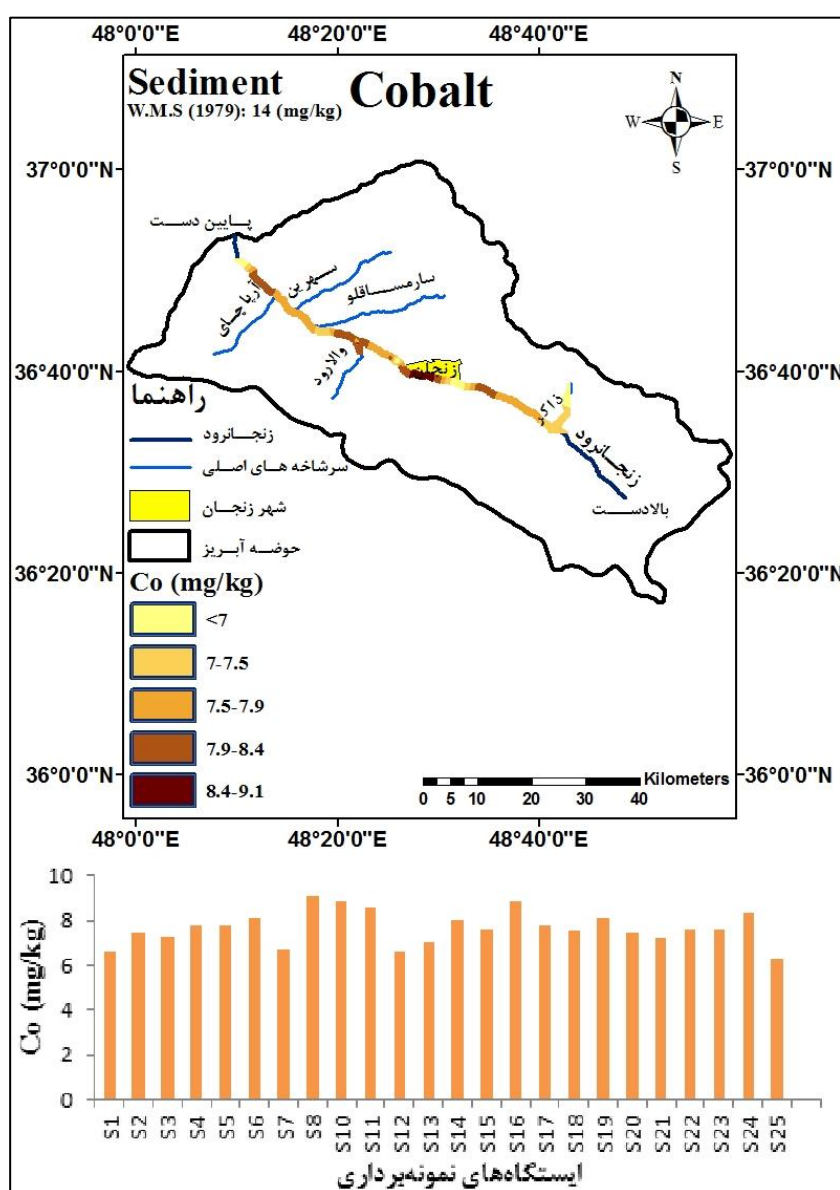
این ایستگاه می‌شوند از واحد دولومیتی ضخیم و سنگ آهک سازند لار، در سمت چپ حوضه، عبور می‌کنند. این عوامل می‌تواند در افزایش غلظت کلسیم و جایگزینی استرانسیم به جای کلسیم، نسبت به مقدار متوسط جهانی این عنصر در رسوبات، (۳۲۰ mg/kg) مؤثر باشد. کم‌ترین مقدار استرانسیم در ایستگاه S3 مشاهده می‌شود. این ایستگاه در محل تلاقی سرشاخه ذاکر واقع شده است و در مواقع سیلابی، تحت تأثیر این سرشاخه قرار می‌گیرد. شایان ذکر می‌باشد که حضور شهر زنجان و فعالیت‌های شهرنشینی و ورود فاضلاب شهری به رودخانه باعث افزایش ۴ برابر استرانسیم در آب (W8 نسبت به W7) و همچنین باعث ۲۴/۴ mg/kg افزایش غلظت این عنصر در رسوبات (S8 نسبت به S7) گردیده است. با توجه به مطالب بیان شده، هر دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد و توزیع این عنصر در آب و رسوبات رودخانه مؤثر بوده‌اند ولی عوامل زمین‌زاد تأثیر بیشتری را در این امر داشته‌اند.

۵-۹-۸- کبالت

کبالت به صورت ترکیبات مختلف شیمیایی در طبیعت ظاهر می‌شود. از منابع ورود کبالت به محیط‌زیست، می‌توان به سوخت‌های فسیلی، سوخت هواپیماها و کشتی‌های باربری، اتومبیل‌ها و فرایندهای صنعتی اشاره نمود. کبالت به میزان کم برای سلامتی مفید است. این عنصر برای درمان کم‌خونی به کار می‌رود و در سنتز ویتامین B-12 نقش کلیدی دارد. مسمومیت‌زایی این عنصر بسیار کم است. قرار گرفتن در معرض غلظت بالایی از این عنصر سبب آسم، خس خس سینه و ذات‌الریه می‌شود.

به دلیل شرایط قلیایی منطقه، از تحرک‌پذیری کبالت در نمونه‌های آب کاسته شده (خالدی و محمدزاده، ۱۳۹۰) و غلظت این عنصر کم‌تر از حد‌آشکارسازی دستگاه است. غلظت کبالت در نمونه‌های رسوب منطقه بین ۶/۳ تا ۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، متغیر است (شکل ۵-۳۰). طبق میانگین استاندارد جهانی عناصر در رسوبات (Bowen, 1979)، غلظت کبالت در تمام نمونه‌های رسوب منطقه، از میانگین جهانی کبالت (۱۴ mg/kg) کم‌تر است. بیش‌ترین مقادیر کبالت (mg/kg)

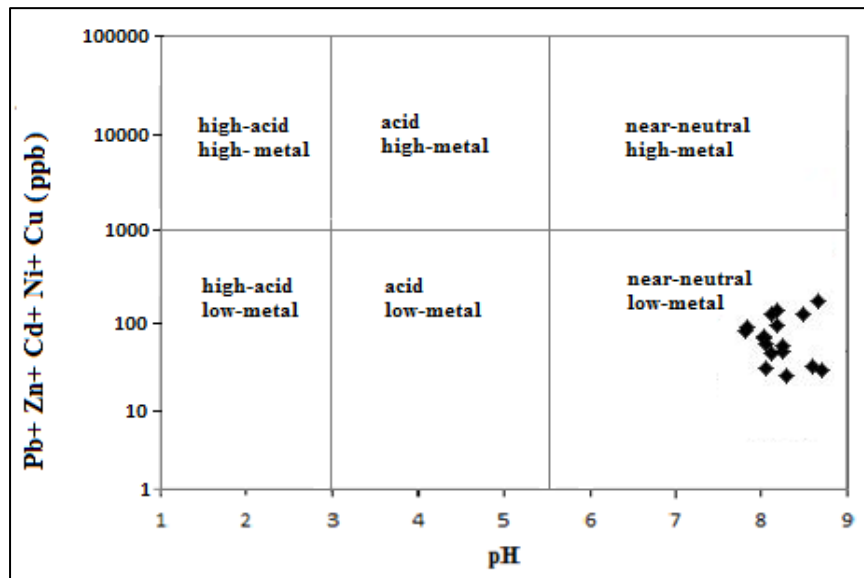
۹/۱) در محدوده شهر زنجان (S8) مشاهده می‌شود و با دور شدن از مناطق شهری، از مقدار این عنصر کاسته می‌شود. لایه‌های زغال‌دار در جنوب حوضه آبریز و سنگ‌های آتشفشانی در سازند کرج، می‌توانند از جمله منابع زمین‌زاد این عنصر در منطقه مورد مطالعه باشند. همبستگی اسکاندیم با کبالت ($r=0.6$) نیز می‌تواند بیانگر منشأ زمین‌زاد این عنصر باشد. بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که هر دو عامل انسان‌زاد و بشرزاد، (با تأثیرگذاری بیش‌تر عوامل زمین‌زاد) در ورود عنصر کبالت به محیط مؤثر بوده است.



شکل ۵-۳۰- تغییرات غلظت کبالت در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۱۰- بار فلزی منابع آب

نمودار فیکلین برای تعیین رابطه بار فلزی فلزات سنگین و pH در منابع آب، استفاده می‌شود (Ficklin et al., 1992). در این مطالعه، نمونه‌های آب بر روی نمودار فیکلین قرار داده شد تا بتوان بار فلزی در نمونه‌های آب منطقه را تعیین کرد. نتایج به‌دست آمده در شکل ۵-۳۱، نشان داد که بار فلزی نمونه‌های آب منطقه در بخش خنثی با بار فلزی پایین قرار گرفته‌اند. با توجه به قلیایی بودن آب منطقه و دمای پایین منطقه (میانگین دما $8/77^{\circ}\text{C}$) این موضوع قابل توجیه می‌باشد.



شکل ۵-۳۱- رابطه بار فلزی (Pb+ Zn+ Cu+ Cd+ Ni) و pH در منابع آب منطقه بر اساس نمودار فیکلین (Ficklin et al., 1992) اصلاح شده توسط (Plumlee et al., 1999)

۵-۱۱- ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی

ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})، ضریب آلودگی (CF) و درجه آلودگی اصلاح شده (mC_d)، از جمله شاخص‌هایی هستند که می‌توانند جهت ارزیابی میزان آلودگی در نمونه‌های رسوب منطقه، مورد استفاده قرار گیرند.

۵-۱۱-۱- فاکتور غنی‌شدگی^۱ در نمونه‌های رسوب منطقه

یکی از معیارهای به‌کار برده شده برای ارزیابی کیفیت رسوب و تشخیص آلودگی فلزات در نمونه رسوب، فاکتور غنی‌شدگی است. فاکتور غنی‌شدگی، یک ابزار سودمند برای تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین و اثرات احتمالی عوامل انسان‌زاد می‌باشد و میزان هر فلز را نسبت به مقدار آن، در سنگ بستر منطقه مشخص می‌کند. در رابطه مربوط به فاکتور غنی‌شدگی (رابطه ۵-۶)، از یک عنصر مینا مانند Sc که تغییرات غلظت آن کم است و به عوامل انسان‌زاد وابسته نیست، استفاده می‌شود (Loska et al., 1995).

$$EF = \left(\frac{X}{Sc}\right)_{\text{sample}} / \left(\frac{X}{Sc}\right)_{\text{background}} \quad (۶-۵)$$

که در آن:

$\left(\frac{X}{Sc}\right)_{\text{sample}}$: نسبت غلظت عنصر در نمونه به غلظت اسکاندیم در همان نمونه است.

$\left(\frac{X}{Sc}\right)_{\text{background}}$: نسبت غلظت میانگین همان عنصر در پوسته فوقانی^۲ (Bowen, 1979) به

غلظت میانگین اسکاندیم در پوسته فوقانی است.

با توجه به تغییرات کم‌تر عنصر اسکاندیم به سایر عناصر مینا مثل آهن، آلومینیوم، منگنز و ... در منطقه مورد مطالعه، از این عنصر به عنوان عنصر زمین مینا استفاده شد. در جدول ۵-۱۵ مقیاس عددی، برای فاکتور غنی‌شدگی، برای بیان میزان غنی‌شدگی، معرفی شده است.

جدول ۵-۱۵- تقسیم‌بندی میزان غنی‌شدگی بر اساس فاکتور غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)

EF	شدت غنی‌شدگی
EF<2	فاقد غنی‌شدگی یا غنی‌شدگی اندک
2<EF<5	غنی‌شدگی متوسط
5<EF<20	غنی‌شدگی بالا و قابل توجه
20<EF<40	غنی‌شدگی بسیار بالا
EF>40	غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا

1- Enrichment Factor

2- Upper Continental Crust

در جدول ۵-۱۶ و ۵-۱۷ و شکل ۵-۳۳، ضریب غنی‌شدگی عناصر Sr, Pb, Cr, Cd, Ni, Zn, Cu در جدول ۵-۱۶ و Co در کل نمونه‌های رسوب برداشت شده، از رودخانه زنجانرود، نشان داده شده است.

با مقایسه نتایج حاصل از بررسی ضریب غنی‌شدگی نمونه‌های رسوب منطقه با جدول ۵-۱۵، مشاهده می‌شود که رسوبات نسبت به عناصر سرب و کادمیم، غنی‌شدگی بالا و قابل توجه، نسبت به مس و روی، غنی‌شدگی متوسط و نسبت به عناصر نیکل، کروم، استرانسیم و کبالت، نبود غنی‌شدگی یا غنی‌شدگی اندک را نشان می‌دهند (جدول ۵-۱۶).

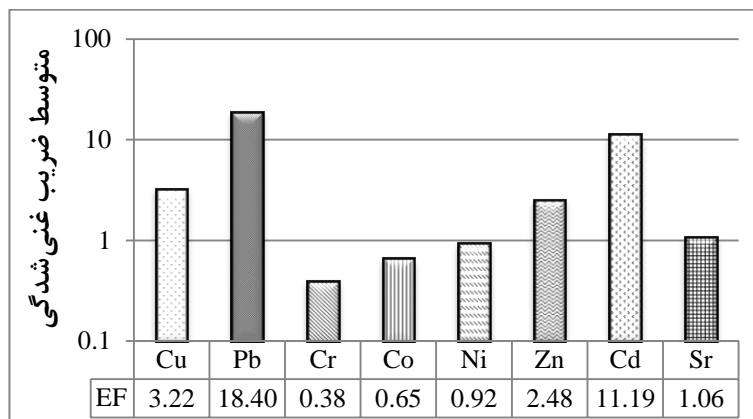
جدول ۵-۱۶ - رده‌بندی ساترلند (Sutherland, 2000) برای ضرایب غنی‌شدگی و وضعیت غنی‌شدگی نمونه‌های مورد

مطالعه		
عناصر مورد مطالعه در رودخانه زنجانرود	توصیف غنی‌شدگی	مقدار ضریب غنی‌شدگی
Sr, Ni, Co, Cr	نبود یا غنی‌شدگی اندک	EF<2
Cu, Zn	غنی‌شدگی متوسط	EF=2-5
Pb, Cd	غنی‌شدگی بالا و قابل توجه	EF=5-20
	غنی‌شدگی بسیار بالا	EF=20-40
	غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا	EF>40

جدول ۵-۱۷ - ضریب غنی‌شدگی نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه

Sr	Ni	Co	Cr	Cd	Pb	Zn	Cu	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
1.2	1.43	0.55	0.35	10.1	17.14	2.57	2.95	S1
1.2	0.86	0.64	0.43	11.2	16.65	1.81	2.01	S2
0.6	0.96	0.56	0.33	9.2	14.86	2.50	2.20	S3
1.3	0.82	0.67	0.48	12.3	15.37	1.73	2.52	S4
1.3	0.37	0.58	0.32	12.0	75.26	3.41	1.94	S5
1.0	0.56	0.62	0.43	11.3	15.21	1.66	1.72	S6
0.9	0.44	0.60	0.30	9.8	17.81	2.70	2.75	S7
0.8	0.53	0.68	0.48	13.1	5.39	2.35	3.53	S8
1.0	0.57	0.72	0.46	15.6	36.56	7.40	9.23	S10
1.1	0.48	0.73	0.43	16.8	43.14	8.82	6.81	S11
0.8	0.33	0.67	0.26	8.9	13.28	2.31	3.69	S12
1.7	0.45	0.66	0.40	9.7	18.65	2.18	5.79	S13
1.0	0.39	0.64	0.38	10.6	18.00	2.07	3.05	S14
1.1	0.49	0.66	0.41	12.6	24.27	1.70	4.05	S15
1.2	0.47	0.78	0.45	15.9	25.33	23.47	4.05	S16
0.9	0.48	0.70	0.41	17.9	16.61	1.44	2.44	S17
0.9	0.43	0.66	0.42	10.7	18.02	2.31	2.92	S18
0.8	0.49	0.66	0.46	11.8	17.33	2.54	2.51	S19
0.9	0.53	0.71	0.41	9.6	15.06	1.27	2.22	S20
1.0	0.41	0.62	0.42	10.8	5.28	2.14	2.59	S21
1.5	0.34	0.62	0.30	10.0	3.83	1.20	2.12	S22
1.3	0.34	0.65	0.25	8.5	3.53	0.66	2.06	S23
1.1	0.43	0.69	0.36	10.9	4.79	0.90	1.92	S24
1.2	0.40	0.62	0.29	9.6	4.13	0.51	1.92	S25

همانطور که در شکل ۵-۳۲، مشاهده می‌شود، متوسط ضریب غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه به صورت $Pb > Cd > Cu > Zn > Sr > Ni > Co > Cr$ تغییر می‌کند.



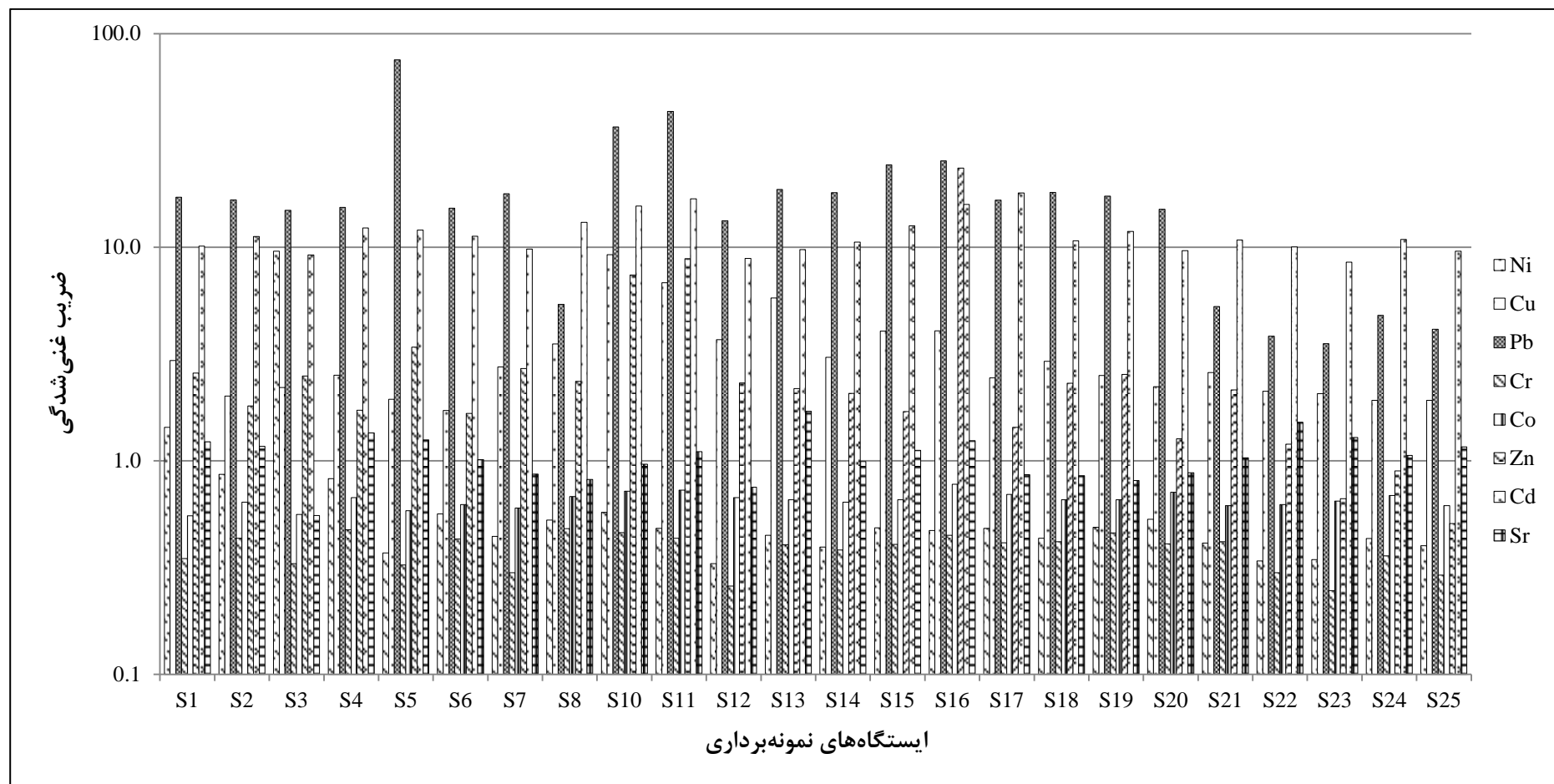
شکل ۵-۳۲- متوسط ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب منطقه

همانطور که در جدول ۵-۱۷، مشاهده می‌شود، نمونه S10 و S11، نسبت به مس دارای غنی‌شدگی بالا و قابل توجه است. این نمونه‌ها به ترتیب در داخل شهر زنجان (پایین دست ورودی فاضلاب) و خروجی شهر (محل تخلیه زباله‌های جامد شهری) قرار دارد.

ایستگاه S16 که در فاصله کم، نسبت به کارخانه شمش سازان روی قرار دارد، نسبت به روی غنی‌شدگی بالا و قابل توجه نشان می‌دهد.

نمونه رسوب ایستگاه S5 که بعد از شرکت سرب و روی برداشته شده است، نسبت به سرب غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا نشان می‌دهد. ایستگاه S11 نیز، که در خروجی شهر زنجان و محل تخلیه زباله‌های جامد شهری واقع شده است، نسبت به سرب دارای غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا می‌باشد. در ایستگاه‌های پایین دست حوضه، از غنی‌شدگی سرب کاسته می‌شود، دلیل این امر، کاهش منابع وارد کننده این عنصر می‌باشد.

تمامی نمونه‌های رسوب برداشت شده از منطقه مورد مطالعه، نسبت به عنصر کادمیم، دارای غنی‌شدگی بالا و قابل توجه می‌باشند.



شکل ۵-۳۳- ضریب غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب منطقه

با توجه به اینکه میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر مس، روی، سرب و کادمیم در منطقه مورد مطالعه، بیش‌تر از ۲ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت، عوامل انسان‌زاد در پراکنش غلظت این عناصر در منطقه، نقش اصلی را ایفا می‌نمایند (Martin et al., 2012). آلودگی نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه به این چهار عنصر، بسیار نگران‌کننده است. به احتمال زیاد، ورود پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های خانگی به رودخانه زنجانرود، سبب ایجاد آلودگی نمونه‌های رسوب، نسبت به این عناصر شده است. فعالیت کارخانه‌های ذوب و صنایع فلزی در اطراف رودخانه زنجانرود، مهم‌ترین عامل در افزایش غنی‌شدگی نمونه رسوبات منطقه نسبت به عناصر سرب، روی و کادمیم بوده است.

با توجه به اینکه میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر نیکل، استرانسیم، کبالت و کروم کم‌تر از ۲ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که عوامل زمین‌زاد، نقش اصلی را در توزیع غلظت این عناصر ایفا می‌کنند.

۵-۱۱-۲- شاخص زمین‌انباشتگی^۱ در نمونه‌های رسوب منطقه

شاخص زمین‌انباشتگی، توسط مولر^۲ در سال ۱۹۶۹ ارائه شد، که برای تعیین درجه آلاینده‌گی است و از رابطه ۷-۵ محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right) \quad (7-5)$$

در این رابطه I_{geo} شاخص زمین‌انباشت، C_n غلظت فلز در رسوب و B_n غلظت فلز در زمینه یا غلظت میانگین در زمینه (شیل) است. ضریب ۱/۵ در فرمول، برای تصحیح نمودن اثر لیتولوژی است و از تغییرات سنگ‌شناختی رسوبات ناشی می‌شود (Muller, 1969). رابطه مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی با میزان آلودگی در جدول ۵-۱۸ آورده شده است.

1- Geoaccumulation Index
2- Muller

جدول ۵-۱۸- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در تعیین آلودگی رسوب (Muller, 1969)

رده	مقدار I_{geo}	توصیف کمی از میزان آلودگی
۱	<۰	غیر آلوده
۲	۰-۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۳	۱-۲	آلودگی متوسط
۴	۲-۳	آلودگی متوسط تا شدید
۵	۳-۴	آلودگی شدید
۶	۴-۵	آلودگی شدید تا بسیار شدید
۷	>۵	آلودگی بسیار شدید

در جدول ۵-۱۹ و شکل ۵-۳۴، شاخص زمین‌انباشتگی تمام نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. متوسط شاخص زمین‌انباشتگی نمونه‌های رسوب نسبت به فلزات سنگین Cu، Zn، Ni، Cd، Cr، Pb، Sr و Co در شکل ۵-۳۵، آورده شده است.

مطابق جدول ۵-۱۹ و شکل ۵-۳۴، مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی محاسبه شده، برای مس از ۰/۴۶- تا ۲/۰۷ متغیر است. بیش‌ترین مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی برای مس، مربوط به ایستگاه‌های S10 (۲/۰۷)، S11 (۱/۵۸) و S13 (۱/۱۹) می‌باشد. این ایستگاه‌ها نسبت به فلز مس دارای آلودگی متوسط هستند. محل قرارگیری ایستگاه S10 پایین‌تر از نمونه فاضلاب شهری است. ایستگاه‌های S11 و S13 محل تخلیه پساب و زباله‌های جامد شهری است.

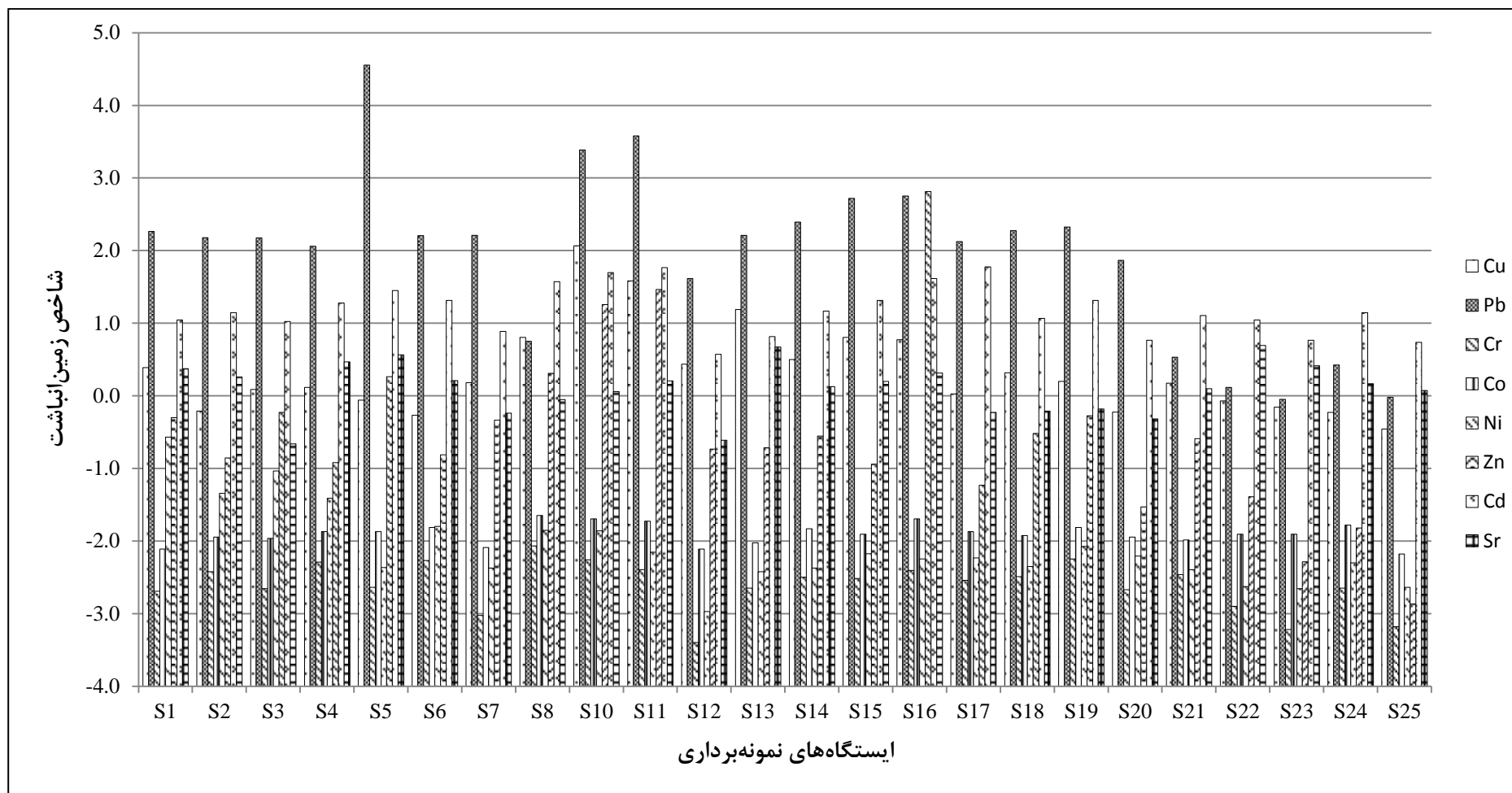
دامنه تغییرات شاخص زمین‌انباشتگی سرب از ۰/۰۵- تا ۴/۵۵ می‌باشد. کم‌ترین مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی برای سرب، مربوط به ۵ ایستگاه آخر است که در این ایستگاه‌ها از منابع انسان‌زاد فاصله گرفته شده است. ایستگاه S5 دارای بیش‌ترین مقدار شاخص زمین‌انباشتگی برای فلز سرب است. این ایستگاه بعد از کارخانه سرب و روی و در ۶ کیلومتری شهر زنجان واقع شده است. با توجه به مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی، ایستگاه‌های S8، S12، S20، S21، S22، S23، S24 و S25 نسبت به فلز سرب، غیر آلوده هستند و یا آلودگی متوسط دارند. باقی ایستگاه‌ها نسبت به سرب دارای آلودگی متوسط تا شدید و آلودگی شدید می‌باشند. کم‌ترین مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی متعلق به عناصر کروم، نیکل، روی و کبالت می‌باشد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به عناصر کروم، نیکل و

کبالت غیر آلوده هستند. ایستگاه S16 در نزدیکی کارخانه روی واقع در سرشاخه والارود، دارای آلودگی متوسط تا شدید نسبت به عنصر روی می‌باشد. ایستگاه S5 که بعد از کارخانه سرب و روی واقع شده است، در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط نسبت به روی قرار دارد. دو ایستگاه S10 (پایین دست ورودی فاضلاب شهری) و S11 (خروجی شهر زنجان در محل تخلیه زباله‌های جامد شهری) در مسیر آبراهه‌هایی واقع شده‌اند که از شهرک تخصصی روی در جنوب شهر زنجان عبور می‌کنند. با توجه به مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی، این دو ایستگاه، دارای آلودگی متوسط نسبت به روی می‌باشند.

متوسط شاخص زمین‌انباشتگی نمونه‌های رسوب، نسبت به کادمیم، در رده آلودگی متوسط قرار دارد. افزایش مقادیر زمین‌انباشتگی این عنصر در اثر عوامل زمین‌زاد و بشرزاد در اطراف رودخانه زنجانرود است.

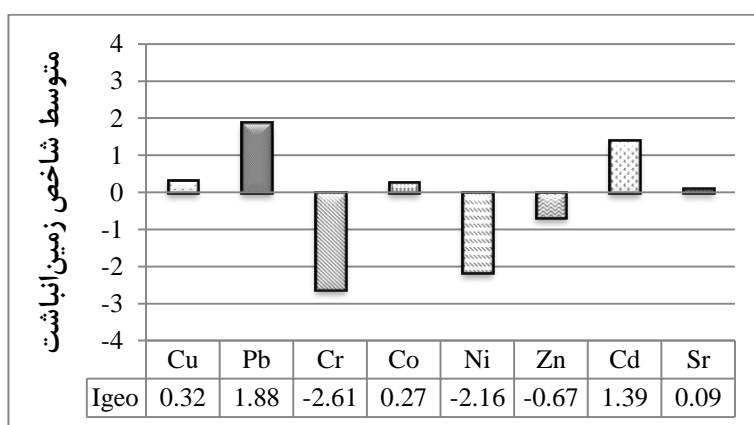
جدول ۵-۱۹- شاخص زمین‌انباشتگی نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه

Sr	Ni	Co	Cr	Cd	Pb	Zn	Cu	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
0.37	-0.57	-2.11	-2.69	1.04	2.26	-0.30	0.39	S1
0.26	-1.34	-1.95	-2.42	1.15	2.18	-0.85	-0.21	S2
-0.66	2.29	-1.96	-2.66	1.02	2.17	-0.23	0.09	S3
0.47	-1.41	-1.87	-2.29	1.28	2.06	-0.92	0.12	S4
0.57	-2.36	-1.87	-2.64	1.45	4.55	0.26	-0.06	S5
0.21	-1.80	-1.81	-2.27	1.31	2.21	-0.81	-0.27	S6
-0.24	-2.37	-2.09	-3.02	0.89	2.21	-0.34	0.18	S7
-0.05	-1.85	-1.65	-2.07	1.57	0.75	0.31	0.80	S8
0.06	-1.86	-1.70	-2.26	1.70	3.39	1.26	2.07	S10
0.21	-2.16	-1.73	-2.39	1.76	3.58	1.46	1.58	S11
-0.61	-2.97	-2.11	-3.40	0.57	1.61	-0.74	0.43	S12
0.67	-2.42	-2.03	-2.65	0.81	2.21	-0.72	1.19	S13
0.13	-2.37	-1.83	-2.50	1.17	2.39	-0.56	0.50	S14
0.20	-2.17	-1.91	-2.52	1.31	2.72	-0.94	0.80	S15
0.31	-2.25	-1.70	-2.40	1.61	2.75	2.81	0.77	S16
-0.23	-2.23	-1.87	-2.54	1.78	2.12	-1.23	0.03	S17
-0.21	-2.35	-1.93	-2.49	1.06	2.27	-0.52	0.32	S18
-0.18	-2.08	-1.81	-2.25	1.31	2.32	-0.27	0.20	S19
-0.32	-2.21	-1.95	-2.67	0.76	1.87	-1.53	-0.23	S20
0.10	-2.39	-1.98	-2.46	1.11	0.53	-0.59	0.17	S21
0.69	-2.63	-1.91	-2.90	1.04	0.12	-1.39	-0.07	S22
0.41	-2.65	-1.91	-3.22	0.76	-0.05	-2.29	-0.16	S23
0.17	-2.30	-1.78	-2.65	1.15	0.42	-1.82	-0.23	S24
0.07	-2.64	-2.18	-3.18	0.74	-0.02	-2.87	-0.46	S25



شکل ۵-۳۴- شاخص زمین‌انباشتگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب منطقه

همانطور که در شکل ۵-۳۵، مشاهده می‌شود، متوسط شاخص زمین‌انباشتگی عناصر در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه به صورت $Pb > Cd > Cu > Co > Sr > Zn > Ni > Cr$ تغییر می‌کند. با مقایسه نتایج حاصل از بررسی میانگین شاخص زمین‌انباشتگی نمونه‌های رسوب منطقه (شکل ۵-۳۵) با جدول ۵-۱۸، مشاهده می‌شود که رسوبات نسبت به روی، کروم، نیکل غیر آلوده، نسبت به مس، کبالت و استرانسیم غیر آلوده تا آلودگی متوسط، نسبت به سرب و کادمیم آلودگی متوسط را دارا می‌باشند.



شکل ۵-۳۵- متوسط شاخص زمین‌انباشتگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب منطقه

۵-۱۱-۳- فاکتور آلودگی^۱، درجه آلودگی^۲ و درجه آلودگی اصلاح شده^۳ در نمونه‌های رسوب منطقه

شاخص‌های فاکتور آلودگی و درجه آلودگی توسط هاکانسون^۴ (۱۹۸۰)، ارائه شد (رابطه ۵-۸) و برای ارزیابی وضعیت آلودگی در محیط رسوبی به کار می‌روند (Hakanson, 1980).

$$CF = C_e / C_b \quad (۵-۸)$$

CF: فاکتور آلودگی

-
- 1- Contamination Factor
 - 2- Contamination Degree
 - 3- Modified Contamination Degree
 - 4- Hakanson

C_e : غلظت عنصر در نمونه رسوب

C_b : غلظت عنصر تعیین شده در مقدار زمینه (میانگین شیل جهانی)

مجموع فاکتورهای آلودگی تمام عناصر مدنظر، به عنوان درجه آلودگی رسوب مطرح می‌شود:

$$Cd = \sum_{i=1}^m CF_i \quad (9-5)$$

m : تعداد عناصر آنالیز شده

در جدول ۵-۲۰، ارتباط درجه آلودگی و فاکتور آلودگی با میزان آلودگی ارائه شده است.

جدول ۵-۲۰ مقدار فاکتور آلودگی و درجه آلودگی و ارتباط آن با میزان آلودگی (Hoda and Khaled, 2009)

مقدار CF	میزان آلودگی رسوب	مقدار Cd	میزان آلودگی رسوب
$CF < 1$	آلودگی پایین	$Cd < 6$	درجه آلودگی پایین
$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط	$6 \leq Cd < 12$	درجه آلودگی متوسط
$3 \leq CF < 6$	آلودگی قابل توجه	$12 \leq Cd < 24$	درجه آلودگی قابل توجه
$CF \geq 6$	آلودگی بسیار بالا	$Cd \geq 24$	درجه آلودگی بسیار بالا

فرمول هاگانسون دارای محدودیت‌های مختلف می‌باشد، به همین دلیل از شکل اصلاح شده آن،

یعنی درجه آلودگی اصلاح شده mC_d (رابطه ۵-۱۰) استفاده می‌شود (Abraham, 2005) به نقل از قاسم‌زاده).

$$mC_d = \sum_{i=1}^m \frac{CF_i}{n} \quad (10-5)$$

در این رابطه mC_d : درجه آلودگی اصلاح شده، CF : فاکتور آلودگی و n : تعداد عناصر مورد بررسی

در این مطالعه می‌باشد. رده آلودگی رسوبات بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده در جدول ۵-

۲۱ آورده شده است.

جدول ۵-۲۱- رده‌بندی آلودگی رسوب بر مبنای درجه آلودگی اصلاح‌شده (Abraham, 2005 به نقل از قاسم‌زاده)

mC_d	میزان آلودگی
$1.5 > mC_d$	بدون آلودگی تا آلودگی کم
$1.5 > mC_d > 2$	درجه آلودگی کم
$2 > mC_d > 4$	درجه آلودگی متوسط
$4 > mC_d > 8$	درجه آلودگی بالا
$8 > mC_d > 16$	درجه آلودگی خیلی بالا
$16 > mC_d > 32$	درجه آلودگی به‌شدت بالا
$32 < mC_d$	درجه آلودگی بی‌نهایت

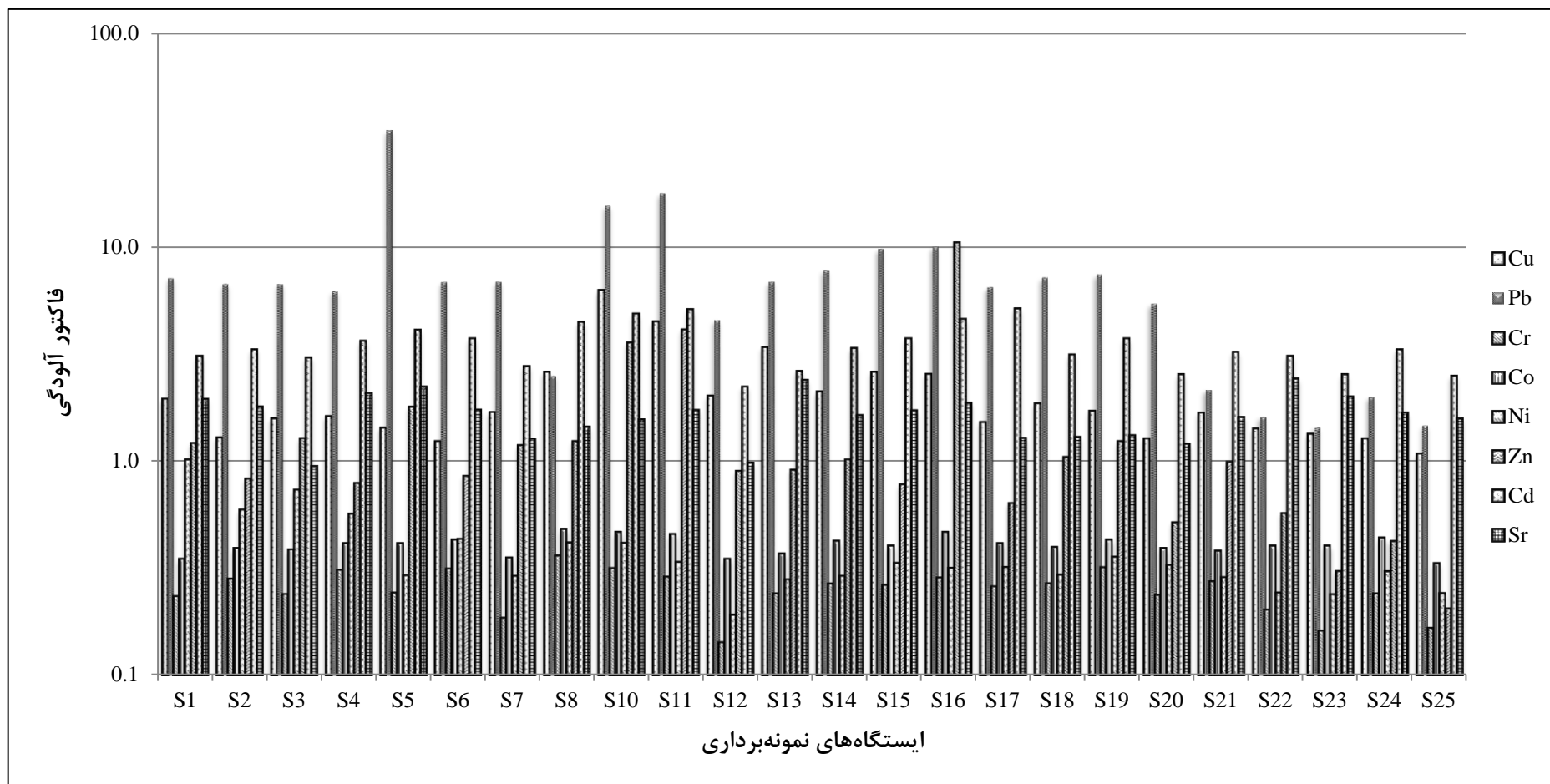
فاکتور آلودگی برای نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۵-۸، محاسبه و در

جدول ۵-۲۲، آورده شده است. شکل ۵-۳۶، فاکتور آلودگی تمام نمونه‌های رسوب منطقه مورد

مطالعه برای فلزات سنگین Cu، Zn، Ni، Cd، Cr، Pb، Sr و Co را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۲۲- فاکتور آلودگی نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه

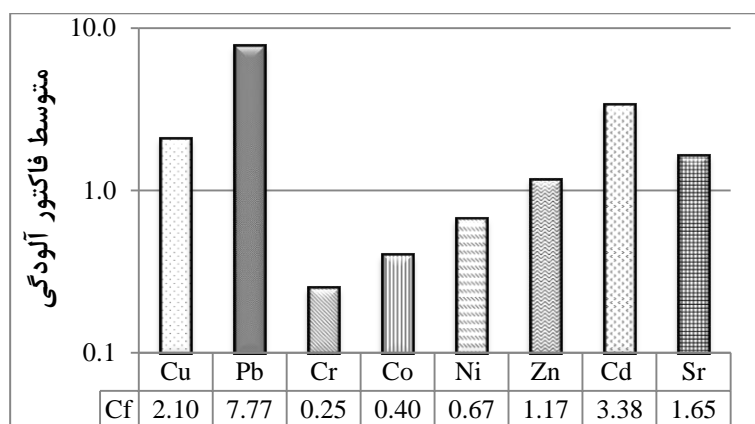
Sr	Ni	Co	Cr	Cd	Pb	Zn	Cu	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
1.95	1.01	0.35	0.23	3.09	7.20	1.22	1.96	S1
1.79	0.59	0.39	0.28	3.32	6.78	0.83	1.30	S2
0.95	0.73	0.38	0.24	3.05	6.76	1.28	1.59	S3
2.07	0.56	0.41	0.31	3.64	6.26	0.79	1.63	S4
2.22	0.29	0.41	0.24	4.09	35.23	1.80	1.44	S5
1.74	0.43	0.43	0.31	3.73	6.92	0.85	1.24	S6
1.27	0.29	0.35	0.18	2.77	6.94	1.19	1.70	S7
1.45	0.41	0.48	0.36	4.45	2.53	1.24	2.62	S8
1.56	0.41	0.46	0.31	4.86	15.68	3.58	6.28	S10
1.73	0.34	0.45	0.29	5.09	17.93	4.13	4.49	S11
0.98	0.19	0.35	0.14	2.23	4.59	0.90	2.03	S12
2.39	0.28	0.37	0.24	2.64	6.94	0.91	3.42	S13
1.64	0.29	0.42	0.27	3.36	7.88	1.02	2.12	S14
1.72	0.33	0.40	0.26	3.73	9.88	0.78	2.62	S15
1.86	0.32	0.46	0.28	4.59	10.09	10.54	2.56	S16
1.28	0.32	0.41	0.26	5.14	6.54	0.64	1.53	S17
1.30	0.29	0.39	0.27	3.14	7.26	1.05	1.87	S18
1.32	0.36	0.43	0.32	3.73	7.51	1.24	1.72	S19
1.20	0.33	0.39	0.24	2.55	5.47	0.52	1.28	S20
1.61	0.29	0.38	0.27	3.23	2.17	0.99	1.69	S21
2.42	0.24	0.40	0.20	3.09	1.63	0.57	1.43	S22
2.00	0.24	0.40	0.16	2.55	1.45	0.31	1.35	S23
1.68	0.30	0.44	0.24	3.32	2.01	0.42	1.28	S24
1.58	0.24	0.33	0.17	2.50	1.48	0.21	1.09	S25



شکل ۵-۳۶- فاکتور آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب منطقه

با مقایسه مقادیر فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی با رده‌بندی فاکتور آلودگی در جدول ۵-۲۰، می‌توان نتیجه گرفت که نیکل، کبالت و کروم در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری آلودگی پایین دارند. فاکتور آلودگی نیکل در ایستگاه S1 (سرشاخه ذاکر) در رده آلودگی متوسط قرار دارد که ممکن است ناشی از لجن فاضلاب روستای ذاکر باشد. سرب و روی در ایستگاه S16 دارای آلودگی بسیار بالا هستند. این ایستگاه در نزدیکی کارخانه شمش‌سازان روی زنجان قرار دارد. به‌طور کلی نمونه‌های رسوب نسبت به روی در رده آلودگی متوسط قرار دارند. با توجه به مقادیر میانگین فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی (شکل ۵-۳۷) رسوبات زنجانرود نسبت به عنصر سرب دارای آلودگی بسیار بالا و نسبت به عنصر کادمیم، دارای آلودگی قابل توجه، نسبت به عناصر روی، مس و استرانسیم دارای آلودگی متوسط و نسبت به عناصر کروم، کبالت و نیکل دارای آلودگی پایین می‌باشند. در واقع روند میزان آلودگی رسوبات زنجانرود براساس مقادیر فاکتور آلودگی به قرار زیر می‌باشد:

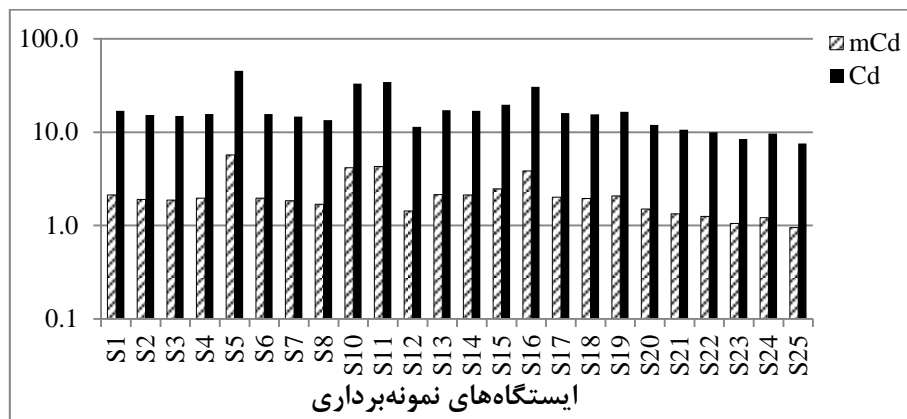
$$Cd > Pb > Cu > Sr > Zn > Ni > Co > Cr$$



شکل ۵-۳۷- متوسط فاکتور آلودگی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب منطقه

با توجه به رابطه (۵-۹) و (۵-۱۰)، مقایر درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده ایستگاه‌های مختلف در جدول ۵-۲۳ و شکل ۵-۳۸ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار درجه آلودگی در نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های داخل شهر و مناطق صنعتی، قابل توجه است و در ایستگاه‌های انتهای مسیر مقدار درجه آلودگی متوسط می‌شود (جدول ۵-۲۳). رده درجه آلودگی

اصلاح شده نیز در ایستگاه‌های داخل شهر و مناطق صنعتی کم تا متوسط است. و در دو ایستگاه پایانی درجه آلودگی اصلاح شده در رده بدون آلودگی قرار دارد.



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

جدول ۵-۲۳- تغییرات درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه زنجانرود

mCd	Cd	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
2.13	17.01	S1
1.91	15.27	S2
2.70	21.56	S3
1.96	15.66	S4
5.72	45.72	S5
1.96	15.65	S6
1.84	14.69	S7
1.69	13.54	S8
4.14	33.15	S10
4.31	34.45	S11
1.43	11.41	S12
2.15	17.18	S13
2.12	16.99	S14
2.46	19.71	S15
3.84	30.70	S16
2.01	16.11	S17
1.94	15.56	S18
2.08	16.61	S19
1.50	11.97	S20
1.33	10.62	S21
1.25	9.98	S22
1.06	8.44	S23
1.21	9.69	S24
0.95	7.59	S25

۵-۱۱-۴- محاسبه PLI یا شاخص بار آلودگی^۱ در نمونه‌های رسوب منطقه

تاملینسون^۲ و همکاران در سال ۱۹۸۰، روشی ساده استخراج نمودند که بر اساس آن میزان بار آلودگی رسوبات را محاسبه نمودند.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n} \quad (۱۱-۵)$$

CF₁: فاکتور آلودگی فلز اول

CF₂: فاکتور آلودگی فلز دوم

CF₃: فاکتور آلودگی فلز nام

n: تعداد فلز مورد مطالعه در هر ایستگاه

چنانچه شاخص بار آلودگی بیشتر از ۱ باشد، نشان دهنده‌ی آلودگی در رسوبات و اگر کمتر از ۱

باشد، نشانه‌ی عدم آلودگی در نمونه‌های رسوب است (Tomlinson et al., 1980).

همانطور که در جدول ۵-۲۴، مشاهده می‌شود، شاخص بار آلودگی در تمام نمونه‌های رسوب داخل

شهر و مناطق صنعتی بالاتر از ۱ است و آلودگی در رسوبات را بیان می‌کند. در ایستگاه S7 و S12

عامل بشرزاد وجود ندارد. در ایستگاه‌های پایانی، با خروج از شهر و کاهش عوامل بشرزاد، شاخص بار

آلودگی به کمتر از ۱ می‌رسد. به‌طور کلی محاسبه این شاخص مشخص می‌کند که ۶۷ درصد از

رسوبات در منطقه، آلوده می‌باشند که به‌نظر عامل اصلی این آلودگی، عوامل بشرزاد (شهر و مراکز

صنعتی) است.

جدول ۵-۲۴- مقادیر PLI در نمونه‌های رسوب منطقه

S13	S12	S11	S10	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	Stations
1.16	0.80	1.83	1.89	1.18	0.99	1.13	1.49	1.20	1.51	1.14	1.31	PLI
S25	S24	S23	S22	S21	S20	S19	S18	S17	S16	S15	S14	Stations
0.60	0.81	0.68	0.81	0.93	0.87	1.18	1.08	1.04	1.77	1.21	1.15	PLI

1- Pollution Load Index
5- Tomlinson

۵-۱۲- بررسی کیفیت نمونه‌های رسوب منطقه بر اساس راهنمای کیفیت

رسوبات

ذرات رسوب، در بعضی از شرایط محیطی، ممکن است فلزهای سنگین را آزاد نمایند و تبدیل به یک منبع ثانویه آلودگی شوند، به همین خاطر توجه به رسوبات، به عنوان یکی از مخازن تخلیه فلزات سنگین به محیط ضروری است. رسوبات نیز می‌توانند سلامت انسان و اکوسیستم رودخانه‌ای را تهدید کنند، چراکه رسوبات آلوده، منبع آلودگی‌های زیست‌دسترس‌پذیر برای موجودات کفزی محسوب می‌شود. این موجودات، غذای جانوران کفزی محسوب می‌شوند. بنابراین رهنمودهای کیفی برای تعیین وضعیت آلودگی‌های مرتبط با رسوبات در سراسر جهان به کار می‌رود. راهنمای کیفیت رسوب یا Sediment Quality Guidelines (SQGs) جهت نشان دادن ارتباط بین میزان آلودگی رسوبات با خطرزایی رسوبات به کار می‌رود. این راهنما می‌تواند در شناسایی نقاط با آلودگی حاد در رسوبات کمک نماید. همچنین نیاز رسوب به بازسازی و پتانسیل میزان آسیب‌رسانی به موجودات ساکن رسوبات را تعیین می‌نمایند. این راهنما می‌تواند مناطق مختلف را، از لحاظ آلودگی رسوبات، رتبه‌بندی کند (SQGS, 2003).

برای هر آلاینده نگران کننده در رسوبات حد آستانه غلظت مؤثر^۱ (TEC)، حد احتمالی مؤثر^۲ (PEC) و غلظت مؤثر میانه^۳ (MEC) که شاخص‌های تعیین کننده میزان تأثیرگذاری عناصر بر موجودات زنده می‌باشند، تعریف شده است. در این مطالعه غلظت هر یک از عناصر موجود در نمونه رسوب منطقه، با مقادیر حد آستانه غلظت مؤثر، حد احتمالی مؤثر و غلظت مؤثر میانه، مقایسه شده است (SQGs, 2003). لازم به ذکر است که MEC حد وسط TEC و PEC بوده و از رابطه ۵-۱۱ محاسبه شده است:

1- Treshold Effect Concentration
2- Probable Effect Concentration
3- Midpoint Effect Concentration

$$MEC = \frac{TEC+PEC}{2} \quad (۱۲-۵)$$

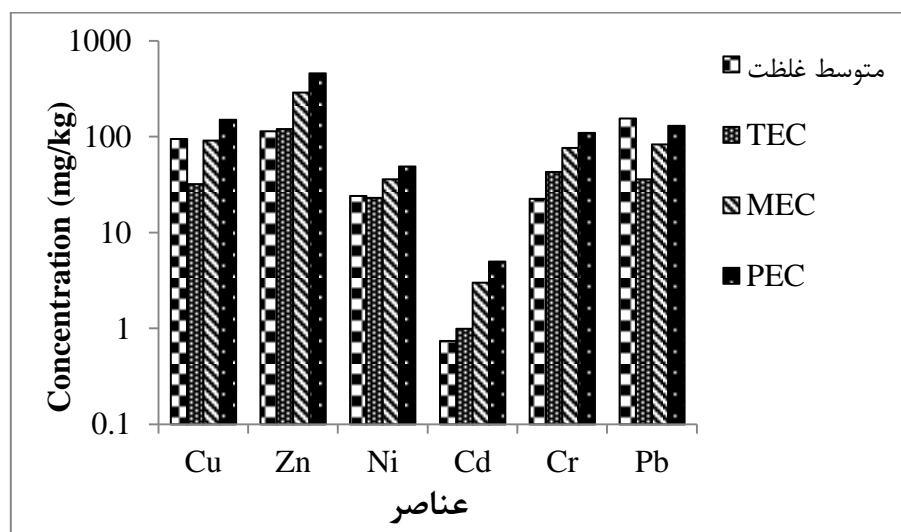
در جدول ۵-۲۵، مقدار TEC، PEC و MEC برای عناصر مورد مطالعه در این تحقیق آورده شده است. مقادیر TEC، PEC و MEC برای عناصر کبالت و استرانسیم، تعریف نشده است.

جدول ۵-۲۵- مقادیر TEC، MEC و PEC برای عناصر (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) (SQGs, 2003).

Metal	TEC	MEC	PEC
Copper	32	91	150
Zinc	120	290	460
Nickel	23	36	49
Cadmium	0.99	3	5
Chromium	43	76.5	110
Lead	36	83	130

همانطور که در شکل ۵-۳۹ مشاهده می‌شود، متوسط غلظت فلز مس از مقادیر TEC و MEC بالاتر، ولی از مقادیر PEC پایین‌تر است. غلظت فلز مس در ایستگاه‌های داخل شهر و در ایستگاه‌های بعد از شهرک صنعتی، بالاتر از مقادیر تعریف شده در راهنمای کیفیت رسوبات (SQGs) است و این امر برای موجودات زنده در رسوبات مناطق مسکونی و صنعتی نگران کننده است. غلظت فلز روی در ایستگاه‌های داخل شهر از مقادیر TEC بالاتر است. وجود کارخانه شمش سازان روی در نزدیکی ایستگاه S16 سبب شده است که غلظت فلز روی در این ایستگاه از مقادیر TEC، MEC و PEC بالاتر باشد. غلظت نیکل در دو ایستگاه S1 و S3 به دلیل تأثیر کارخانه‌های ریخته‌گری بالاتر از مقدار PEC تعریف شده برای این فلز در (SQGs 2003) است. تأثیر فعالیت‌های شهری سبب افزایش نیکل در ۱۰ ایستگاه اول شده است. غلظت کروم در تمام نمونه‌های رسوب از مقادیر TEC پایین‌تر است. غلظت دو عنصر سرب و کادمیم در اکثر ایستگاه‌هایی که تحت تأثیر عوامل بشرزاد قرار دارند، بالاتر از PEC است. به‌طور کلی مقایسه میانگین غلظت عناصر با مقادیر شاخص‌های موجود در SQGs نشان می‌دهد که مقادیر عناصر کروم و کادمیم در رسوبات به حد آستانه تأثیرگذاری بر موجودات زنده نرسیده و عامل خطرناکی برای موجودات آبی محسوب نمی‌شود. میانگین مقادیر عناصر سرب، نیکل، روی و مس از مقدار TEC بالاتر است که نیاز به توجه و نظارت بیشتر در منطقه نسبت به این عناصر را

نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۹- مقایسه میانگین غلظت عناصر با مقادیر شاخص‌های موجود در SQGs

۵-۱۳- تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) در نمونه‌های رسوب منطقه

تحلیل مؤلفه اصلی می‌تواند داده‌های استاندارد شده فلزات سنگین را در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری با یک مقایسه مناسب و یکپارچه ترکیب نماید. در این صورت می‌توان با حداقل عوامل موجود، اجزای اصلی را معرفی نمود و ویژگی‌های فلزات سنگین را تعیین کرد. در این روش، عناصر یا متغیرهایی که دارای رفتار ژئوشیمیایی مشابه و یا منشاء مشترک هستند در یک مؤلفه اصلی قرار می‌گیرند (Shan et al., 2012). مؤلفه‌ها دارای حداکثر اختلاف یا واریانس (Varimax) نسبت به هم می‌باشند به‌همین دلیل مستقل از یکدیگر می‌باشند (Kaiser, 1960).

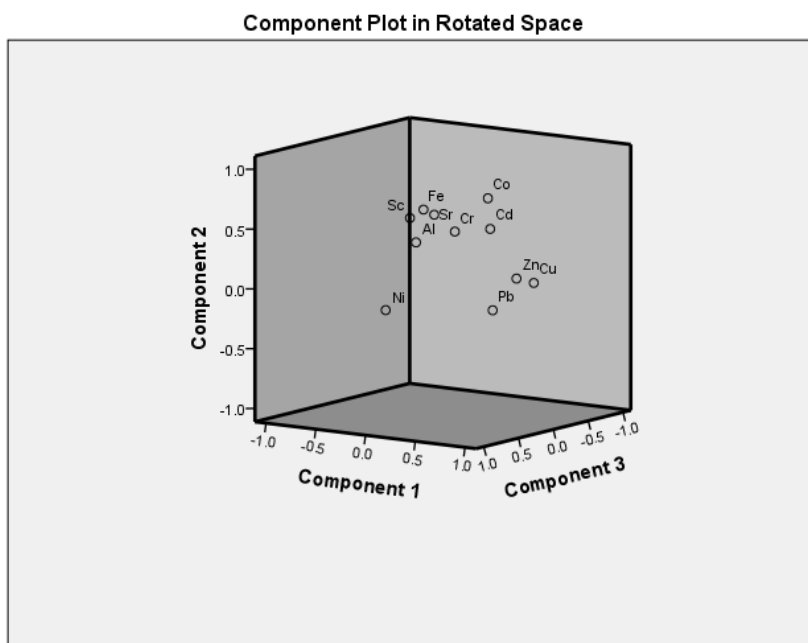
نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی در شکل‌های ۵-۵۰ و ۵-۵۱ و همچنین در جدول ۵-۲۷ آورده شده است. شکل ۵-۵۱ بارگذاری هر سه مؤلفه اصلی استخراج شده را، به صورت سه بعدی نمایش می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده از تحلیل مؤلفه اصلی، مؤلفه اول با ۲۷/۹٪ از واریانس کل، فلزاتی چون Cu, Zn, Pb, Cd، بارگذاری‌های بالایی نشان می‌دهند. در مؤلفه دوم با ۲۴/۶٪ از واریانس کل، شش فلز Cd, Cr, Sr, Sc, Co و Fe بیش‌ترین مقادیر بارگذاری مثبت را نشان می‌دهند. در مؤلفه

سوم با کمترین واریانس (۰/۲۳/۷) از واریانس کل، فلزات Ni، Al و Sc بیشترین مقادیر بارگذاری مثبت را نشان می‌دهد. متغیرهایی که در یک مؤلفه اصلی قرار می‌گیرند از لحاظ آماری دارای صفات یکسان و از لحاظ ژئوشیمیایی دارای منشاء یا رفتار یکسان می‌باشند (Shan et al., 2012).

با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری غلظت عناصر در رسوبات، نحوه توزیع و پراکنش آن‌ها در نقشه تعییرات غلظت عناصر، ارزیابی تأثیر عوامل زمین‌زاد و بشرزاد بر پراکنش و محاسبه همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکیوشیمیایی رسوب، عوامل زمین‌زاد و بشرزاد بالاخص حضور شهر زنجان و فاضلاب شهری، صنایع و شهرک صنعتی (شکل ۵-۴۱)، در پراکنش تمام عناصر نقش داشتند، ولی با توجه به تفسیری که برای توزیع هر عنصر در بخش‌های مربوطه بیان شد، نقش این عوامل یکسان نبوده‌اند. در واقع عوامل زمین‌زاد در پراکنش عناصر کروم، کبالت، کادمیم، استرانسیم و نیکل نقش اساسی را داشته‌اند که این امر با هم‌گروه شدن این عناصر با آهن، آلومینیوم و اسکاندیم در تحلیل مؤلفه اصلی مورد تأثیر قرار می‌گیرد. توزیع عناصر سرب، روی، مس و کادمیم بیش‌تر تحت تأثیر عوامل بشرزاد (صنایع فرآوری سرب و روی) قرار داشتند و در تحلیل مؤلفه اصلی هم در یک گروه قرار می‌گیرند. قرارگیری عنصر کادمیم در دو مؤلفه اصلی اول و دوم می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد. یکی از این دلایل احتمالاً منشاء دوگانه این عنصر در نمونه رسوبات منطقه مورد مطالعه است.

جدول ۵-۲۶- سه مؤلفه اصلی استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها

Component			
3	2	1	
0.498	0.550	0.469	Cr
0.064	0.769	0.497	Co
0.916	-0.087	0.066	Ni
0.539	0.711	0.182	Fe
-0.096	0.074	0.847	Cu
0.190	0.154	0.873	Zn
0.250	0.555	0.651	Cd
0.357	-0.099	0.751	Pb
0.780	0.481	0.276	Al
-0.044	0.554	-0.117	Sr
0.619	0.644	0.102	Sc



شکل ۵-۴۰- بارگذاری متغیرهای رسوب بر روی نمودار سه بعدی

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- مقدمه

رودخانه زنجانرود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان زنجان محسوب می‌شود. در این پژوهش با توجه به نقش رودخانه زنجانرود در تأمین آب مورد استفاده در صنایع، روستاها و کشاورزی، به ارزیابی کیفیت آب و رسوب بخشی از رودخانه زنجانرود (بین دو سرشاخه ذاکر و سهرین)، پرداخته شد.

جهت ارزیابی کیفی آب رودخانه زنجانرود و بررسی غلظت عناصر سنگین (Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Cd, Ni و Sr) در آب و رسوبات سطحی رودخانه، ابتدا بازدید صحرایی انجام پذیرفت، سپس اطلاعات موجود در رابطه با منطقه‌ی مورد مطالعه، زمین‌شناسی منطقه و راه‌های دسترسی به آن جمع‌آوری شد. پس از تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری (۲۵ ایستگاه) با بیش‌ترین احتمال آلودگی در آن‌ها، ۱۹ نمونه آب، ۱ نمونه فاضلاب شهری، ۲۴ نمونه رسوب، برداشت گردید. آزمایش‌های لازم جهت آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های آب و رسوب رودخانه، صورت پذیرفت. نتایج حاصل برای بررسی آلودگی ناشی از منابع بشرزاد و زمین‌زاد در منطقه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پارامترهای pH، EC، TDS و دمای نمونه‌های آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد و برای تعیین میزان فلزات سنگین و یون‌های اصلی موجود در آب، نمونه‌ها به آزمایشگاه زمین‌شناسی و علوم محیط‌زیست دانشگاه زنجان، آزمایشگاه دانشکده شیمی شاهرود و پارک علم و فناوری استان سمنان منتقل شد. شاخص‌های ژئوشیمیایی محاسبه گردید و با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری مانند تحلیل مؤلفه اصلی و همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه رسوبات منطقه، به بررسی منابع آلاینده احتمالی و رفتار ژئوشیمیایی عناصر پرداخته شد. جهت نشان دادن ارتباط میزان آلودگی رسوبات با خطرزایی رسوبات، از راهنمای کیفیت رسوب استفاده شد. از نرم‌افزارهای ، Chemistry ، SPSS18 ، Aq.QA ، PHREEQC 3.0.6، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. در انتها، جهت تکمیل و جمع‌بندی مطالب ذکرشده در پژوهش حاضر، پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ارائه گردیده است.

۲-۶- جمع‌بندی مطالعات مربوط به کیفیت آب و رسوب

۱-۲-۶- پارامترهای فیزیکوشیمیایی

- pH نمونه‌های آب و رسوب منطقه مورد مطالعه، در محدوده قلیائیت قرار دارد.
- میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب رودخانه زنجانرود از ۲۴۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تا ۱۵۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است و مقدار میانگین هدایت الکتریکی در رسوبات رودخانه برابر با $119 \mu\text{S/cm}$ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است.
- روند تغییرات کاتیون‌ها در آب رودخانه به صورت $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ است. روند $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ نشان‌دهنده تغییرات غلظت آنیون‌ها است.
- نتایج حاصل از نمودارهای استیف و پایپر نشان داد که تیپ و رخساره نمونه‌های آب، کلروه کلسیک (۱۵٪)، بی‌کربناته کلسیک (۷۵٪) و سولفاته کلسیک (۱۰٪) می‌باشد.
- با توجه به نمودار شولر، کیفیت آب در محدوده مورد مطالعه جهت مصارف شرب، خوب تا قابل قبول است و با توجه به نمودار ویلکاکس نمونه‌های آب زنجانرود برای اهداف آبیاری در مصارف کشاورزی مناسب می‌باشند.
- سختی نمونه‌های آب منطقه نشان داد که ۶۰٪ نمونه‌های آب کاملاً سخت، ۳۵٪ سخت و ۵٪ نسبتاً سخت هستند.
- طبقه‌بندی بافت رسوبات بر اساس مثلث دانه‌بندی فولک (Folk, 1954)، نشان داد که رسوبات منطقه به صورت پنج بافت گراول ماسه‌ای، ماسه گراولی، ماسه، ماسه گلی گراولی و ماسه گلی با کمی گراول می‌باشند.
- درصد مواد آلی در رسوبات زنجانرود بین ۰/۰۴٪ تا ۰/۷۲٪ متغیر است. کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت کربنات کلسیم در رسوبات، به ترتیب ۰/۱۸٪ و ۱/۱۱٪ می‌باشد.

۶-۲-۳- غلظت فلزات سنگین

- **مس:** غلظت فلز مس در نمونه‌های آب منطقه پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه بود. غلظت میانگین مس در نمونه‌های رسوب زنجانرود، ۹۴/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با توجه به اینکه غلظت متوسط مس در رسوبات جهانی (Bowen, 1979)، ۳۳ mg/kg تعیین شده است، در تمامی ایستگاه‌ها غلظت مس بالاتر از مقدار ذکر شده (W.M.S) می‌باشد.
- **روی:** غلظت روی در نمونه رسوب‌های مورد مطالعه، بین ۱۹/۵ تا ۳۹۲/۷ mg/kg (میانگین ۱۱۴/۲۴ mg/kg) متغیر است. با توجه به اینکه، غلظت میانگین جهانی روی در رسوبات mg/kg ۹۵ می‌باشد، غلظت این عنصر در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بیش از این مقدار می‌باشد. فلز روی در نمونه‌های آب منطقه مشاهده نشد.
- **نیکل:** میانگین غلظت نیکل در رسوبات جهانی ۵۲ mg/kg می‌باشد (Bowen, 1979). بیش‌ترین مقدار نیکل متعلق به ایستگاه S1 (سرشاخه ذاکر) می‌باشد (۶۸/۷ mg/kg). در باقی ایستگاه‌ها، مقدار نیکل پایین‌تر از میانگین غلظت آن در رسوبات جهانی است. این عنصر در نمونه‌های آب منطقه مشاهده نشد.
- **کادمیم:** غلظت کادمیم در نمونه‌های رسوب زنجانرود بین ۰/۴۹ تا ۱/۱۳ می‌باشد. با توجه به میانگین غلظت کادمیم در رسوبات جهانی (۰/۱۷ mg/kg)، غلظت کادمیم موجود در تمام نمونه‌های رسوب، بسیار بالاتر از مقدار متوسط ذکر شده، است. غلظت کادمیم در نمونه‌های آب منطقه پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه بود.
- **کروم:** غلظت کروم در رسوبات از ۱۲/۸ تا ۳۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. غلظت این عنصر در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری، کم‌تر از میانگین غلظت رسوبات جهانی (۷۲ mg/kg) است. فلز کروم در نمونه‌های آب دیده نشد.

- **سرب:** غلظت سرب موجود در نمونه‌های آب ۰.۸۵٪ ایستگاه‌ها، بالاتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO 2011) یا ۱۰ ppb و استاندارد آب آشامیدنی ۱۰۵۳ ایران یا ۵۰ ppb است. میانگین سرب در رسوبات جهانی (Bowen, 1979) معادل ۱۹ ppm می‌باشد که پایین‌تر از غلظت سرب موجود در نمونه رسوب تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری می‌باشد.
- **استرانسیم:** WHO (2011)، EPA (2012) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران، حد استاندارد را برای استرانسیم در آب آشامیدنی و خروجی فاضلاب، تعیین نکرده‌اند. کم‌ترین مقدار استرانسیم در آب (۱۸/۹ ppb) و بیش‌ترین مقدار آن (۹۸/۲ ppb) است. در ایستگاه‌هایی که مقدار استرانسیم در آب کاهش می‌یابد، در نمونه رسوب همان ایستگاه، افزایش غلظت عنصر استرانسیم را داریم. غلظت استرانسیم در منطقه مورد مطالعه (به‌جز یک مورد)، نسبت به مقدار متوسط جهانی این عنصر در رسوبات، (۳۲۰ mg/kg) پایین‌تر است.
- **کبالت:** غلظت کبالت در نمونه‌های رسوب منطقه بین ۶/۳ تا ۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، متغیر است. طبق میانگین استاندارد جهانی عناصر در رسوبات (Bowen, 1979)، غلظت کبالت در تمام نمونه‌های رسوب منطقه، از میانگین جهانی کبالت (۱۴ mg/kg) کم‌تر است و در نمونه‌های آب دیده نشد.

۶-۲-۴- شاخص‌های ژئوشیمیایی

- میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر مس، روی، سرب و کادمیم در منطقه مورد مطالعه، بیش‌تر از ۲ می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که عوامل انسان‌زاد در پراکنش غلظت این عناصر در منطقه، نقش اصلی را ایفا می‌نمایند. میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر نیکل، استرانسیم، کبالت و کروم کم‌تر از ۲ می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که عوامل زمین‌زاد، نقش اصلی را در توزیع غلظت این عناصر ایفا می‌کنند.

- متوسط شاخص زمین‌انباشتگی عناصر در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه به صورت $Pb > Cd > Cu$
- $Cr > Ni > Zn > Sr > Co$ تغییر می‌کند. نتایج حاصل از بررسی میانگین شاخص زمین‌انباشتگی نمونه‌های رسوب منطقه نشان می‌دهد که رسوبات نسبت به روی، کروم، نیکل غیر آلوده، نسبت به مس، کبالت و استرانسیم غیر آلوده تا آلودگی متوسط، نسبت به سرب و کادمیم آلودگی متوسط را دارا می‌باشند.
- با توجه به مقادیر میانگین فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی، رسوبات زنجارود نسبت به عنصر سرب دارای آلودگی بسیار بالا و نسبت به عنصر کادمیم، دارای آلودگی قابل توجه، نسبت به عناصر روی، مس و استرانسیم دارای آلودگی متوسط و نسبت به عناصر کروم، کبالت و نیکل دارای آلودگی پایین می‌باشند.
- مقدار درجه آلودگی در نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های داخل شهر و مناطق صنعتی، قابل توجه است و در ایستگاه‌های انتهای مسیر مقدار درجه آلودگی متوسط می‌شود. رده درجه آلودگی اصلاح شده نیز در ایستگاه‌های داخل شهر و مناطق صنعتی کم تا متوسط است.
- شاخص بارآلودگی در تمام نمونه‌های رسوب داخل شهر و مناطق صنعتی بالاتر از ۱ است و آلودگی در رسوبات را بیان می‌کند. در ایستگاه‌های پایانی، با خروج از شهر و کاهش عوامل بشرزاد، شاخص بار آلودگی به کمتر از ۱ می‌رسد.

۶-۲-۵- آنالیزهای آماری

نتایج حاصل از همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب نشان داد که، همبستگی EC با کاتیون‌های کلسیم، پتاسیم و سدیم (به ترتیب ۰/۶۴۶، ۰/۸۵۳ و ۰/۸۳۰) مثبت است. همچنین EC همبستگی مثبت با سه آنیون بی‌کربنات (۰/۶۶۸)، سولفات (۰/۷۴۸) و کلر (۰/۸۰۳) دارد. بین TDS و EC یک همبستگی بالا و مثبت ($r=0.995$, $p<0.01$) وجود دارد. هدایت الکتریکی آب با مقدار کل جامدات محلول رابطه مستقیم دارد. همبستگی هدایت الکتریکی و مقدار

کل جامدات محلول، با کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب، به‌جز منیزیم و نیترات، معنادار است. EC درای همبستگی منفی با pH (0/600-) است. با افزایش pH و قلیایی شدن محیط، میزان انحلال‌پذیری کاهش می‌یابد و با کاهش انحلال‌پذیری از مقدار هدایت الکتریکی کاسته می‌شود. همبستگی مثبت و معنادار بین سدیم با کلر (0/896)، کلسیم (0/696)، پتاسیم (0/672)، بی‌کربنات (0/688) و سولفات (0/702)، هم‌منشأ بودن آن‌ها از سازندهای کربناته موجود در رشته کوه‌های سلطانیه و سازندهای تبخیری در انتهای مسیر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همبستگی بین کلسیم با منیزیم (0/625) و بی‌کربنات (0/677) می‌تواند نشان از منشأ گرفتن آن‌ها از سازندهای کربناته (دولومیت و کلسیت) موجود در منطقه باشد. با افزایش pH انحلال‌پذیری یون‌ها و غلظت یون‌های اصلی محلول در آب کاهش می‌یابد و همبستگی منفی مشاهده شده بین pH با برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها مؤید این مطلب می‌باشد.

همبستگی بین فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب در منطقه نشان داد که pH با عنصر روی (0/639-) دارای همبستگی منفی است که نشان‌دهنده رابطه معکوس، بین مقادیر pH و غلظت عنصر مذکور در رسوبات است. pH با سایر پارامترها و فلزات موجود در رسوبات، رابطه آماری معناداری نشان نمی‌دهد و این امر می‌تواند ناشی از تغییرات اندک pH در رسوبات منطقه باشد. استرانسیم با هیچ‌یک از عناصر موجود در منطقه، همبستگی ندارد. عدم همبستگی استرانسیم با تمام عناصر موجود در منطقه، می‌تواند نشان از منشأ متفاوت این عنصر، در منطقه باشد. اسکاندیم یک عنصر زمین‌زاد در منطقه است. همبستگی بالا و مثبت اسکاندیم با آلومینیوم ($r=0.814$) ($p<0.01$) و آهن ($r=0.829$, $p<0.01$) می‌تواند بیانگر منشأ یکسان این عناصر باشد. وجود کارخانه سرب و روی زنجان در مسیر رودخانه زنجانرود، جاده تهران- جلفا- بازرگان به موازات زنجانرود و گراندیوریتها و گرانیتهای موجود در ارتفاعات طارم و سلطانیه در دو طرف رودخانه، سبب شده است که عنصر سرب با عنصر روی (0/685) همبستگی خوب و مثبت با یکدیگر داشته باشند. همبستگی مثبت بین سه عنصر کبالت، کروم و کادمیم وجود دارد که منعکس‌کننده رفتارهای ژئوشیمی مشابه و

منابع یکسان آن‌ها است (Yuan et al., 2010). فعالیت‌های شهری، کارخانه‌های صنعتی و تردد اتومبیل‌ها در جاده‌های منطقه مورد مطالعه، سبب شده است که عنصر روی با سه عنصر سرب (۰/۶۸۵)، کادمیم (۰/۶۲۰) و مس (۰/۶۷۵)، دارای همبستگی مثبت باشد. همبستگی مثبت کروم، کبالت و کادمیم با عناصر زمین‌زاد منطقه (آلومینیوم، اسکاندیم و آهن) می‌تواند بیانگر منشأ زمین‌زاد این عناصر در حوضه آبریز باشد. وجود لایه‌های زغال‌دار در سازند شمشک حوضه آبریز، می‌تواند سبب افزایش این عناصر در منطقه شود. همبستگی مثبت کادمیم با عناصر زمین‌زاد و بشرزاد منطقه، ناشی از منشأ دوگانه این عنصر است. همبستگی آلومینیوم با عنصر نیکل (۰/۶۷۸) ناشی از حضور کانی‌های الیوین‌دار و پیروکسن‌دار در ارتفاعات منطقه می‌باشد.

- نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که، مؤلفه اول با ۲۷/۹٪ از واریانس کل، فلزاتی چون Cu, Zn, Pb, Cd, را شامل می‌شود که دارای بارگذاری بالایی هستند. در مؤلفه دوم با ۲۴/۶٪ از واریانس کل، شش فلز Cd, Cr, Sr, Sc, Co و Fe بیش‌ترین مقادیر بارگذاری مثبت را نشان می‌دهند. در مؤلفه سوم با کم‌ترین واریانس (۲۳/۷٪) از واریانس کل، فلزات Ni, Al و Sc بیش‌ترین مقادیر بارگذاری مثبت را نشان می‌دهد. عوامل زمین‌زاد در پراکنش عناصر کروم، کبالت، کادمیم، استرانسیم و نیکل نقش اساسی را داشته‌اند که این امر با هم‌گروه شدن این عناصر با آهن، آلومینیوم و اسکاندیم در تحلیل مؤلفه اصلی مورد تأیید قرار گرفت. توزیع عناصر سرب، روی، مس و کادمیم بیش‌تر تحت تأثیر عوامل بشرزاد (صنایع فرآوری سرب و روی) قرار داشتند و در تحلیل مؤلفه اصلی هم در یک گروه قرار گرفتند. قرارگیری عنصر کادمیم در دو مؤلفه اصلی اول و دوم می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد. یکی از این دلایل احتمالاً منشأ دوگانه این عنصر در نمونه رسوبات منطقه مورد مطالعه است.

۳-۶- پیشنهادها

انجام مطالعات و تحقیقات زیر در منطقه پیشنهاد می‌گردد:

- ارزیابی زیست‌دسترس‌پذیری عناصر در رسوبات با استفاده از روش استخراج ترتیبی
- بررسی تأثیر آلودگی زنجارود به فلزات سنگین بر موجودات آبی رودخانه، گیاهان و درختان
استقرار یافته در حاشیه رودخانه
- انجام مطالعات گسترده زمین‌پزشکی در منطقه، جهت بررسی تأثیر آلودگی رودخانه بر سلامتی
جوامع انسانی و سایر موجودات زنده
- تعیین کمی سهم منابع مختلف آلاینده در محدوده مورد مطالعه
- جهت بهبود کیفیت آب و رسوبات رودخانه و جلوگیری از افزایش آلودگی در آن موارد زیر
پیشنهاد می‌گردد:

- ۱- جمع‌آوری زباله‌های شهری از مسیر رودخانه
- ۲- نظارت و کنترل دقیق بر عملکرد منابع آلاینده
- ۳- استفاده از سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری و کارخانه‌ها و تصفیه فاضلاب‌های جمع‌آوری
شده
- ۴- نظارت بر چگونگی استقرار کاربری‌های مختلف در اطراف منابع آب و کنترل منابع آلاینده
- ۵- پایش کیفی رودخانه و سرشاخه‌های آن به صورت ماهانه

منابع

منابع فارسی

- احمدی، ع.، زمانی، م.، صالحی، ر.، احمدی، ک.، کرمی، پ.، فتاحی، م.، (۱۳۹۱)، "استان شناسی زنجان"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، تهران، ۱۲۰ ص.
- استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، (۱۳۸۸)، "آب آشامیدنی-ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی" تجدید نظر پنجم، صفحه ۱-۲۶.
- اسماعیلی ساری، ع.، (۱۳۸۱)، "آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات نقش مهر، تهران، ۷۶۹ ص.
- اشتوکلین، ی.، افتخارنژاد، ج.، (۱۹۶۹)، "نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش زنجان"، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- آقازاده، ن.، اصغری مقدم، ا.، صمدی، ن.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی نفوذ آب شور دریاچه اورومیه به آب‌خوان ساحلی میان‌دشت قال‌قاجی"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره چهارم، گرگان.
- آقانباتی، ع.، (۱۳۸۹)، "زمین‌شناسی ایران"، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۷۰۷ ص.
- آقانباتی، ع.، فتوحی، و.، اسکندری، ش.، (۱۳۸۰)، "فعالیت‌های زمین‌شناسی و اکتشافی انجام شده در استانها و برنامه پنجساله سوم"، پایگاه داده‌های علوم زمین کشور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اقبال‌شمس آباد، پ.، معماریانی، م.، معطر، ف.، (۱۳۸۹) "بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیم، سرب و مواد آلی در سفیدرود با نگرشی بر منشأ زمین‌ساختاری آنها"، مجله علمی تخصصی تالاب، سال دوم، شماره سوم، ص ۳۹-۵۵.
- ایبای، ن.، (۱۳۹۰)، "مبانی زمین‌شیمی زیست‌محیطی"، جلد اول، ترجمه مر، ف.، مدبری، س.، فرقانی، گ.، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۶۷۰ ص.
- بابائی، ه.، خداپرست، ح.، (۱۳۸۹)، "غنی‌شدگی و توزیع عناصر سنگین در رسوبات سطحی دریای خزر (سواحل بندر انزلی)"، چهارمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، انجمن مهندسی محیط‌زیست ایران، ۹-۱ ص، تهران.
- پری‌زنگنه، ع.، عابدینی، ی.، ع.، قدیمی، ی.، (۱۳۸۳)، "بررسی کیفی آب رودخانه‌های مهم استان زنجان و تعیین اثرات توسعه بر آنان"، پنجمین همایش ملی و سالانه انجمن متخصصان محیط‌زیست ایران، تهران، انجمن متخصصان محیط‌زیست ایران، ص ۱-۱۴، تهران.
- پوی، ه.، س.، روو، د.، ر.، چپانوگلاس، ج.، (۱۳۸۲)، "مهندسی محیط‌زیست"، جلد اول، ترجمه ابراهیمی، س.، کی‌نژاد، م.، ع.، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ص ۱۱-۷۷.

تیموری، ع.، (۱۳۹۱)، پایان نامه ارشد، "ارزیابی کیفیت آب و رسوب رودخانه گرگانرود در محدوده شهر گنبد، استان گلستان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

حافظی مقدس، ن.، غفوری، م.، (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی زیست‌محیطی"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی، شاهرود، ص ۱۶۹-۲۰۳.

خالدی، ز.، محمدزاده، ح.، (۱۳۹۰)، "بررسی پراکنش و پتانسیل آلاینده‌های عناصر کروم، نیکل، کبالت و مس در واحدهای افیولیتی جنوب بیرجند"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱-۷، تهران.

خانمحمدی، م.، (۱۳۷۶)، "بررسی لیمونولوژیک زنجانرود"، گزارش نهایی اداره کل حفاظت محیط زیست استان زنجان.

خسروتهرانی، خ.، (۱۳۶۴)، "زمین‌شناسی ایران"، جلد دوم، چاپ اول، انتشارات کلیدر.

درویش‌زاده، ع.، (۱۳۷۰)، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ اول، جلد اول، انتشارات مؤسسه امیرکبیر.

دفتر برنامه‌ریزی و بودجه استان زنجان، (۱۳۸۹)، "تحلیل وضعیت منابع طبیعی و محیط‌زیست"، جلد سوم، چاپ اول، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی استانداری زنجان، ص ۲۰۴-۲۳۱ و ص ۱۲۱.

رحمانی، ع.، (۱۳۸۶)، "تعیین کیفیت آب رودخانه‌های جاری در دشت همدان- بهار بر مبنای روش طبقه‌بندی ویلکوکس"، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی، ۱-۱۰ ص، همدان.

رستمی، ش.، (۱۳۹۱)، پایان نامه ارشد، "ارزیابی کیفیت و آلودگی آب و رسوبات بستر رودخانه سیاهرود، منطقه قائمشهر، استان مازندران"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رسولی، م.، مکاریان، ر.، (۱۳۹۰)، "آنالیز فاکتورهای کیفی آب زیرزمینی در محدوده شهری حوضه آبریز زنجانرود با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و ARCGIS"، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای زنجان، ص ۱-۹، زنجان.

زیبایی، م.، مدبری، س.، موسوی حرمی، ر.، سرهنگی، ا.، (۱۳۹۱)، "انتقال آلاینده‌های فلزی و خودپالایی رودخانه جاجرود بر اساس مطالعات رسوب‌شناسی و زیست‌محیطی"، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، انجمن محیط‌زیست ایران، ۱۰ ص، تهران.

سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، (۱۳۷۳)، "استانداردهای زیست‌محیطی"، پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس، ص ۳۶، تهران.

شاه‌قلی، م.، آذری، ع.، (۱۳۹۰)، "موقعیت رودخانه‌های استان"، گزارش اداره حفاظت محیط‌زیست استان زنجان.

- شرفی، ه.، یعقوب‌پور، ع.، غفوری، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین سمی در آب‌های زیرزمینی دشت زنجان"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۸-۱، تهران.
- شکری، ز.، پناهی، م.، (۱۳۸۹)، "شبیه‌سازی کیفی زنجارود با استفاده از نرم‌افزار GIS"، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ص ۱-۱۰، شیراز.
- شهاب‌پور، ج. (۱۳۸۴)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- صداقت، م.، (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)"، انتشارات دانشگاه پیام نور، جلد اول، چاپ اول، تهران، ص ۱۶۲-۱۷۸.
- قاسم‌زاده، ح.، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد، "بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه کشکان (از اتصال سرشاخه مادیانرود)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- عبدی، پ.، (۱۳۸۴)، "بهره‌برداری نامناسب و غیر اصولی از اراضی و مخاطرات زیست‌محیطی آن"، چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، ۱۱ ص، تهران.
- عبدی‌نژاد، پ.، (۱۳۸۹)، "بررسی صنایع آلاینده منابع آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده GIS"، همایش ملی ژئوماتیک، ۱۰ ص، تهران.
- عبدی‌نژاد، پ.، (۱۳۹۰)، "بررسی صنایع آلاینده منابع آب دشت ابهر و ارائه راهکارهایی برای کنترل و کاهش آلودگی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۰ ص، تهران.
- غضبان، ف.، (۱۳۸۱)، "زمین‌شناسی زیست‌محیطی"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۷۰-۲۳۷.
- کریم‌پور، م. ح.، (۱۳۷۸)، "کانیها و سنگهای صنعتی"، جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۳۹۶.
- گلمغانی ابراهیمی، س.، گلمغانی ابراهیمی، ا.، معصومی، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی کیفیت آبهای سطحی محدوده مطالعاتی اردبیل جهت مصارف شرب"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۵ ص، تهران.
- میسون، ب.، کارلتون، ب.، م.، (۱۳۸۶)، "اصول ژئوشیمی"، جلد اول، ترجمه مر، ف.، شرفی، ع. ا.، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه شیراز، ص ۵۶۶.
- ملک سیاه چشم، ز.، (۱۳۸۸)، "آلودگی آب و پیامدهای آن"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، ۱۳ ص، تهران.
- میرمشتاقی، م.، خالدیان، م. ر.، (۱۳۹۰)، "بررسی روند تغییرات زمانی شاخص‌های کیفی آب رودخانه سفیدرود"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۰ ص، تهران.

مورتیمر، ج.، (۱۳۸۴)، شیمی عمومی، جلد اول، ترجمه پورجوادی، ع.، خواجه نصیر طوسی، ا.، عابدینی، م.، مستشاری، ع. ج.، نفیسی موقر، ج.، چاپ پنجم، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ص ۳۱۶-۳۱۸.

مهدوی، ع.، امید، م.، گنجعلی، م. ر.، (۱۳۸۷)، "مطالعه آزمایشگاهی جذب و انتقال کادمیم در حضور بار بستر" مجله محیط شناسی، شماره ۴۸، ص ۱-۱۲.

نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان، (۱۳۴۷)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی

واحدپور، م.، (۱۳۸۹)، "مطالعات کنترل و کاهش آلودگی رودخانه‌ها"، گزارش اداره حفاظت محیط زیست استان زنجان.

منابع لاتین

Abraham, G. M. S., and Parker, R. J. (2008), "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 136, pp. 227-238.

Akca, H., Oguz, A., Karapire, C. (2003), "Study of heavy metal pollution and speciation in Buyuk Menderes and Gediz river sediment", *Water Research*, Vol. 37, pp 813-822.

Alagarsamy, R., and Zhang, J. (2010) "Geochemical characterization of major and trace elements in the coastal sediments of India", *Environmental Monitoring*, Vol. 161, pp 1-4.

Albanese, S., Lavazzo, P., Adamo, P., Lima, A., Vivo, B. D. (in press), " Assessment of the environmental conditions of the Sarno river basin (south Italy): a stream sediment approach", *Environ Geochem Health*, d.o.i 10.1007/s10653-012-9483-x.

Alloway, B. J. (1995), "Soil processes and the behavior of heavy metals, in, heavy metal in soils", second Edition (B.J. Alloway. Ed.) Blackie, New York. pp. 11-37.

Aubert, H., and Pinta, M., (1997), " Trace Elements In Soil", ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, France, Vol. 7, pp. 100-101. Amsterdam - Oxford - New York.

Bierkens, J., Buekers, J., Van Holderbeke, M., Torfs, R. (2011), " Health impact assessment and monetary valuation of IQ loss in pre-school children due to lead exposure through locally produced food", *Science of the Total Environment*, Stoten-13032, pp. 1-8.

Bashir, E., Naseem, S., Hamza, S. (2007), "Hydrogeochemistry of the Winder river and adjoining tributaries, Balochistan, Pakistan", *Chinese journal of geochemistry*, Vol. 26, pp 259-266.

Bradl, H.B. (2005), "Heavy Metals in the Environment", ELSEVIER ACADEMIC PRESS, University of Applied Sciences Trier Neubrucke, Germany, pp. 101-143.

Bowen, H. (1979), "Environmental Chemistry of the Elements", Academic, London New York Toronto, 333 PP.

Byrne, P., Reid, I., Wood, P.J. (2010), "Sediment geochemistry of streams draining abandoned lead/ zinc mines in central Wales the Afon Twymyn", *J Soils Sediments*, Vol. 10, pp 683-697.

Chaiwonga, S., Sthiannopkao, S., Supanpaiboon, W., Chuenchoojit, S., Pupatwibul, K., Poodendaen, C. (2013), " Urinary cadmium concentrations in a population downstream: from a zinc mining area in Mae Sot District, Tak Province, Thailand", *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 35, pp. 69-78.

- Eby, G. N. (2004). "*Principles of environmental chemistry*", University of Massachusetts, Lowell, THOMSON, pp. 514.
- Ebrahimpour, M., Mushrifah, I. (2008), "Heavy metal concentration in water and sediments in Tasik Chini, a fresh water lake, Malaysia", *Environ. Monit. Assess.*, Vol. 141, pp 297-307.
- Ede, A. (2006) "*The Chemical Element: A Historical Perspective*", Greenwood Press Westport, Connecticut London, pp 115-135.
- Environment Canada. (1990) "Sediment Contamination", Ottawa, Canada.
- EPA, (2012). "Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", Environmental Protection Agency, Washington, pp. 2-10.
- Farkas, A., Erratico, C., Vigano, L. (2007), "Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po", *Chemosphere.*, Vol. 68, pp. 761-768.
- Ficklin, W. H., Plumlee, G. S., Smith, K. S., McHugh, J. B. (1992), "Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas", In: Kharaka, Y. K. and Maest, A. S. (eds), *Water-rock interaction*, Balkema, Rotterdam, 7, pp 381-384.
- Fernands, L., Nayak, G. N., Ilangovan, D. (2012) "Geochemical Assessment of Metal Concentrations in Mangrove Sediments along Mumbai Coast, India", *Engineering and Technology.*, Vol. 61, pp 258-263.
- Folk, R. L. (1954) "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature", *Journal of Geology.*, Vol. 62, 4, pp 344-359.
- Gibbs R. J. (1970), Mechanisms controlling world water chemistry , *Science*, 170, 1088-1090.
- Gidlow, D. A. (2004), " Lead toxicity", *Occupational Medicine*, Vol. 54, pp. 76-81.
- Hakanson, L. (1980), "An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach", *Water Research*, Vol. 14, pp. 975-1001.
- Hamdi, B., "Earliest skeletal fossils from Precambrian – Cambrian boundary strata, Elburz Mountains, Iran", *Geol. Mag* 126 (3), 1989, 283-289. Printed in Great Britain.
- Hem, J. D. (1985), "Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water", U.S. GEOLOGICAL SURVEY, NO, 85. pp. 175.
- Herunt, B. (1995) "Trace metals in sediments at the lower reaches of a mediterranean coastal rivers, Israel", *Water Sci. Technology.*, Vol. 32, pp 239-346.
- Kaiser H. F. (1960). "The application of electronic computers to factor analysis", *Educ Psychol Measurement.*, Vol. 20, pp. 141-151.
- Kim, J.G., Ko, K.S., Kim, T.H., Lee, J.H., Song, Y., Chon, C., Lee, J.S. (2007) "Effect of mining and geology on the chemistry of stream water and sediment in a small watershed" *Geoscience Journal.*, Vol. 11, pp 175-183.
- Kuppuraj, R. M., Selvaraj, D., Govindaraj, S., Rangaswamy, M., Narayanasamy, J., R., Kuppanagounder, K. (2010) "Assessment of groundwater quality in the flood plains of upper Palar River, India", *Geochem Journal.*, Vol. 31, pp 015-023.
- Liu, W. X., Li, X. D., Shen, Z. G., Wang, D. C., Wai, O. W. H., Li, Y. S. (2003), "Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River Estuary", *Environmental Pollution.*, Vol. 121, PP. 377–388.

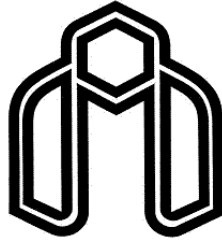
- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D., Kwapulinski, J. (1995), "Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland", *Water, Air and Soil Pollution.*, Vol. 93, pp. 347-365.
- Martin, G. D. George, R., Shaijun, P., Muraleedharan, K. R., Nair, S. M., Chandramohanakumar, N. (2011), "Toxic Metals Enrichment in the Surficial Sediment of a Eutrophic Tropical Estuary (Cochin Backwaters, Southwest Coast of India)", *The Scientific World Journal*, Vol. 2012, pp. 1-17.
- Muller, G. (1969), "Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River", *Geology*, Vol. 2, pp. 108–118.
- Parkhurst, D. L. and Appelo, C. A. J. (1999), User's guide to PHREEQC (version 2) a computer program for speciation, reaction-path, 1D-transport, and inverse geochemical calculations. US Geol. Surv. Water Resour. Inv. Rep. 99-4259, pp. 312.
- Padmalal, D., Maya, K., Sreebha, S., Sreeja, R. (2008) "Environmental effects of river sand mining: a case from the river catchments of Vembla lake, Southwest coast of India" *Environmental Geology.*, Vol. 54, pp 879-889.
- Piper, A. M. (1944) "A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis", *American Geophysical Union Transactions*, 25, pp. 914-923.
- Radha K. E. (1993). "Recovery of Metals from Sludge and Wastewater" Noyes Data Corp, Park Ridge, NJ.
- Selinus, O., Alloway, B. J. (2005) "Essentials of medical geology impacts of natural environmental on public health" Academic press, pp 812.
- Schoeller, D. A., Ravaussin, E., Schutz, Y., Acheson, K. I., Baertschi, P., Jequier, E. (1986), "Energy expenditure by doubly labelled water: validation and proposed calculation" *American Journal of Physiology*, pp. 823-830.
- Shan, Y., Tysklind, M., Hao, F., Ouyang, W., Chen, S., Lin, C. (2012), "Identification of sources of heavy metals in agricultural soils using multivariate analysis and GIS", *Soils Sediments.*, DOI. 10.1007, 10 p.
- Sutherland, R. A. (2000), "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii". *Environmental Geology.*, Vol. 39, pp. 611– 627.
- SQGs. (2003), "Consensus-Based Sediment Quality Guidelines", Wisconsin Department of Natural Resources, pp. 17.
- Takeno, N. (2005) "Atlas of Eh-pH diagrams", National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Research Center for Deep Geological Environments, Geological Survey of Japan Open File Report, 419.
- Tong, S., Schirnding, Y. E., Prapamontol, T. (2000), "Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions", *Environment and Health.*, Vol. 78, pp. 1068-1077.
- Todd, D. K., Mays, L.W. (2005). "Ground water hydrology" 3th ed, John Wiley and Sons, New York, pp 636.
- WHO. (2011). Guidelines for Drinking- Water Quality", World Health Organization, 4th ed, pp 227.
- From <http://en.wikipedia.org/> Retrieved August 11 2013.
- Wilcox, L. V. (1955), "Classification and Use of Irrigation Waters", US Department of Agriculture, Issu 969, Washington D.C. USA. pp. 19.

Yuan, H., Shen, J., Liu, E., Wang, J., Meng, X. (2011) "Assessment of nutrients and heavy metals enrichment in surface sediments from Taihu Lake, a eutrophic shallow lake in China", *Environmental Geochemistry and Health.*, Vol. 33, pp. 67-81.

Abstract

Zanjanrood River is one of the most important rivers in Zanjan province. The study area is part of Zanjanrood (approximately 45 km) which located between the two branches, Zaker and Sahran, east and west of Zanjan city respectively. The present study dealt with the evaluation of water and sediment quality and the concentration of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Co, Ni, and Sr) in the river. Water and sediment samples were collected from 25 stations along the Zanjanrood River. Physicochemical parameters were determined and concentration of heavy metal content of water and sediment samples were measured by using ICP-OES techniques. The tests showed that the pH for all water and sediment samples were alkaline with no remarkable variation. Ion concentrations in water samples were below the standard limit for drinking water (WHO, 2011). Stiff and Piper diagrams showed that the type and face of water samples were, chloride calcic (15%), calcic carbonate (75%) and calcic sulphate (10%). Classes of 60%, 35%, and 5% of the water samples were very hard, hard, and relatively hard respectively. Scholler & Wilcox diagrams showed that water quality in the study area for drinking was good and acceptable and for agriculture and irrigation purposes was suitable. Except for lead, which in all samples of water was above the limits set by WHO for drinking water (WHO, 2011), Zanjanrood River was not contaminated by heavy metals. Geochemical indices (EF, Igeo, CF and PLI) were used for assessment of heavy metals contamination in sediments. Multivariate statistical approaches including principal component analysis and correlation analysis were employed for statistical analysis of data. The results showed that in upstream stations, sediments were coarse grain in texture, and towards the end of the river became fine grain. The Organic matter and calcium carbonate content of sediments ranged from 0.04% to 0.72% and 0.18% to 1.8% respectively. Geochemical analyses of the sediments showed that chromium and cobalt had lower concentrations than concentration limits of the World Mean Sediments. Zn and Ni at some samples and copper, lead, and cadmium in all samples have concentrations above the concentration limits in the World Mean Sediments. Mean enrichment factor was calculated for the elements and showed that sediments enriched highly with lead and cadmium, moderate with Cu and Zn, and low to not enriched with nickel, chromium, strontium and cobalt. Mean geoaccumulation index of sediment samples showed that the sediment was moderately polluted by Pb and Cd while they were unpolluted by Cr, Ni, Zn, Cu, Co, and Sr. According to the mean values of contamination factor, sediments in Zanjanrood were contaminated very high with lead, considerable with cadmium, moderate with Zn, Cu, and Sr, and low with Cr, Co, and Ni. Pollution load index indicated that 67 percent of sediments in the region were polluted and 33% unpolluted. The results of multivariate statistical analyzes showed that the metals such as chromium, cobalt, cadmium, nickel, and strontium had litogenic sources and Pb, Zn, Cu and Cd more likely had anthropogenic sources. Cadmium was originated from both litogenic and anthropogenic sources.

Keywords: heavy metals, pollution, river, water quality, sediments, Zanjanrood



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

**Evaluation of heavy metals concentrations in water and
surface sediments of the Zanjnrood River (Between the
two branches of Zaker and Sahran), Zanzan Province**

Bahar Shahmoradi

Supervisor

Dr. Behnaz Dahrazma

Advisor

Dr. Mohammad Ebrahimi

January 2014