

سید پروردگار عالمین



دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی

عنوان

ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه
چشمه‌علی دامغان (از چشمه‌علی تا سد شهید شاهچراغی)، استان سمنان

رقیه بردبارهرهدشت

استاد راهنما

دکتر بهناز دهرآزما

استاد مشاور

دکتر عزیزا... طاهری

بهمن ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

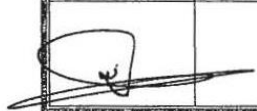
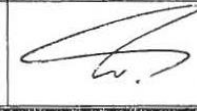
دانشکده : علوم زمین

گروه : آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم رقیه بردبار هره دشت

تحت عنوان: ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه چشمه علی دامغان (از چشمه علی تا سد شهید شاهچراغی)، استان سمنان

در تاریخ ۹۲/۱۱/۷ 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
	نام و نام خانوادگی: دکتر عزیز الله طاهری		نام و نام خانوادگی : دکتر بهناز دهرآزما

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر محمود صادقیان		نام و نام خانوادگی : دکتر غلامحسین کرمی
			نام و نام خانوادگی : دکتر غلامعباس کاظمی



دانشگاه گیلان
مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۱۹۴۰
تاریخ: ۹۲/۱۱/۱۵
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 رقیه بردبارهره دشت رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی تحت عنوان ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه چشمه علی دامغان (از چشمه علی تا سد شهید شاهچراغی)، استان سمنان که در تاریخ ۹۲/۱۱/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی امتیاز ۱۹/۱) 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 ونام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر بهناز دهرآزما	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر عزیزالله طاهری	استاد تمام	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر محمود صادقیان	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامحسین کریمی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر غلامعباس کاظمی	استادیار	

رئیس دانشکده: دکتر غلامحسین کریمی

امضاء

تعهد نامه

اینجانب رقیه بردبارهره دشت دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی

شاهروود نویسنده پایان نامه **ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه چشمه علی دامغان (از**

چشمه علی تا سد شهید شاهچراغی)، استان سمنان تحت راهنمایی بهنام دهر آزما متعهد می شوم.

- 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 شاهروود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهروود » 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 می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای 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

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهروود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم بہ:

مقدس ترین واژہ مادر لغت نامہ دلم،

مادر مہربانم کہ زندگیم را دیدیون اومی دانم،

پدرم، مہربانی مشفق و حامی،

ہمسر م کہ نشانہ لطف الہی در زندگی من است او کہ اسوہ صبر و تحمل بودہ و مشکلات

مسیر را برایم آسان نمود

و دتتر نازنینم

شکر و قدردانی

منت خدای را عروجل که طاعتش موجب قربت و به شکر اندرش مزید نعمت هر نفسی که فرومی رود مدحیاست و چون برمی آید مفرح ذات پس در هر نفسی دو نعمت موجودست و بر هر نعمت شگری واجب.

پس از حمد و سپاس خداوند مهربان که قدرت و توان سرانجام رساندن این کار را به من عنایت فرمود بر خود لازم می دانم از استاد فرهیخته دلسوزم سرکار خانم دکتر دهر آزما که در طول مدت انجام این پایان نامه از رهنمودهای علمی و اخلاقی ایشان بهره مند شدم شکر کنم و خداوند بزرگ را شاکرم که افتخار شاکردی ایشان را نصیب نمود و از استادگرامی جناب دکتر طاهری به خاطر راهنمایی های علمی ارزنده شان بسیار سپاسگزارم.

از بیس سازمان حفاظت محیط زیست سمنان، جناب آقای مهندس نهرابی به پاس حمایت های مالی که برای این پایان نامه صرف نمودند و از آقایان مهندس قرهنگ، قدالی و سرکار خانم مهندس جنتی که در این راه مرا مورد لطف و همراهی قرار دادند کمال شکر را دارم.

بر خود لازم می دانم که از تمامی اساتید و کارمندان محترم دانشکده، جناب آقای دکتر کاشانی، دکتر کریمی، دکتر جعفری، دکتر فرقانی، دکتر قشلاقی و دکتر قاسمی تقدیر و شکر نمایم و از درگاه خداوند توفیقات روز افزون را برای این عزیزان مسئلت می کنم. از همکاران و مساعدت آقایان مهندس خانعلی زاده، میرباقری و خانم ها مهندس فارسی و سعیدی سپاسگزارم. از دوستان عزیزم خانم آبی، شاهرمدای، شاکری، عبدالمی، آتش سودا و حیدرپور کمال شکر و قدردانی را دارم و از پروردگار مهربان خوشبختی ایشان را در تمام مراحل زندگی خواهانم.

چکیده

رودخانه چشمه‌علی در شمال‌غربی دامغان واقع شده و یکی از منابع مهم آب شیرین در استان سمنان می‌باشد. در این مطالعه به ارزیابی غلظت فلزات سنگین (Fe, Cr, Ni, Cu و Pb) در آب و رسوبات سطحی رودخانه چشمه‌علی از مظهر تا ورودی سد شاهچراغی پرداخته شده است. در این راستا بعد از مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی زمین‌شناسی و کاربری اراضی، منطقه ۲۴ ایستگاه در طول رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن انتخاب گردید. نمونه‌های آب بعد از فیلتر و اسیدی شدن به منظور آنالیز به آزمایشگاه سازمان حفاظت محیط زیست سمنان ارسال گردید. پارامترهای شیمیایی رسوب از قبیل pH، EC، درصد مواد آلی و درصد کربنات کلسیم بعد از آماده‌سازی و دانه‌بندی رسوبات اندازه‌گیری شد. در ادامه تحلیل‌های آماری از قبیل آنالیز همبستگی و آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) در جهت آشکارسازی روابط بین داده‌های بدست آمده انجام گردید. به منظور بررسی دقیق روند تغییرات فلزات در طول مسیر رودخانه با استفاده از نرم افزار GIS نقشه‌های هم غلظت عناصر ترسیم گردید. همچنین با استفاده از نرم افزارهای هیدروشیمی آب، تیپ و رخساره آب و وضعیت آب برای مصارف کشاورزی و آشامیدن سنجیده شد. به منظور ارزیابی میزان آلودگی رسوبات از شاخص‌های ژئوشیمیایی مانند شاخص زمین‌انباشت (Igeo)، فاکتور غنی‌شدگی (EF) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCF) استفاده گردید. براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، pH آب و رسوب منطقه در محدوده قلیایی قرار دارد. هدایت الکتریکی آب منطقه بین مقادیر ۴۹۳ تا ۱۱۸۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. تیپ آب بی‌کربناته و رخساره آن کلسیک می‌باشد. آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود براساس نمودار ویلکاکس برای کشاورزی مناسب تا قابل استفاده می‌باشد و در کلاس C_2S_1 و C_3S_1 قرار می‌گیرد و براساس نمودار شولر، برای آشامیدن در محدوده خوب تا قابل قبول می‌باشد. شاخص اشباع نشان داد که نمونه‌های آب منطقه نسبت به آراگونیت، کلسیت، دولومیت، ژیپس و انیدریت در حالت فوق اشباع قرار دارند. براساس دانه‌بندی، غالب رسوبات بستر رودخانه چشمه‌علی گراول ماسه‌ای می‌باشند. درصد مواد آلی با توجه به کشاورزی و رشد درختان در حاشیه رودخانه بین ۱/۲۱٪ تا ۴/۴٪ تغییر می‌کند. بالاترین درصد کربنات کلسیم در ایستگاه‌های ابتدائی به دلیل رخنمون سازند آهکی مشاهده می‌گردد. نتایج آنالیز فلزات سنگین نشان داد که هیچ یک از فلزات مورد بررسی در آب منطقه از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) تجاوز نکرده است. غلظت فلزهای نیکل، کروم، مس و روی در رسوب از میانگین رسوبات جهانی پایین‌تر می‌باشد. غلظت کادمیوم در نمونه‌های رسوب در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از غلظت میانگین کادمیوم رسوبات جهانی تجاوز می‌کند. در ۷۶٪ نمونه‌ها غلظت سرب از میانگین غلظت این عنصر در رسوبات جهانی تجاوز می‌کند. آنالیز همبستگی و مؤلفه اصلی نشان می‌دهد که فلزات کروم، مس، روی، نیکل و آهن به طور غالب از فعالیت‌های زمین‌زاد منشأ می‌گیرند و سرب و کادمیوم دارای منشأ دوگانه زمین‌زاد و بشرزاد می‌باشند. رسوبات نسبت به عنصر سرب از نظر فاکتور غنی‌شدگی در رده فاقد غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی اندک قرار می‌گیرند. رسوبات نسبت به کادمیوم فاقد غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی شدید را دارا می‌باشند. رسوبات برای عناصر آهن، مس، روی، نیکل و کروم در رده فاقد غنی‌شدگی قرار می‌گیرند. براساس فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلز کادمیوم بزرگترین ریسک اکولوژیکی منطقه محسوب می‌گردد.

کلمات کلیدی: رودخانه، چشمه‌علی، فلزات سنگین، آب، رسوب، آلودگی.

مقالات ارائه شده از این پایان نامه:

- بردبارهره‌دشت ر، دهرآزما ب، طاهری ع، (۱۳۹۲)، "ارزیابی کیفیت آب رودخانه چشمه‌علی دامغان، سمنان"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه، دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان.
- بردبارهره‌دشت ر، دهرآزما ب، طاهری ع، (۱۳۹۲)، "بررسی آلودگی مس و سرب در آب و رسوب سطحی رودخانه چشمه‌علی دامغان، سمنان"، اولین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های ملی محیط زیست ایران، ۹ آبان، دانشگاه شهید مفتح، همدان.

فهرست مطالب

صفحات	عنوان
۱	فصل اول: کلیات.....
۱-۱-۱	مقدمه.....
۲-۱	بیان مسئله.....
۳-۱	ضرورت انجام تحقیق.....
۴-۱	اهداف تحقیق.....
۵-۱	روش تحقیق.....
۶-۱	خصوصیات منطقه مورد مطالعه.....
۶-۱-۱	موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۶-۱-۲	حوضه آبریز رودخانه چشمه علی.....
۶-۱-۳	کاربری اراضی.....
۶-۱-۴	شرایط آب و هوایی منطقه.....
۶-۱-۵	سازمان بندی پایان نامه.....
۱۳	فصل دوم: زمین شناسی.....
۱-۲-۱	مقدمه.....
۲-۲-۱	چینه شناسی عمومی منطقه.....
۱-۲-۲-۱	سازند سبزار.....
۲-۲-۲-۲	سازند الیکا.....
۳-۲-۲	سازند شمشک.....
۴-۲-۲	سازند دلیچای.....
۵-۲-۲	سازند لار.....
۶-۲-۲	آهک های کرتاسه.....
۷-۲-۲	سازند فجن.....
۸-۲-۲	سازند کرج.....
۹-۲-۲	رسوبات نئوژن.....
۱۰-۲-۲	رسوبات کواترنری.....
۳-۲-۳	ژئومورفولوژی منطقه.....

- ۲-۴- تکتونیک منطقه..... ۲۳
- ۲-۴-۱- گسل دامغان..... ۲۳
- ۲-۴-۲- گسل شمال دامغان..... ۲۳
- ۲-۴-۳- گسل آستانه..... ۲۵
- ۲-۴-۴- گسل چشمه‌علی..... ۲۵

۲۷..... فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین.....

- ۱-۳- مقدمه..... ۲۸
- ۲-۳- عوامل مؤثر بر انحلال، جذب و آزادسازی فلزات در آب و رسوبات..... ۲۹
- ۳-۳- آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌ها..... ۳۱
- ۴-۳- مطالعات پیشین انجام شده در منطقه مورد مطالعه..... ۴۲

۴۵..... فصل چهارم: مواد و روشها.....

- ۱-۴- مقدمه..... ۴۶
- ۲-۴- تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری..... ۴۶
- ۴-۲-۱- ایستگاه اول..... ۴۹
- ۴-۲-۲- ایستگاه دوم..... ۴۹
- ۴-۲-۳- ایستگاه سوم..... ۵۰
- ۴-۲-۴- ایستگاه چهارم..... ۵۰
- ۴-۲-۵- ایستگاه پنجم..... ۵۱
- ۴-۲-۶- ایستگاه ششم..... ۵۱
- ۴-۲-۷- ایستگاه هفتم..... ۵۲
- ۴-۲-۸- ایستگاه هشتم..... ۵۲
- ۴-۲-۹- ایستگاه نهم..... ۵۳
- ۴-۲-۱۰- ایستگاه دهم..... ۵۳
- ۴-۲-۱۱- ایستگاه یازدهم..... ۵۴
- ۴-۲-۱۲- ایستگاه دوازدهم..... ۵۴
- ۴-۲-۱۳- ایستگاه سیزدهم..... ۵۴
- ۴-۲-۱۴- ایستگاه چهاردهم..... ۵۵
- ۴-۲-۱۵- ایستگاه پانزدهم..... ۵۵
- ۴-۲-۱۶- ایستگاه شانزدهم..... ۵۶

۵۶	.....ایستگاه هفدهم.....	۱۷-۲-۴
۵۶	.....ایستگاه هجدهم.....	۱۸-۲-۴
۵۶	.....ایستگاه نوزدهم.....	۱۹-۲-۴
۵۷	.....نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های آب و رسوب.....	۳-۴
۵۷	.....نمونه‌های آب.....	۱-۳-۴
۵۸	.....نمونه‌های رسوب.....	۲-۳-۴
۵۸	.....دانه‌بندی رسوب.....	۴-۴
۵۹	.....pH.....	۵-۴
۵۹	.....pH آب.....	۱-۵-۴
۵۹	.....pH رسوب.....	۱-۵-۴
۵۹	.....EC.....	۶-۴
۵۹	.....EC آب.....	۱-۶-۴
۶۰	.....EC رسوب.....	۲-۶-۴
۶۰	.....مواد آلی رسوب.....	۷-۴
۶۰	.....کربنات کلسیم رسوب.....	۸-۴
۶۱	.....غلظت فلزات سنگین.....	۹-۴
۶۱	.....نمونه‌های آب.....	۱-۹-۴
۶۱	.....نمونه‌های رسوب.....	۲-۹-۴
۶۲	.....آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌ها.....	۱۰-۴
۶۲	.....تکنیک‌های آماری و شاخص‌های ژئوشیمیایی استفاده شده در تحلیل داده‌های آب و رسوب.....	۱۱-۴
۶۳	.....نرم افزارهای مورد استفاده.....	۱۲-۴
۶۵	.....فصل پنجم: بررسی کیفیت آب و رسوب منطقه.....	
۶۶	.....مقدمه.....	۱-۵
۶۶	.....بررسی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات.....	۲-۵
۶۶	.....تغییرات pH و EC در آب و رسوب.....	۳-۵
۶۶	.....تغییرات pH.....	۱-۳-۵
۷۲	.....تغییرات EC.....	۲-۳-۵
۷۲	.....بررسی کیفیت منابع آب.....	۴-۵
۷۲	.....بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های آب.....	۱-۴-۵

۸۱	.....TDS تغییرات ۲-۴-۵
۸۳	.....سختی کل ۳-۴-۵
۸۵	.....تیپ و رخساره آب ۴-۴-۵
۹۰	.....عامل کنترل کننده شیمی آب ۵-۴-۵
۹۱	.....ارزیابی کیفیت آب منطقه از نظر شرب و کشاورزی ۶-۴-۵
۹۴	.....شاخص اشباع ۷-۴-۵
۹۶	.....نسبت‌های یونی ۸-۴-۵
۹۶	.....انحلال کانیهای سولفات ۱-۸-۴-۵
۹۶	.....انحلال کربنات‌ها ۲-۸-۴-۵
۹۶	.....انحلال هالیت ۳-۸-۴-۵
۹۷	.....انحلال سیلیکات‌ها ۴-۸-۴-۵
۹۷	.....بررسی پارمترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه ۵-۵
۹۷	.....بافت رسوبات ۱-۵-۵
۹۷	.....مواد آلی رسوبات ۲-۵-۵
۹۸	.....کربنات کلسیم رسوبات ۳-۵-۵
۹۹	.....همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوب ۶-۵
۱۰۰	.....آب ۱-۶-۵
۱۰۱	.....رسوب ۲-۶-۵
	.....بررسی عوامل بشرزاد و زمین‌زاد بر روند تغییرات فلزات سنگین در آب و رسوب ۷-۵
۱۰۵	.....رودخانه ۱۰۵
۱۰۸	.....نیکل ۱-۷-۵
۱۱۱	.....سرب ۲-۷-۵
۱۱۳	.....کروم ۳-۷-۵
۱۱۷	.....مس ۴-۷-۵
۱۱۸	.....روی ۵-۷-۵
۱۲۴	.....آهن ۶-۷-۵
۱۲۷	.....کادمیوم ۷-۷-۵
۱۲۹	.....بار فلزی منابع آب ۸-۷-۵
۱۲۹	.....ارزیابی آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی ۸-۵
۱۳۰	.....فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor) ۱-۸-۵

۱۳۳.....	۵-۸-۲- شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index)
۱۳۷.....	۵-۸-۳- فاکتور آلودگی (Contamination Factor)
۱۳۹.....	۵-۸-۴- درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Contamination Degree)
۱۴۲.....	۵-۸-۵- شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index)
۱۴۳.....	۵-۸-۶- فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی
۱۴۶.....	۵-۹- راهنمای کیفیت رسوبات (Sediment Quality Guidelines)
۱۴۸.....	۵-۱۰- آنالیز مؤلفه اصلی یا PCA (Principal Component Analysis)
۱۵۱.....	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاداتها
۱۵۲.....	۶-۱- مقدمه
۱۵۲.....	۶-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه
۱۵۳.....	۶-۳- ارزیابی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و رسوبات منطقه
۱۵۵.....	۶-۴- ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات منطقه
۱۵۸.....	۶-۵- شاخص زمین‌انباشت
۱۵۸.....	۶-۶- فاکتور آلودگی
۱۵۹.....	۶-۷- درجه آلودگی اصلاح شده
۱۵۹.....	۶-۸- فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی
۱۵۹.....	۶-۹- بار آلودگی
۱۶۰.....	۶-۱۰- راهنمای کیفیت رسوبات (SQGs)
۱۶۰.....	۵-۱۱- آنالیز مؤلفه اصلی (PCA)
۱۶۰.....	۶-۱۲- پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی
۱۶۱.....	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به منطقه..... ۷
- شکل (۲-۱): حوضه آبریز چشمه‌علی و محدوده مطالعاتی..... ۱۰
- شکل (۳-۱): نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی..... ۱۱
- شکل (۱-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان)..... ۱۵
- شکل (۲-۲): نمایی از دولومیت سازند سبزار در سیمه کوه، دید از شمال غرب..... ۱۶
- شکل (۳-۲): نمایی از سازند شمشک در جاده چشمه‌علی-دامغان..... ۱۸
- شکل (۴-۲): نمایی از آهک نازک لایه سازند دلیچای در پایین دست روستای آستانه..... ۱۹
- شکل (۵-۲): نمایی از آهک نازک لایه سازند دلیچای در بالادست روستای آستانه..... ۱۹
- شکل (۶-۲): نمایی از آهک سازند لار در بالادست روستای آهوانو..... ۲۰
- شکل (۷-۲): نمایی از توف سازند کرج در بالادست سد شاهچراغی..... ۲۲
- شکل (۸-۲): نقشه توپوگرافی حوضه آبریز چشمه‌علی..... ۲۴
- شکل (۱-۴): ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه..... ۴۸
- شکل (۲-۴): ایستگاه اول، مظهر چشمه، دید از جنوب غرب..... ۴۹
- شکل (۳-۴): ایستگاه دوم، حوضچه شمالی چشمه..... ۴۹
- شکل (۴-۴): ایستگاه سوم، محل خروجی آب از حوضچه..... ۵۰
- شکل (۵-۴): ایستگاه چهارم، بالادست باغات و مزارع کشاورزی..... ۵۰
- شکل (۶-۴): ایستگاه پنجم، بین مزارع و باغات..... ۵۱
- شکل (۷-۴): ایستگاه ششم، پایین دست زمین‌های کشاورزی و سرشاخه آستانه..... ۵۱
- شکل (۸-۴): ایستگاه هفتم، بالادست روستای آستانه و باغات..... ۵۲
- شکل (۹-۴): ایستگاه هشتم، پایین دست روستای آستانه..... ۵۲
- شکل (۱۰-۴): الف: ایستگاه نهم، محل تلاقی سرشاخه دامغانرود و چشمه‌علی..... ۵۳
- شکل (۱۱-۴): ایستگاه دهم، دید از شمال شرق..... ۵۳
- شکل (۱۲-۴): ایستگاه دوازدهم، پایین دست جاده عبوری از میان رودخانه..... ۵۴
- شکل (۱۳-۴): الف: ایستگاه سیزدهم، دید از شمال غرب ب: شرکت ماسه‌شوئی واقع در مسیر رودخانه..... ۵۵
- شکل (۱۴-۴): ایستگاه چهاردهم، بالادست روستای آهوانو و مزارع و باغات کشاورزی..... ۵۵
- شکل (۱۵-۴): ایستگاه پانزدهم، روستای آهوانو..... ۵۶
- شکل (۱۶-۴): ایستگاه هیجدهم، زیر پل..... ۵۷
- شکل (۱۷-۴): محل ورودی سد، ایستگاه نوزدهم..... ۵۷

- شکل (۵-۱): تغییرات pH در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۷۰
- شکل (۵-۲): تغییرات pH در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۷۱
- شکل (۵-۳): تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه دامغانرود..... ۷۳
- شکل (۵-۴): تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۷۴
- شکل (۵-۵): تغییرات غلظت کاتیون‌ها در آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۷۹
- شکل (۵-۶): تغییرات غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه دامغانرود..... ۸۲
- شکل (۵-۷): تغییرات TDS در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۸۳
- شکل (۵-۸): تغییرات سختی در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۸۴
- شکل (۵-۹): نمودار پایپر نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۸۵
- شکل (۵-۱۰): نمودار استیف نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۸۷
- شکل (۵-۱۱): نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود بر روی نمودار گیبس..... ۹۰
- شکل (۵-۱۲): نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود بر روی نمودار شولر..... ۹۱
- شکل (۵-۱۳): نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود بر روی نمودار
ویلکاکس..... ۹۲
- شکل (۵-۱۴): شاخص اشباع نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۹۴
- شکل (۵-۱۵): تعیین بافت رسوبات با استفاده از مثلث فولک (Folk, 1954)..... ۹۸
- شکل (۵-۱۶): تغییرات مواد آلی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۹۹
- شکل (۵-۱۷): تغییرات کربنات کلسیم در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۰۰
- شکل (۵-۱۸): نمودار پایداری عناصر براساس pH- Eh (Tekeno, 2005)..... ۱۰۷
- شکل (۵-۱۹): غلظت عنصر نیکل در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی
و سرشاخه دامغانرود..... ۱۰۹
- شکل (۵-۲۰): غلظت عنصر نیکل در نمونه‌های رسوب چشمه‌علی
و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۱۰
- شکل (۵-۲۱): غلظت عنصر سرب در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی

- و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۱۲.....
 شکل (۵-۲۲): غلظت عنصر کروم در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه
 دامغانرود..... ۱۱۵.....
 شکل (۵-۲۳): غلظت عنصر کروم در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۱۶.....
 شکل (۵-۲۴): غلظت عنصر مس در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه
 دامغانرود..... ۱۱۹.....
 شکل (۵-۲۵): غلظت عنصر مس در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۲۰.....
 شکل (۵-۲۶): غلظت عنصر روی در نمونه‌های آب چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۱۲۲.....
 شکل (۵-۲۷): غلظت عنصر روی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۲۳.....
 شکل (۵-۲۸): غلظت عنصر آهن در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه
 دامغانرود..... ۱۲۵.....
 شکل (۵-۲۹): غلظت عنصر آهن در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۲۶.....
 شکل (۵-۳۰): غلظت عنصر کادمیوم در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۲۸.....
 شکل (۵-۳۱): رابطه بار فلزی و pH در نمونه آب منطقه براساس نمودار
 فیکلین و همکاران (۱۹۹۲)..... ۱۳۰.....
 شکل (۵-۳۲): متوسط فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی..... ۱۳۳.....
 شکل (۵-۳۳): تغییرات فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۳۴.....
 شکل (۵-۳۴): متوسط شاخص زمین‌انباشت در رسوبات رودخانه چشمه‌علی..... ۱۳۵.....
 شکل (۵-۳۵): تغییرات شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و
 سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۳۸.....
 شکل (۵-۳۶): متوسط فاکتور آلودگی رسوبات رودخانه چشمه‌علی..... ۱۳۹.....
 شکل (۵-۳۷): تغییرات فاکتور آلودگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
 و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۴۰.....
 شکل (۵-۳۸): تغییرات درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی

- و سرشاخه‌های ورودی به آن.....۱۴۲
- شکل (۵-۳۹): تغییرات شاخص بار آلودگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی
- و سرشاخه‌های ورودی به آن.....۱۴۳
- شکل (۵-۴۱): نمودار آنالیز مؤلفه اصلی در نمونه‌های رسوب منطقه.....۱۴۹

فهرست جدول‌ها

- جدول (۴-۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب و رسوب در منطقه مورد مطالعه... ۴۷
- جدول (۵-۱): غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب..... ۶۷
- جدول (۵-۲): درصد اجزای رسوب و پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب..... ۶۸
- جدول (۵-۳): رده‌بندی مقادیر سختی در آب (Todd, 2005)..... ۸۴
- جدول (۵-۴): مقایسه غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تیپ و رخساره نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۸۶
- جدول (۵-۵): رده‌بندی نمونه‌های آب براساس کلاس‌بندی نمودار ویلکاکس..... ۹۳
- جدول (۵-۶): مقادیر شاخص اشباع در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود..... ۹۵
- جدول (۵-۷): مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب..... ۱۰۳
- جدول (۵-۸): مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در رسوب..... ۱۰۴
- جدول (۵-۹): غلظت عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های آب بر حسب میکروگرم بر لیتر..... ۱۰۵
- جدول (۵-۱۰): غلظت عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم..... ۱۰۶
- جدول (۵-۱۱): رده‌بندی غنی‌شدگی براساس فاکتور غنی‌شدگی ۱۳۱
- جدول (۵-۱۲): مقادیر فاکتور غنی‌شدگی نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۳۲
- جدول (۵-۱۳): رده‌بندی شاخص زمین‌انباشت در ارزیابی آلودگی رسوب (Muller, 1979)..... ۱۳۵
- جدول (۵-۱۴): مقادیر شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۳۶
- جدول (۵-۱۵): رده‌بندی آلودگی براساس فاکتور آلودگی (Hakanson, 1980)..... ۱۳۷
- جدول (۵-۱۶): رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح شده..... ۱۴۱
- جدول (۵-۱۷): رده‌بندی آلودگی رسوبات براساس مقادیر شاخص بار آلودگی (Tomlinson et al., 1980)..... ۱۴۳
- جدول (۵-۱۸): مقادیر فاکتور آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۴۴
- جدول (۵-۱۹): رده‌بندی ریسک براساس فاکتور پتانسیل و شاخص ریسک اکولوژیکی..... ۱۴۵
- جدول (۵-۲۰): مقادیر فاکتور پتانسیل و شاخص ریسک اکولوژیکی نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن..... ۱۴۷
- جدول (۵-۲۱): مقایسه مقادیر TEC و PEC با میانگین غلظت فلزات در رسوبات رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم..... ۱۴۸
- جدول (۵-۲۲): چگونگی جایگیری عناصر در آنالیز PCA..... ۱۴۹

کلیات

آلودگی آب‌های سطحی به وسیله آلاینده‌های زیستی، فیزیکی و شیمیایی به عنوان یک معضل جهانی شناخته شده است. آلاینده‌های بشرزاد مانند پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی و فرآیندهای طبیعی فاکتورهای مهم تعیین‌کننده کیفیت آب می‌باشند (Szymanowska et al., 1999; Issa et al., 1996). آلودگی آب رودخانه‌ها را می‌توان شاخصی از آلودگی محیط زیست منطقه در نظر گرفت، زیرا رودخانه‌ها تنها منابع آبی می‌باشند که مسیر طولانی را از میان شهرها، روستاها، مناطق کشاورزی و صنعتی طی می‌کنند. از آنجائیکه آب رودخانه‌ها اهمیت بسزایی برای مصارف گوناگون کشاورزی، صنعتی، تجاری و خانگی دارند، آلودگی آنها می‌تواند اثرات سوء زیست محیطی فراگیری را به همراه داشته باشد (Whitton, 1975). پیشرفت تکنولوژی، تخلیه میزان بالایی از پساب صنایع، فاضلاب‌های خانگی و زهاب فعالیت‌های کشاورزی به رودخانه‌ها در دراز مدت باعث افت شدید کیفیت آب این منابع با ارزش گردیده است (Berzas Nevado et al., 2009).

فلزات سنگین یکی از آلاینده‌های مطرح در محیط زیست می‌باشند. این فلزات در محیط زیست پایدار بوده و توانایی ورود به زنجیره غذایی را دارند (Forstner et al., 1983). فلزات سنگین ممکن است از منابع طبیعی مانند هوازدگی و فرسایش یا توسط منابع بشرزاد مانند زباله‌های صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی و دفع فاضلاب به اکوسیستم رودخانه‌ها وارد شوند و در بدن موجودات انباشته شدند (Longjiang et al., 2011). زمانیکه غلظت این فلزات در آب بالاتر از حد مجاز باشد برای سلامتی انسان و محیط زیست مضر شناخته می‌شوند. تماس طولانی با این فلزات سلامتی را به خطر انداخته و عوارض و بیماری‌های مختلفی را در موجودات زنده باعث می‌شود (Homady et al., 2002; Banerjee, 2003).

رسوبات در محیط‌های آبی به عنوان محل ذخیره فلزات سنگین عمل می‌کنند. در واقع با توجه به پایداری

بالای فلزات سنگین، این عناصر در رسوبات انباشته می‌شوند و بنابراین رسوبات آلوده برای مدت زمان طولانی به عنوان منبع آلودگی در محیط آبی باقی می‌مانند (Abdallah, 2007; Alomary and Belhadj, 2007). به همین دلیل بررسی کیفیت رسوبات رودخانه‌ها یک روش مفید برای مطالعه تاریخچه آلودگی فلزات سنگین در یک منطقه محسوب می‌گردد (Batley et al., 1989).

در این فصل از تحقیق حاضر به بیان مسئله، ضرورت، اهداف و روش تحقیق و همچنین خصوصیات منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسئله

آب رودخانه چشمه‌علی از چشمه‌ای به همین نام تأمین می‌شود. این چشمه به دلیل فضای سرسبز و بناهای تاریخی اطرافش، یک مرکز عمده برای فعالیتهای تفریحی و گردشگری می‌باشد. رودخانه چشمه‌علی در ۳۲ کیلومتری شمال‌غربی دامغان در مسیر جاده دامغان-کیاسر جریان دارد. این رودخانه پس از طی مسافت تقریبی ۴۰ کیلومتر به کویر حاج‌علی‌قلی دامغان می‌ریزد (رضایی توابع و همکاران، ۱۳۸۹). سد شاهچراغی بر روی رودخانه چشمه‌علی به منظور ذخیره‌سازی آب برای فعالیتهای کشاورزی در سال ۱۳۸۳ احداث شده است. این رودخانه در مسیر خود تحت تأثیر فاضلاب‌های خانگی روستاهای آستانه، باباحافظ و آهوانو می‌باشد. باغات میوه و زمین‌های کشاورزی اعم از گوجه فرنگی و کدو در حاشیه این رودخانه به صورت وسیع وجود دارد و زهاب‌های حاصل از فعالیتهای کشاورزی به درون رودخانه وارد می‌شود. دو سرشاخه دامغانرود و آستانه، دو زیرحوضه آبریز در جهت‌های مخالف را به سمت رودخانه چشمه‌علی زهکشی می‌کنند. واحدهای سنگی تأثیرگذار بر کیفیت آب و رسوب رودخانه مربوط به دوران‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشند. سازندهای زمین‌شناسی این منطقه، سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای، لار، آهک‌های کرتاسه، فجن و کرج می‌باشند.

در این مطالعه پراکندگی غلظت فلزات سنگین و پارامترهایی فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات سطحی رودخانه چشمه‌علی (از محل مظهر چشمه تا سد شاهچراغی) بررسی گردیده و ارتباط میان غلظت فلزات و منابع آلاینده طبیعی و بشرزاد منطقه، تعیین شده است.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

افزایش آلودگی جهانی در سیستم آب‌های شیرین با هزاران ماده شیمیایی طبیعی و صنعتی یکی از مشکلات کلیدی محیط زیست در جهان امروز محسوب می‌گردد (Schwarzenbach et al., 2006). فلزات سنگین به وسیله منابع طبیعی و انسان‌زاد به درون اکوسیستم رودخانه‌ها وارد می‌شوند و بین فاز آبی و رسوبات توزیع می‌شوند (Gibbs, 1973).

در استان سمنان، آب‌های سطحی درصد کمی (۲۱٪) از کل منابع آب استان را به خود اختصاص می‌دهند. رودخانه چشمه‌علی یکی از منابع مهم آب شیرین در استان سمنان می‌باشد (رضایی توابع و همکاران، ۱۳۸۹). این رودخانه از نظر مصارف کشاورزی برای آبیاری باغات و مزارع کشاورزی مهم می‌باشد. همچنین سد شاهچراغی به دلیل ماهیگیری، آبی‌پروری و ذخیره‌سازی آب برای فعالیت‌های کشاورزی در زمین‌های پایین‌دست حوضه در منطقه حائز اهمیت می‌باشد (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷). بنابراین با توجه به اهمیت کلی رودخانه‌ها به ویژه رودخانه چشمه‌علی در منطقه، وجود منابع بشرزاد و تنوع ساختارهای زمین‌شناسی تأثیرگذار بر کیفیت آب و رسوبات این رودخانه و همچنین به دلیل عدم وجود تحقیق جامع زیست محیطی بر روی نحوه پراکنش غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات این رودخانه، انجام تحقیق حاضر ضروری و لازم می‌باشد.

۱-۴- اهداف تحقیق

هدف کلی تحقیق بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی بستر رودخانه چشمه‌علی از

مظهر چشمه تا محل ورودی سد شاهچراغی و همچنین بررسی ارتباط آن با ساختار زمین‌شناسی و فعالیت‌های بشرزاد در اطراف رودخانه می‌باشد. جهت رسیدن به این هدف، اهداف جزئی زیر در نظر گرفته شده است.

- ۱) تعیین غلظت و ترسیم نقشه پراکنش فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه.
- ۲) بررسی ارتباط میان روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی بستر رودخانه.
- ۳) ارزیابی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب و رسوبات سطحی رودخانه.
- ۴) ارزیابی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب روستاهای آستانه، باباحافظ و آهوانو واقع در مسیر رودخانه (فعالیت‌های بشرزاد) بر کیفیت آب و رسوبات سطحی رودخانه.
- ۵) ارزیابی اثر سرشاخه‌های دامغانرود و آستانه بر کیفیت آب و رسوبات رودخانه چشمه‌علی.
- ۶) مقایسه کیفیت آب رودخانه با استانداردهای جهانی آب آشامیدن^۱ (WHO, 2011) و ارزیابی آلودگی.
- ۷) ارزیابی تأثیر کیفیت رسوبات بر موجودات زنده با استفاده از راهنمای کیفیت رسوب^۲ (SQGs).

۱-۵- روش تحقیق

جهت انجام تحقیق حاضر در ابتدا با مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی و پس از انجام بازدیدهای صحرایی، منطقه، مورد مطالعه قرار گرفت. تحقیقات پیشین انجام شده مشابه در مورد توزیع فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌های ایران و سراسر جهان و مطالعات پیشین انجام شده در منطقه مطالعه گردید. در ادامه با بررسی نقشه زمین‌شناسی ورقه دامغان، عکس‌های ماهواره‌ای و با در نظر داشتن سرشاخه‌های ورودی رودخانه و کاربری اراضی اطراف رودخانه، ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول مسیر رودخانه چشمه‌علی تعیین و نمونه‌برداری انجام شد. عملیات دانه‌بندی بر روی رسوبات جمع‌آوری شده از مسیر رودخانه انجام

^۱World Health Organization 2011

^۲Sediment Quality Guidelines

گرفت و پارامترهای رسوب‌شناسی از قبیل درصد مواد آلی، درصد کربنات کلسیم، pH و EC اندازه‌گیری شدند. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب توسط دستگاه جذب اتمی در سازمان محیط زیست سمنان اندازه‌گیری گردید. شاخص‌های زیست محیطی و ژئوشیمیایی برای ارزیابی‌های زیست محیطی و کیفیت آب و رسوبات محاسبه گردید و با کمک روش‌های آماری (از قبیل تعیین همبستگی - آنالیز مؤلفه اصلی) روابط بین داده‌های بدست آمده از آنالیز مورد بررسی قرار گرفت. جهت تجزیه، تحلیل و تفسیر اطلاعات بدست آمده، ترسیم گراف‌ها و نقشه‌های پراکنش غلظت عناصر در آب و رسوبات از نرم افزارهای SPSS، Chemistry، Phreeqc، AqQA و ArcGIS استفاده گردید.

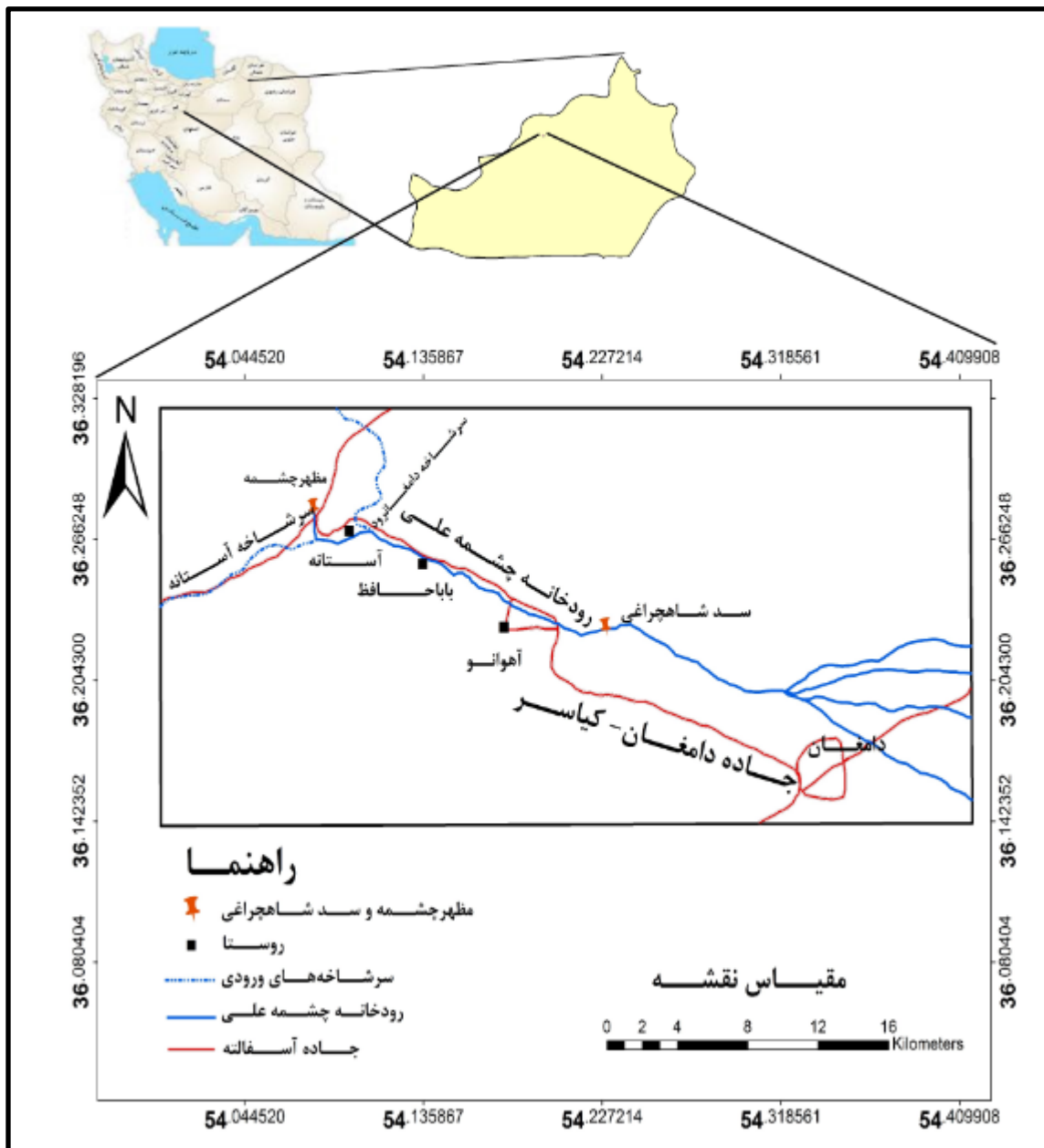
۱-۶- خصوصیات منطقه مورد مطالعه

۱-۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه چشمه‌علی در شمال‌غربی دامغان در مسیر جاده دامغان- کیاسر به فاصله ۳۲ کیلومتری از دامغان قرار دارد. راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه از راه جاده کیاسر- دامغان که در امتداد رودخانه واقع شده است، امکان‌پذیر می‌باشد (شکل ۱-۱). رودخانه چشمه‌علی بین طول جغرافیایی $54^{\circ}04'$ تا $54^{\circ}30'$ شرقی و عرض جغرافیایی 36° تا $36^{\circ}16'$ شمالی قرار گرفته است. این رودخانه در مسیر حرکت خود از روستاهای آستانه، باباحافظ و آهوانو می‌گذرد. مهمترین سرشاخه‌های ورودی به این رودخانه، دامغانرود و آستانه می‌باشد. طول تقریبی منطقه مورد بررسی ۱۸ کیلومتر از محل مظهر چشمه‌علی تا محل ورودی سد شاهچراغی می‌باشد.

۱-۶-۲- حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی

حوضه آبریز چشمه‌علی از دو زیرحوضه دامغانرود و آستانه تشکیل شده است (شکل ۱-۲). سرشاخه‌های و آستانه در روستای آستانه به رودخانه چشمه‌علی ملحق می‌گردند. رودخانه چشمه‌علی مهم‌ترین رودخانه



شکل (۱-۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به منطقه

دائمی منطقه محسوب می‌گردد. روند حرکت این رودخانه شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. بر روی این چشمه کارستی بناهای تاریخی مربوط به زمان فتح‌علی شاه و آغامحمدخان قاجار ساخته شده است. این بناها دارای دو حوضچه شمالی و جنوبی می‌باشد. آب بعد از خروج از مظهر چشمه در دو حوضچه شمالی

و جنوبی ذخیره می‌شود و مازاد آب به سمت خروجی حرکت می‌کند. میانگین دبی سالیانه این رودخانه توسط ایستگاه هیدرومتری لبرود واقع در ارتفاع ۱۲۸۰ متری از سطح دریا و در مختصات $۵۴^{\circ}۱۳'$ طول شرقی $۳۶^{\circ}۱۳'$ عرض شمالی براساس آمار ۲۰ ساله، $۲۹/۷$ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است. ماه‌های فروردین و اردیبهشت پرآب‌ترین ماه‌های سال و شهریور و مرداد کم‌آب‌ترین ماه‌های سال محسوب می‌گردند (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷).

- زیرحوضه دامغانرود

سرشاخه دامغانرود با طول تقریبی ۲۱ کیلومتر (رضایی توابع و همکاران، ۱۳۸۹)، از منطقه شرق دیباج از توابع دامغان سرچشمه می‌گیرد. این سرشاخه با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی بعد از گذشتن از کوه‌های شرق چشمه‌علی در جنوب‌شرقی روستای آستانه به رودخانه چشمه‌علی ملحق می‌گردد. مساحت تقریبی حوضه آبریز این سرشاخه ۶۵۰ کیلومترمربع می‌باشد. آب این رودخانه در بالادست توسط روستاها برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در نتیجه در پایین‌دست به صورت رودخانه خشک مشاهده می‌گردد. ایستگاه هیدرومتری دامغانرود در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا و طول جغرافیایی $۵۴^{\circ}۹۰'$ و عرض جغرافیایی $۳۶^{\circ}۲۰'$ برای تعیین دبی سالیانه در سال ۱۳۶۲ نصب گردیده است. میانگین دبی سالیانه رودخانه دامغانرود در یک دوره ۲۰ ساله از سال آبی ۶۱-۶۲ تا ۸۰-۸۱، $۶/۹$ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷).

- زیرحوضه آستانه

سرشاخه آستانه با طول تقریبی ۳۵ کیلومتر یک رودخانه خشک است که در باران‌های سیل‌آسا ممکن است در آن آب جاری شود. مساحت حوضه آبریز این سرشاخه، ۵۲۵ کیلومترمربع است و رودخانه از سمت غرب به شرق جریان دارد. سرشاخه‌های اصلی این رودخانه از غرب فولادمحله سرچشمه

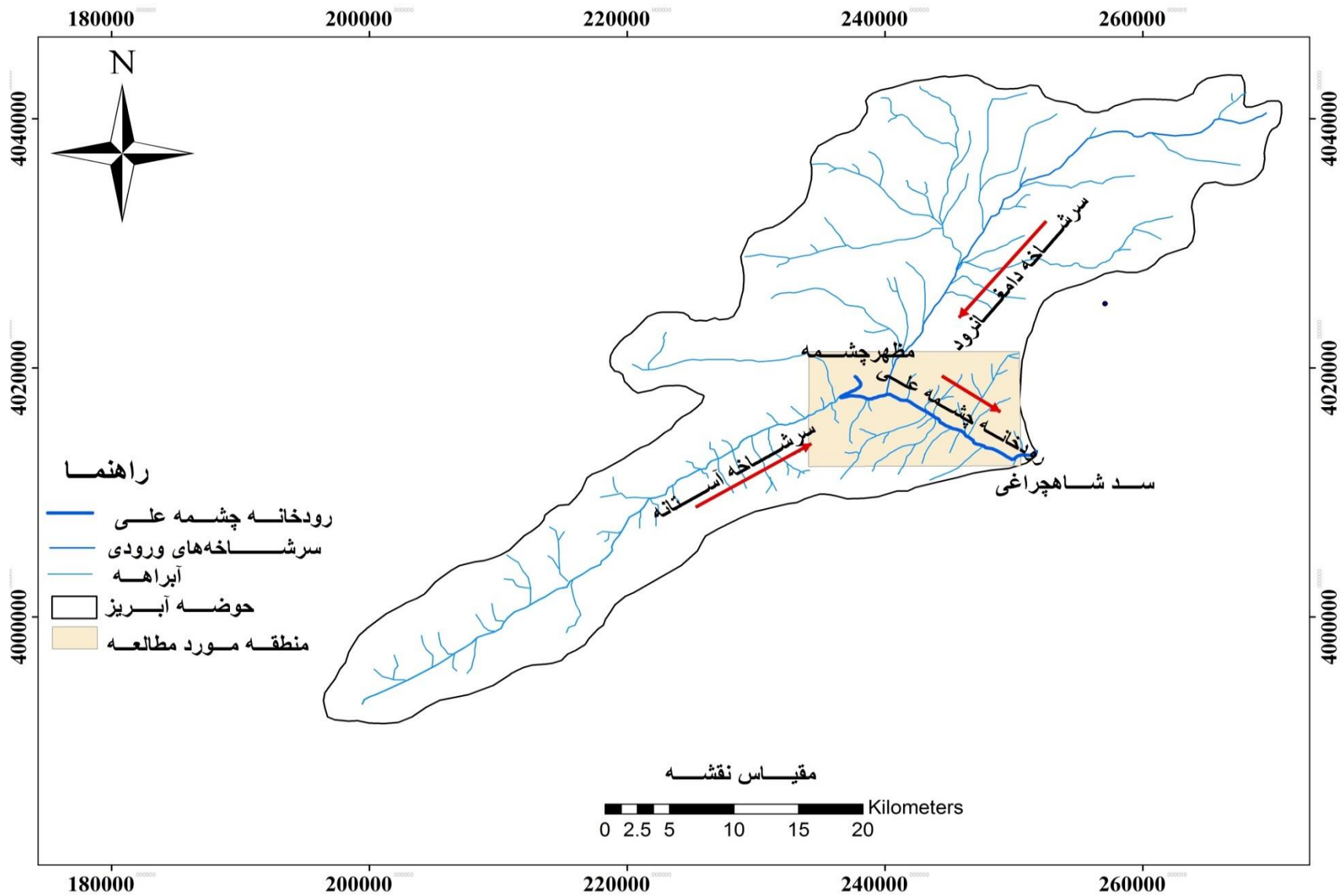
می‌گیرد و در جهتی مخالف رودخانه دامغانرود به رودخانه چشمه‌علی می‌ریزد. ایستگاه هیدرومتری رودخانه در ارتفاع ۱۴۹۰ متری از سطح دریا و در طول شرقی $۵۴^{\circ}۰۴'$ و عرض شمالی $۳۶^{\circ}۱۶'$ واقع شده است. این رودخانه بیشتر مواقع خشک است، اما در زمان باران‌های سیلابی سال ۶۳-۶۲ تا ۶۴-۶۵، میانگین دبی سالیانه آن $۰/۶$ میلیون مترمکعب در سال تعیین شده است (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷).

۱-۶-۳- کاربری اراضی

در حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی پوشش گیاهی اعم از جنگل، باغات، بوته‌زار و زراعت مشاهده می‌گردد (شکل ۱-۳). مناطق جنگلی در این حوضه در شمال و شمال‌غربی منطقه تراکم دارند. در حاشیه رودخانه چشمه‌علی باغات میوه و زمین‌های کشاورزی با محصولات گوناگون گسترش دارد. این باغات و مزارع کشاورزی در حاشیه روستاها تراکم بیشتری می‌یابند. معادن زغال‌سنگ، تراورتن در این منطقه دیده می‌شود که البته معادن زغال‌سنگ دارای فراوانی بالاتری می‌باشند. روستاهای آهوانو، باباحافظ، آستانه، زردان، کلاته، تویه، نمکه، دیباج و فولادمحله در حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی حضور دارند. روستای کلاته، زردان، تویه، نمکه و دیباج در حاشیه سرشاخه دامغانرود و سه روستای آستانه، باباحافظ و آهوانو در حاشیه رودخانه چشمه‌علی و روستای فولادمحله در حاشیه رودخانه آستانه واقع شده‌اند.

۱-۶-۴- شرایط آب و هوایی منطقه

رودخانه چشمه‌علی در ارتفاعات شهرستان دامغان قرار گرفته است و به سمت پایین‌دست از ارتفاع آن کاسته می‌شود. درجه حرارت متوسط سالانه در ارتفاعات دامغان، $۱۱/۶$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که این مقدار در دشت دامغان به $۱۵/۳$ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات جنوبی البرز واقع شده است، به همین دلیل دارای زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های معتدل می‌باشد



شکل (۱-۲): حوضه آبریز چشمه‌علی و محدوده مطالعاتی

بارندگی در منطقه بیشتر به صورت برف است و ارتفاعات رو به شمال در بیشتر روزهای پایانی پاییز و تمام طول زمستان از برف پوشیده است (کرمی، ۱۳۸۳). نزدیک‌ترین ایستگاه باران سنجی به منطقه مورد مطالعه، ایستگاه آستانه با مختصات جغرافیایی $54^{\circ}05'$ طول شمالی و $36^{\circ}16'$ عرض شرقی با ارتفاع 1450 متر از سطح دریا واقع شده است. براساس یک دوره 25 ساله آماری، فروردین با $22/9$ بیشترین و شهریور ماه با $2/4$ میلی‌متر کمترین مقدار بارندگی را دارا است (مهندسین مشاور طرح آبریز، ۱۳۸۷).

۱-۷- سازمان‌بندی پایان‌نامه

سازمان‌بندی این پایان‌نامه به قرار زیر می‌باشد:

- فصل اول: کلیات
- فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه
- فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین
- فصل چهارم: مواد و روشها
- فصل پنجم: بررسی کیفیت آب و رسوب
- فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

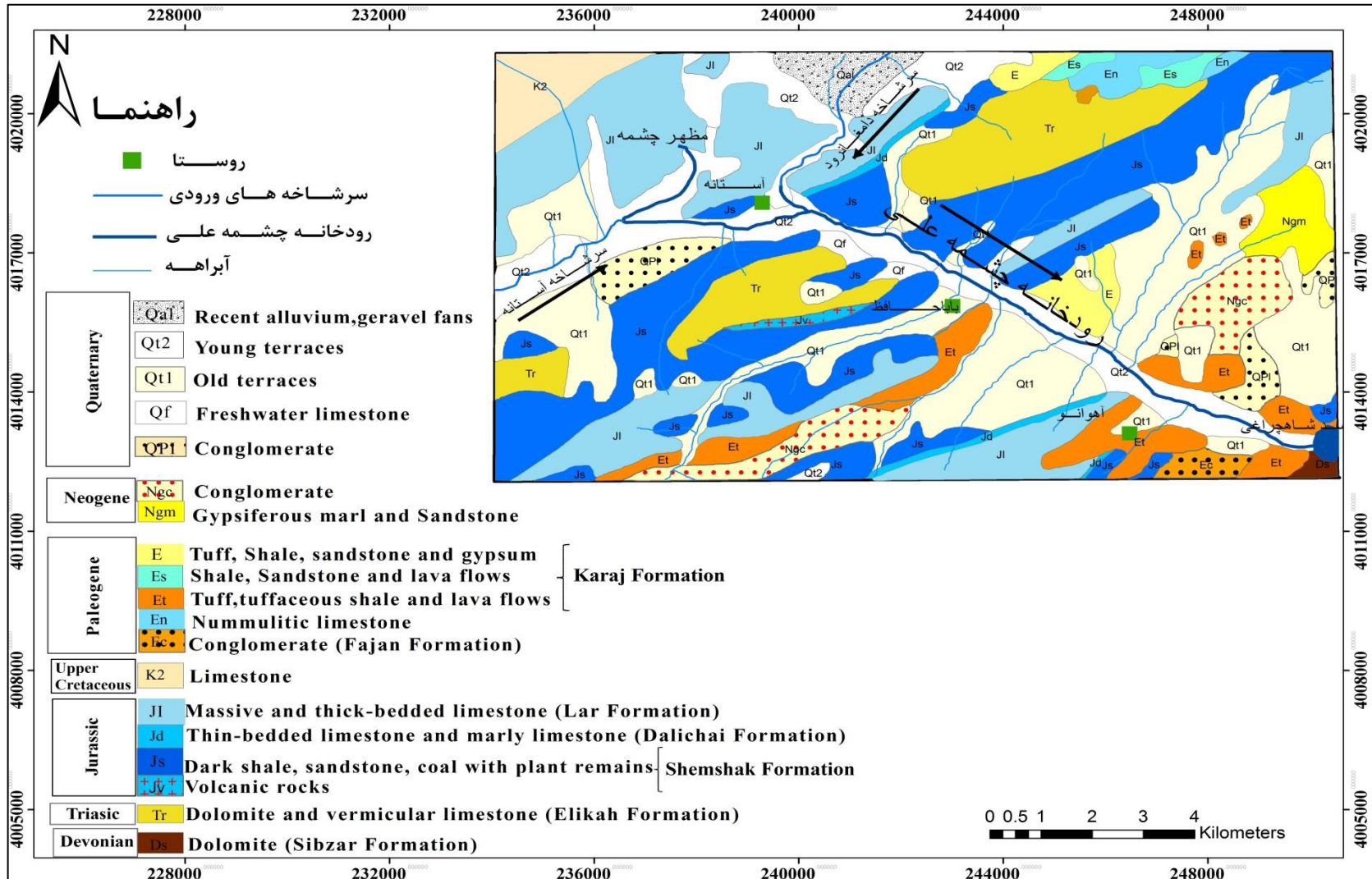
زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه

۲-۱- مقدمه

محدوده مطالعاتی در تقسیمات واحدهای ساختمانی ایران (Stocklin, 1968) جزء زون البرز شرقی می‌باشد و بین طول جغرافیایی $54^{\circ}04'$ تا $54^{\circ}30'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ}13'$ تا $36^{\circ}16'$ شمالی قرار گرفته است. رشته کوه‌های البرز روندی شرقی-غربی را در شمال ایران و جنوب دریای خزر دارا می‌باشند. این رشته کوه‌ها از شمال به بلوک فرورفته خزر و از جنوب به فلات مرکزی محدود می‌شوند (خسرو تهرانی، ۱۳۸۳). به اعتقاد بسیاری از زمین شناسان مانند علوی (۱۹۹۶) رشته کوه البرز بخشی از رشته کوه‌های آلپ- هیمالیا می‌باشد. این رشته کوه‌ها از کوه‌های قفقاز کوچک ارمنستان و آذربایجان شروع می‌گردد و تا کوه‌های پاراپامیسوس در شمال افغانستان امتداد دارند. پوسته البرز با ضخامت تقریبی ۳۵ کیلومتر، رسوبات کامبرین تا عهدحاضر را شامل می‌گردند (Alavi, 1996).

۲-۲- چینه‌شناسی عمومی منطقه

واحدهای سنگی در این منطقه از قدیم به جدید، شامل سازندهای سیبزار، الیکا، شمشک، دلیچای، لار آهک‌های کرتاسه، فجن و کرج می‌باشند (شکل ۱-۲). منطقه مورد مطالعه را از نظر چینه‌شناسی می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول از محل چشمه تا پایین‌دست روستای باباحافظ که به طور غالب دارای لیتولوژی زمان مزوزئیک می‌باشد و بخش دوم از پایین‌دست روستای باباحافظ شروع می‌شود و رخنمون سازندهای سنوزوئیک بیشتر می‌گردد. در منطقه سازند شمشک در قسمت‌های بالادست دارای رخنمون بالاتری می‌باشد و با یک روند شرقی-غربی در امتداد رودخانه قرار گرفته است و با حرکت به سمت پایین‌دست از رخنمون این سازند کاسته می‌گردد. در مقابل رخنمون سازند کرج با حرکت به سمت پایین‌دست افزایش می‌یابد.



شکل (۱-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان)

۲-۲-۱- سازند سیبزار

برش الگوی این سازند به ضخامت ۱۰۰ متر در جنوب ازبک کوه قرار دارد. نام این سازند از معدن سیبزار در ازبک کوه گرفته شده است. سازند سیبزار از دولومیت‌های سیاه تا خاکستری رنگ دارای فسیل مرجان و براکیوپودهای غیرقابل تشخیص بوجود آمده است. سازند سیبزار به دونین میانی نسبت داده شده است. این سازند به طور هم شیب روی سازند پادها و زیر سازند بهرام قرار می‌گیرد (خسرو تهرانی، ۱۳۸۳).

سازند سیبزار در منطقه از دولومیت زرد رنگ نازک‌لایه با ضخامت ۹۰ متر تشکیل شده است. این سازند در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه در سیمه کوه واقع شده است (شکل ۲-۲).



شکل (۲-۲): نمایی از دولومیت سازند سیبزار در سیمه کوه، دید از شمال غرب

۲-۲-۲- سازند الیکا

مقطع تیپ این سازند در بالای دره چالوس بررسی شده است. سازند الیکا با ضخامت ۲۹۰ متر از آهک‌های نازک لایه تا شیلی و آهک‌های ورمیکوله به ضخامت ۹۵ متر در بخش زیرین، و در بخش بالایی از دولومیت و آهک دولومیتی بدون فسیل با ضخامت ۲۰۰ متر تشکیل یافته است. سن این سازند به تریاس زیرین و میانی نسبت داده می‌شود. این سازند با ناپیوستگی هم شیب روی سازند نسن و با ناپیوستگی هم شیب زیر سازند شمشک قرار می‌گیرد (خسرو تهرانی، ۱۳۸۳).

این سازند در دو سمت رودخانه چشمه‌علی قرار گرفته است و بین روستای آستانه و باباحافظ رخنمون دارد. بین سازند الیکا و شمشک سنگ‌های ولکانیکی رخنمون دارند. این سنگ‌ها از روانه‌های بازالتی تشکیل شده‌اند که بر روی افق‌های لاتریتی و بوکسیتی قرمز رنگ قرار گرفته‌اند. این روانه در مرز سازند الیکا و سازند شمشک مشاهده می‌گردد که لایه‌های لاتریتی و بوکسیتی در این مرز ناشی از هوازدگی همین روانه‌ها، ایجاد شده‌اند و دارای سن تریاس پایانی- ژوراسیک زیرین است (قاسمی و جمشیدی، ۱۳۹۰).

۲-۲-۳- سازند شمشک

نام سازند شمشک از روستا و معدنی در شمال شرق تهران گرفته شده است (خسرو تهرانی، ۱۳۸۳). توالی لیتوژیکی این سازند در برش تیپ شامل ماسه‌سنگ زیرین، بخش زغال‌دار زیرین، بخش ماسه‌سنگ بالایی و بخش زغال‌دار بالایی می‌باشد. سن این سازند براساس فسیل‌های گیاهی و جانوری رتو-لیاس تعیین گردیده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). ضخامت لایه‌های زغال‌دار در سازند شمشک متغیر است و این سازند در منطقه البرز شرقی و مرکزی عموماً دارای آثار زغال می‌باشد (درویش‌زاده، ۱۳۸۳).

در محدوده مورد مطالعه توالی این سازند شامل ماسه‌سنگ‌های سبزرنگ، شیل، ماسه‌سنگ، رس‌سنگ و افق‌های زغالی می‌شود. به دلیل وجود میان لایه‌های زغال در شیل، این سازند بر کیفیت منابع آب در منطقه تأثیر منفی می‌گذارد. این سازند در حوضه آبریز چشمه‌علی گسترش زیادی دارد اما با حرکت به سمت پایین دست از حضور این سازند کاسته می‌گردد (شکل ۲-۳).

۲-۲-۴- سازند دلیچای

مقطع تیپ سازند دلیچای در کناره رودخانه دلیچای در مسیر جاده فیروزکوه به دماوند بررسی شده است. سنگ‌شناسی این سازند از آهک‌های مازنی و ماسه‌ای با لایه‌بندی منظم و نازک به رنگ سبز خاکستری



شکل (۲-۳): نمایی از سازند شمشک در جاده چشمه‌علی-دامغان بالادست روستای باباحافظ، دید از جنوب غرب

همراه با بین لایه‌های از شیل‌های مارنی می‌باشد (خسرو تهرانی، ۱۳۸۳). شروع رسوب‌گذاری این سازند با تغییر شرایط محیطی از قاره‌ای-مردابی به دریایی بوده است و سن آن ژوراسیک میانی گزارش شده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳). سازند دلیچای به ضخامت ۱۰۷ متر بر روی سازند شمشک و در زیر سازند لار قرار گرفته است (شکل‌های ۲-۴ و ۲-۵). لیتولوژی سازند دلیچای نسبتاً غیرمقاوم می‌باشد و در تشکیل بار رسوبی آبراهه‌ها شرکت می‌کند.

۲-۲-۵- سازند لار

این سازند از آهک ضخیم لایه تا توده‌ای به رنگ خاکستری حاوی نودول‌ها و باندهای سفید یا بنفش چرت تشکیل شده است. ضخامت آن از ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر متغیر می‌باشد. براساس فسیل‌های یافت شده در این سازند، سن آن را به ژوراسیک بالایی نسبت داده‌اند (خسرو تهرانی، ۱۳۸۳).

این سازند در منطقه مورد مطالعه، ارتفاعات شمال، شمال غرب و شمال شرق دامغان را تشکیل می‌دهد و دارای دو بخش می‌باشد. بخش زیرین از لایه‌های آهکی با ضخامت ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر با گرهک‌های



شکل (۲-۴): نمایی از آهک مارنی نازک لایه سازند دلیچای در پایین دست روستای آستانه، دید از جنوب شرق



شکل (۲-۵): نمایی از آهک مارنی نازک لایه سازند دلیچای در بالادست روستای آستانه، دید از غرب

چرتی و قسمت بالایی از آهک‌های دیوارساز با ضخامت ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر با مقدار کمی چرت تشکیل شده است. این سازند با لیتولوژی آهکی و ساختار درز و شکاف دار منبع اصلی تغذیه کننده چشمه‌علی می‌باشد. سازند شمشک و دلیچای از نظر سنگ‌شناسی به ترتیب غیرقابل نفوذ و با نفوذپذیری کم می‌باشند و به همین دلیل به عنوان سنگ کف آبخوان چشمه‌علی عمل می‌کنند. سازند لار به طور عمده در مظهر

چشمه رخنمون دارد و با حرکت به سمت پایین دست از رخنمون آن کاسته می‌گردد اما در نزدیکی روستای باباحافظ رخنمون این سازند بیشتر می‌گردد (شکل ۲-۶).



شکل (۲-۶): نمایی از آهک سازند لار در بالادست روستای آهوانو، دید از جنوب غرب

۲-۲-۶- آهک‌های کرتاسه

این واحد متشکل از آهک‌های تخریبی زردرنگ با میان‌لایه‌های کنگلومرایی قرمز در قاعده است و به آهک‌های دانه‌ریز اربیتولین‌دار و آهک‌های ضخیم لایه رودیست‌دار و گاستروپودا ختم می‌شود. این آهک‌ها با لایه‌بندی منظم و ضخیم مانند سازند لار دارای بافت ریزدانه، متراکم و سخت می‌باشند. آهک لار و کرتاسه به دلیل داشتن شکاف‌های انحلالی و درزه، باعث نفوذ سریع ریزش‌های جوی می‌گردند در نتیجه منابع آب زیرزمینی چشمه‌علی را به وجود می‌آورند (شکری، ۱۳۹۰)

۲-۲-۷- سازند فجن

مقطع تیپ سازند فجن در نزدیکی دهکده فاجان در کوه‌های شرق تهران تعیین شده است. این سازند شامل کنگلومرای پلی‌ژنتیک، ماسه‌سنگ‌های قرمز و مارن‌های ماسه‌ای با آگلومرا و گدازه‌های آندزیتی به صورت میان‌لایه‌ای می‌باشد. سازند فجن، سازند تیزکوه را با ناپیوستگی پوشانده و سازند زیارت با

پیوستگی آن را می‌پوشاند. سن آن پالئوسن تا ائوسن گزارش شده است (خسرو تهرانی، ۱۳۸۸). سازند فجن در منطقه چشمه‌علی از دو بخش پایینی و بالایی تشکیل شده است. بخش پایینی شامل کنگلومرا با ماسه‌سنگ و مارن‌های قرمز رنگ می‌باشد. بخش بالایی کنگلومرای بدون مارن و تحجریافته می‌باشد. دانه‌های کنگلومرا نسبتاً گرد شده و با اندازه‌ای در حد چند سانتی‌متر می‌باشند (شکری، ۱۳۹۰).

۲-۲-۸- سازند کرج

نام سازند کرج از شهر و رودخانه کرج برداشت شده است. سازند کرج در برش تیپ متشکل از ۵ بخش شیل کندوان، توف، شیل آستارا، توف میانی و شیل زیرین می‌باشد. این سازند دارای ضخامت کلی ۳۳۲۰ متر می‌باشد (آقاناتی، ۱۳۸۳).

سازند کرج در منطقه مورد مطالعه به سه بخش تقسیم می‌شود (۱) بخش پایینی متشکل از توف، شیل توفی و گدازه که معادل با بخش زیرین و توف میانی در مقطع تیپ می‌باشد، (۲) بخش میانی شامل شیل، ماسه‌سنگ و گدازه می‌باشد که می‌توان با بخش آستارا از مقطع تیپ مقایسه کرد، (۳) بخش بالایی از توف، شیل و ماسه‌سنگ تشکیل شده است و هم عرض با بخش توف بالایی می‌باشد. سازند کرج در طول جاده بین دامغان و چهارده با ضخامت زیاد و در سطح محدوده‌ای با وسعت ۱۸۷/۱ کیلومترمربع رخنمون دارد. توف، شیل و ماسه‌سنگ نسبتاً نرم این سازند فرسایش پذیر بوده و بار رسوبی آبراهه‌ها را تشکیل می‌دهد. رخنمون این سازند از پایین‌دست روستای باباحافظ آغاز می‌گردد و به سمت پایین‌دست در دو سمت رودخانه چشمه‌علی حضور دارد (شکل ۲-۷). بخش بالایی سازند کرج حاوی ژئیت است.

۲-۲-۹- رسوبات نئوزن

رسوبات نئوزن از دو واحد لیتولوژیکی تشکیل شده است. واحد پایینی شامل مارن سبز زیتونی است که با ناپیوستگی زاویه‌دار صورت دگرشیب روی رسوبات ائوسن قرار گرفته و واحد بالایی از کنگلومرای با



شکل (۷-۲): نمایی از توف سازند کرج در بالادست سد شاهچراغی، دید از شمال شرق

ضخامت ۱۰۰ متر تشکیل شده است. این رسوبات فاقد سیمان‌شدگی بوده و از سنگ‌ریزه‌های گردشده حاصل از سازندهای قدیمی تشکیل شده‌اند (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی دامغان).

۲-۲-۱۰- رسوبات کواترنری

این رسوبات نتیجه فرسایش و هوازدگی و انتقال واحدهای سنگی قدیمی‌تر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این نهشته‌ها در دشت سیلابی رودخانه و مخروط افکنه‌ها و دامنه ارتفاعات انباشته شده‌اند (شکری، ۱۳۹۰).

۲-۳- ژئومورفولوژی منطقه

حوضه آبریز چشمه‌علی در ارتفاعات البرز واقع شده است. در حوضه آبریز چشمه‌علی دو تیپ کوهستانی و دشت آبرفتی مشاهده می‌گردد و بیشتر حوضه آبریز چشمه‌علی از ارتفاعات بلند تشکیل شده است (شکل ۲-۸). این ارتفاعات در بالادست چشمه دارای تیپ تپه ماهوری می‌باشند و سرانجام به دشت آبرفتی تبدیل می‌شوند (کرمی، ۱۳۸۳). ارتفاع حوضه آبریز چشمه‌علی با حرکت به سمت جنوب کاهش می‌یابد. سرانجام به کویر حاج‌علی‌قلی دامغان منتهی می‌گردد. ارتفاع منطقه مورد مطالعه از ۱۵۲۲ متر در محل

مظهر چشمه به ارتفاع ۱۳۲۰ متر در ورودی سد کاهش پیدا می‌کند. حوضه آبریز چشمه‌علی به دلیل قرار گرفتن در ارتفاعات البرز دارای کوه‌های متعددی می‌باشد. بلندترین نقاط در منطقه مورد مطالعه شامل کوه پیشسار (۲۰۳۵ متر)، آنبه کوه (۲۲۲۳ متر)، کوه بشم (۲۳۱۲ متر)، منصورکوه و رشته کوه سفید (۲۸۶۳ متر) می‌باشد (نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ توپوگرافی دامغان).

۲-۴- تکتونیک منطقه

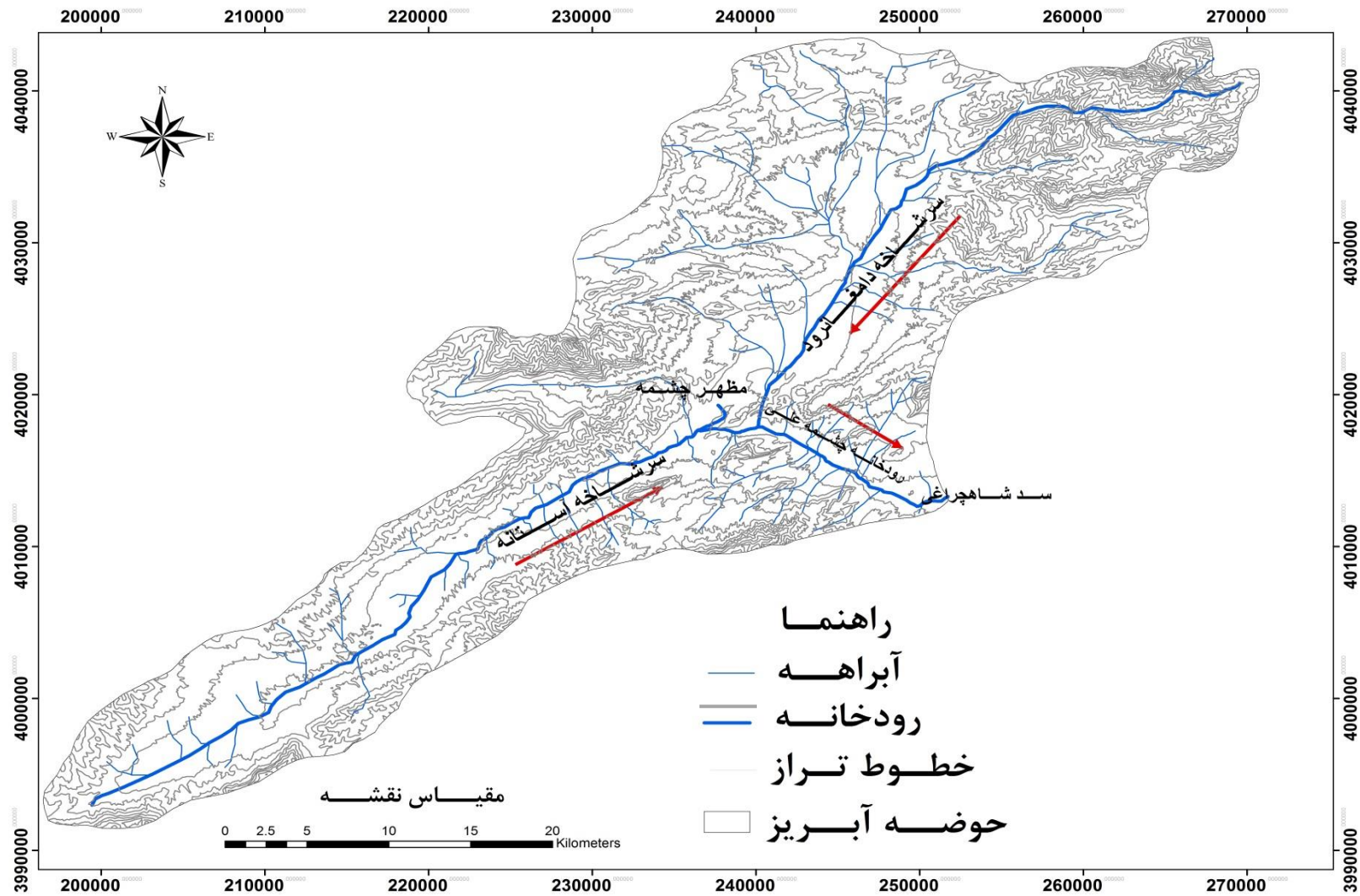
منطقه مطالعاتی به دلیل قرار گرفتن در زون البرز شرقی از ویژگی ساختاری این زون پیروی می‌کند. این منطقه به علت فعالیت‌های گسل‌ها و شرایط تکتونیکی دارای پرتگاه‌های بزرگی می‌باشد (کرمی، ۱۳۸۳).

۲-۴-۱- گسل دامغان

گسل دامغان با طول ۱۰۰ کیلومتر از دو بخش شرقی و غربی تشکیل شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵). این گسل از ۱۰ کیلومتری شهر دامغان می‌گذرد و رسوبات کواترنری را قطع می‌کند به همین جهت به عنوان یک گسل کواترنری در نظر گرفته شده است. گسل دامغان با روند غرب-جنوب‌غربی، شرق-شمال‌شرقی عملکرد متضادی را در قسمت‌های مختلف نشان می‌دهد (مقدسی، ۱۳۷۶). آثار این گسل در جاده چشمه‌علی به دامغان در دره رودبار در کنتاکت کنگلومرای پلیو-پلیستوسن با سازند کرج مشهود است.

۲-۴-۲- گسل شمال دامغان

این گسل در ۴ کیلومتری شمال گسل دامغان قرار گرفته است. این گسل با امتداد شرقی-غربی باعث راندگی سازندهای قدیمی تر پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترشیاری بر روی آبرفت‌های دوران کواترنری دشت دامغان گردیده است. در سمت غرب و نزدیکی چشمه‌علی این گسل باعث راندگی بین گسل‌های قدیمی شده است و در سمت شرق در زیر آبرفت‌های جوان جنوب غربی شاهرود ناپدید می‌شود.



شکل (۸-۲): نقشه توپوگرافی حوضه آبریز چشمه علی (اقتباس از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ توپوگرافی دامغان)

۲-۴-۳- گسل آستانه

این گسل با طول ۷۵ کیلومتر در غرب روستای آستانه و با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی قرار گرفته است. گسل آستانه به طور مشخص رسوبات آبرفتی کواترنر را بریده است و همراه با آبراهه‌ها پهنه را به شکل چپ‌بر حرکت داده است. آثار این گسل در نهشته‌های کواترنری بریده شده در ۱۰ کیلومتری جنوب غربی آستانه و نیز جنوب غربی چشمه‌علی مشخص می‌باشد.

۲-۴-۴- گسل چشمه‌علی

این گسل در بالادست چشمه به فاصله ۲۰۰ متری در برونزدهای سازند دلیچای مشخص می‌باشد (شکری، ۱۳۹۰). امتداد گسل چشمه‌علی شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد و شرق گسل شاه‌کوه را به غرب گسل آستانه مرتبط می‌سازد.

مروری بر مطالعات پیشین

۳-۱- مقدمه

یکی از نیازهای لازم و اساسی در جهت حفظ محیط زیست و پیشرفت سطح اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جامعه، حفظ سلامت افراد جامعه و حفاظت از منابع طبیعی از جمله منابع آب می‌باشد. سه چهارم کره زمین از آب پوشیده شده است. ۹۷ درصد آب، در دریاها و اقیانوس‌ها به دلیل شور بودن قابل استفاده نمی‌باشد. کمی بیش از ۲ درصد از آب به صورت یخ در قطب‌ها یا به صورت رطوبت در اتمسفر و خاک قرار دارد که غیرقابل دسترسی می‌باشد. تنها ۰/۶۲ درصد آب در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی جهت استفاده کشاورزی، شرب و صنعتی در دسترس است (پوی و همکاران، ۱۳۸۲; Chapman, 1996).

اکوسیستم رودخانه به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص اکولوژیکی اهمیت بالایی در کشاورزی، آبی‌پروری و اقتصاد دارد. این منبع آبی از ارتفاعات سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسافتی از میان دشت‌ها در نهایت به تالاب، دریا و یا دریاچه می‌ریزد. رودخانه در مسیر حرکت خود بر روی محیط اطرافش تأثیر می‌گذارد و متقابلاً از محیط اطرافش تأثیر می‌گیرد (خارا و همکاران، ۱۳۸۷). حوضه آبریز بسیاری از رودخانه‌ها توسط جمعیت زیادی اسکان یافته است و برای فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی بهره‌برداری می‌شوند. این فعالیت‌ها اغلب مقادیر بالا و خطرناک فلزات سنگین و مواد مغذی را به درون رودخانه‌ها وارد می‌کنند (Kumar et al., 2013). فلزات سنگین یک گروه ویژه از آلوده‌کننده‌ها می‌باشند که در برابر فرآیندهای تجزیه پایدار بوده و کاهش نمی‌یابند، از این جهت سزاوار توجه ویژه‌ای می‌باشند (Olivares-Rieumont et al., 2005). رسوبات موجود در منابع آب و از جمله رودخانه‌ها، محل‌های تجمع و رسوبگذاری آلاینده‌های ورودی و بالاحص فلزات سنگین بوده و در واقع رسوبات، محل‌های ذخیره فلزات سنگین محسوب می‌گردند (Nriagu, 1989).

در این فصل به بررسی عوامل مؤثر بر جذب و آزادسازی فلزات در محیط‌های آبی، مطالعات پیشین مشابه انجام شده در ارتباط با آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات در رودخانه‌ها در ایران و جهان و همچنین مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۲-۳- عوامل مؤثر بر انحلال، جذب و آزادسازی فلزات در آب و رسوبات

تمرکز فلزات سنگین در رسوبات در محیط‌های آبی به وسیله تعدادی از فاکتورها از جمله pH، EC، نوع لیگاندهای آلی و غیرآلی، ورودی‌های بشرزاد، فرآیندهای هیدرولیکی درون جریان آب، سطوح دسترس‌پذیر برای جذب سطحی و تنوع در توزیع اندازه دانه‌های رسوب کنترل می‌گردد. تغییرات pH فاکتور مهمی در حلالیت و دسترس‌پذیری زیستی فلزات سنگین می‌باشد (Axtmann and Luoma 1991). حلالیت و زیست‌دسترس‌پذیری فلزات با کاهش pH بیشتر می‌گردد و یون هیدراته فلزات در آب افزایش می‌یابد. در مقابل با افزایش pH آب، کمپلکس فلزات با کربنات‌ها در رودخانه با بستر آهکی افزایش می‌یابد و این امر باعث کاهش سمیت فلز در آب می‌گردد (Bott, 1995).

تغییرات pH می‌تواند جایگیری عنصر فلزی در فاز محلول و جامد را به علت رقابت یون‌های هیدروکسیل و هیدروژن بر سر اشغال محل‌های تبادلی یا تشکیل کمپلکس‌های فلز تغییر دهد و از این طریق باعث تغییر دسترس‌پذیری فلزات گردد (کریمی، ۱۳۷۴).

پتانسیل اکسایش- کاهش نقش مهمی در پایداری گونه‌های محلول و انحلال‌پذیری فازهای جامد دارد. فرآیند جذب سطحی و واجذب گونه‌های آلی و غیرآلی توسط ذرات معلق و رسوبات در محیط‌های آبی نقش مهمی در توزیع گونه‌های مختلف فلزات در محیط دارد. ذرات شرکت کننده در فرآیند جذب سطحی و واجذب از ذرات کانیاپی، ذرات آلی و کلوییدها تشکیل می‌شوند. کلوییدها ذراتی با اندازه بین

محلول‌های واقعی و سوسپانسیون‌ها می‌باشند. در آب‌های طبیعی کلوییدها از کانی‌های رسی، سیلیس، اکسی‌هیدرواکسیدها، ماده آلی و باکتری‌ها تشکیل شده‌اند. اندازه و مقدار کلوییدها در منابع آب براساس شرایط آب‌شناختی متغیر می‌باشد. آب‌های پرسرعت، کلوییدهای با اندازه بزرگ را حمل می‌کنند. در رودخانه‌ها به دلیل ورود حجم بالایی از مواد به آب بیشترین مقدار مطلق ذرات کلوییدی یافت می‌گردد. این ذرات به ویژه زمانیکه از کانی‌های رسی تشکیل یافته‌اند به دلیل دارا بودن اندازه کوچک و مساحت سطحی بالا نقش مهمی را در حمل فلزها در محیط آب ایفا می‌کنند (Eby, 2004).

در فرآیند رسوبگذاری، تمرکز ترکیبات و فلزات با توزیع حمل‌کننده‌ها تغییر می‌کند، بنابراین غنی‌شدگی فلزات در رودخانه به طور وسیعی به توزیع اندازه ذرات وابسته می‌باشد. به طور کلی هر چه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد نسبت سطح به حجم بزرگ‌تر می‌شود و سطح ذره برای فرآیندهای جذب سطحی بیشتر می‌گردد (Zhao et al., 1999). توزیع فلزات در ذرات با اندازه‌های متفاوت، همچنین در ترکیب کانی‌های مختلف و عواملی مانند ویژگی شیمیایی سطحی، وسعت سطح ویژه و انرژی آزاد سطح رسوب معلوم می‌سازد که مکانسیم جذب سطحی، واجذب و انتقال در محیط با اهمیت می‌باشد (Chen et al., 2000).

بالاترین تمرکز فلزات در ذرات دانه‌ریز که به طور عمده از اکسید و هیدرواکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم و آهن تشکیل شده است، صورت می‌گیرد. در مقابل در سطوح پایین‌تر، فلزات سنگین در رسوبات درشت دانه و ماسه‌ای شامل کوارتز و فلدسپار و دیگر مواد سنگی یافت می‌شوند (Irabien and Velasco, 1999). رس‌ها از هوازدگی و فرآیندهای شیمیایی سنگ مادر، که عمدتاً شامل اکسیدهای هیدراته آلومینیوم و سیلیسیم است، تشکیل می‌شوند. این ذرات به دلیل داشتن بار منفی باعث جذب کاتیون‌ها در سطح خود می‌گردند و عامل مؤثری در جذب و نگهداشت فلزات سنگین در رسوبات می‌باشند (کریمی، ۱۳۷۴).

مواد آلی با اسیدهای دارای جرم مولکولی بالا، نقش مهمی در توزیع فلزات سنگین به وسیله مکانسیم

کی‌لیتی شدن و فرآیندهای تبادل کاتیونی بازی می‌کنند (Dollar et al., 2001). این مواد نیز به دلیل داشتن گروه‌های عامل با کاتیون‌های فلزی تشکیل کمپلکس‌های آلی می‌دهند و یا در محل‌های تبادلی با آنها واکنش می‌دهند. کمپلکس‌سازی مواد آلی با فلزات با تغییرات pH تغییر می‌کند و این فرآیند به صورت برگشت‌پذیر بر طبق رابطه ۱-۳ تابع یون هیدروژن می‌باشد، به طوریکه با افزایش pH کمپلکس‌سازی افزایش می‌یابد (کریمی، ۱۳۷۴).



در این فرمول M^{n+} یون فلزی و L^{n+} لیگاند کمپلکس‌کننده می‌باشد.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عوامل شیمیایی و فیزیکی از قبیل pH، مواد آلی دانه‌بندی فاکتورهای اصلی و مؤثر در انحلال‌پذیری، جذب و آزادسازی عناصر در منابع آب محسوب می‌گردند.

۳-۳- آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌ها

فعالیت‌های متکی به انسان مانند تولیدات صنایع و کشاورزی، ترکیب رشد جمعیت و شهرسازی، فشار در حال افزایشی را به محیط زیست وارد می‌آورد و باعث تنزل کیفیت محیط طبیعی و بالا رفتن ریسک اکولوژیکی برای موجودات ساکن در محیط آبی و جمعیت انسانی می‌شود (Li et al., 2010). فعالیت‌های انسان‌زاد تعادل طبیعی اکوسیستم‌ها را که در زمان طولانی شکل گرفته است به هم می‌ریزد و این تغییرات منجر به افت کیفیت آب می‌شود (Kabata-Pendias and Pendias, 2009).

فلزات سنگین عمدتاً از طریق تخلیه پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری، زهاب زمین‌های کشاورزی تغذیه شده با لجن فاضلاب به رودخانه‌ها راه پیدا می‌کنند و زندگی موجودات آبی را تهدید کرده و باعث تغییرات اکوسیستم آبیان می‌شوند (بابایی و همکاران، ۱۳۸۸).

رسوبات رودخانه‌ها از جمله اجزای اساسی و مهم در پیکره‌های آبی می‌باشند. رسوبات مواد مغذی را برای موجودات زنده کفزی فراهم می‌کنند و به عنوان مخزن ذخیره‌ای برای گونه‌های شیمیایی زیان‌آور به شمار می‌روند (Gomez Ariza et al., 1999). زمانیکه مواد معلق و محلول در آب از ظرفیت حمل بالاتر بروند، بخشی از آنها رسوب می‌کنند و از سوی دیگر در شرایط خاص فلزات سنگین می‌توانند دوباره به درون فاز آبی رها شوند. هر دو نوع فعالیت‌های طبیعی و بشرزاد برای آزاد کردن و ایجاد تغییرات در محیط ظرفیت دارند. همچنین جریان‌های جزرومدی، انرژی باد و جریان‌ها در دهانه رودخانه‌ها می‌تواند موجب متحرک‌سازی دوره‌ای فلزات از سطح رسوب گردد (Calmano et al., 1993). سیل و زیست آشفستگی ناشی از تغذیه و حرکت موجودات زنده می‌تواند رسوبات را در شرایط هوازی و بی‌هوازی قرار دهد که منجر به تغییرات ژئوشیمیایی می‌گردد (Eggleton and Thomas, 2004). از جمله اثرات آلودگی رسوبات شامل افزایش سرطان، سمیت در ماهی، مسمومیت پرندگان ماهی‌خوار و کاهش گوناگونی زیستی در اکوسیستم آبی می‌باشد. زمانیکه آلودگی در بدن آبزیان مانند ماهی و حلزون تجمع یافته توسط انسان مصرف می‌شود سلامتی انسان به خطر می‌افتد (Mulligan et al., 2001). آنالیز فلزات سنگین موجود در رسوبات بستر این امکان را می‌دهد که آلوده‌کننده‌های غایب یا در غلظت پایین در آب، ردیابی شوند (Kumar et al., 2012). همچنین رسوبات بستر به عنوان منبع ذخیره آلودگی، ثبت زمانی و مکانی آلودگی منطقه را فراهم می‌کند (Martin and Whitfield, 1983).

آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه‌ها موضوع بسیاری از تحقیقات در ایران و جهان بوده است. در ادامه برخی از تحقیقاتی که در مورد آلودگی فلزات سنگین در رودخانه‌های ایران و جهان انجام گردیده، آورده شده است.

یانگ وانگ و همکاران (Ying Wang et al., 2011) در مطالعه‌ای به تمرکز فلزات سنگین در رسوبات بزرگترین رودخانه چین Yangtze پرداخته و نشان دادند که فعالیت‌های صنعتی، شیمیایی و آبکاری

فلزات در حوضه این رودخانه باعث آلوده شدن رسوبات به فلزات سنگین شده است. تمرکز بالایی از کادمیوم در فاز دسترس‌پذیر، ناشی از فعالیت‌های معدنکاری و آبکاری فلزات بوده است. به علاوه ارزیابی ریسک اکولوژیکی در این مطالعه نشان داد که Hg و Cd بالاترین ریسک اکولوژیکی را میان فلزات داشته و جز بزرگترین نگرانی‌های اکولوژیکی رودخانه می‌باشند

محققین به مطالعه فلزات سنگین در رسوبات رودخانه Wuding پرداخته‌اند و با محاسبه فاکتور غنی‌شدگی اعلام کردند که منشأ آلودگی Cr، Ni و Cd بشرزاد بوده است. این آلودگی در نتیجه ورود حجم بالایی از زباله و پساب از ناحیه صنعتی Yuile ایجاد شده است (Longjang et al., 2011).

وکیدا و همکاران (Wakida et al., 2008) مطالعه‌ای در مورد تمرکز فلزات سنگین در رسوب رودخانه Tecate مکزیک انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که منابع عمده فلزات سنگین در این رودخانه بشرزاد بوده است. بین نیکل و کادمیوم یک همبستگی بالایی یافت شد که این امر به دلیل گسترش صنایع مونتاژ و آبکاری فلزات در این ناحیه بوده است. علاوه بر این پساب‌های صنعتی و شهری یکی دیگر از دلایل آلوده شدن رسوب رودخانه به فلزات سنگین شناخته شد.

سلاطی و مر (Salati and Moore, 2010) با بررسی فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه خشک شیراز و انجام آنالیز خوشه‌ای مشخص کردند که تخلیه فاضلاب شهری، صنعتی و خانگی در حدود شهر شیراز بر تمرکز فلزات سنگین در رسوب و آب رودخانه مؤثر بوده است. تمرکز نیکل و کادمیوم در آب به دلیل فعالیت کارخانه روغن نباتی، کارگاه خودروسازی و آبکاری فلزات افزایش یافته است. محاسبه شاخص زمین‌انباشت برای فلزات کادمیوم، مس، نیکل و کروم، نشان از آلودگی متوسط تا بالای رسوبات به سرب و کادمیوم بوده است.

تقی‌نیا حجابی و همکاران (Taghinia Hejabi et al., 2011) با نمونه‌برداری از ۱۷ ایستگاه در طول

رودخانه Kabini در هندوستان به بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوب و آب این رودخانه پرداختند. این محققین با محاسبه شاخص زمین‌انباشت نشان دادند که رسوبات رودخانه به طور متوسط با روی، کروم، مس و نیکل آلوده شده‌اند. منشأ فلزات آلوده کننده، پساب کشاورزی، خانگی و صنعتی بوده است.

لیو و همکارانش (Liu et al., 2009) با ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه Luan نشان دادند که غلظت کادمیوم و جیوه به علت فعالیت‌های صنعتی و شهری در رودخانه افزایش یافته است. مقایسه غلظت فلزات سنگین با راهنمای کیفیت رسوبات¹ (SQGs) مشخص کرد که رسوبات رودخانه به شدت به جیوه آلوده شده‌اند.

لان وانگ و همکاران (Lan Wang et al., 2011) مطالعه‌ای بر روی تمرکز فلزات سنگین در ۷۶ نمونه از آب رودخانه Changjnang در چین در فصل تر و خشک انجام دادند. آنالیز خوشه‌ای (CA) و آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) برای تفکیک منشأ بشرزاد و طبیعی استفاده شد. با توجه به نتایج معلوم گردید که منبع اصلی دو فلز As و Cd بشرزاد بوده و بالاترین تمرکز این دو فلز نزدیک کارخانه برق بوده است.

لین و همکاران (Lin et al., 2012) با بررسی آلودگی و ریسک اکولوژیکی فلزات در رودخانه Xi در چین بیان داشتند که این رودخانه به شدت با فلزات سنگین در نتیجه ورود پساب‌های صنعتی و شهری تصفیه نشده یا ناقص تصفیه شده از شهر آلوده شده است. فلزات آرسنیک و جیوه انباشته شده در رسوبات به عنوان پتانسیل ریسک اکولوژیکی شناخته شدند، به طوریکه این رسوبات می‌توانند در شرایط مناسب منبع ثانویه آلودگی ستون آب باشند.

وارول (Varol, 2011) به ارزیابی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه دجله پرداخت و بیان کرد که ایستگاه نمونه‌برداری در نزدیک کارخانه معدن مس به دلیل تخلیه پساب این کارخانه، بالاترین تمرکز فلزات

¹ Sediment Quality Guidelines

سنگین (As, Cd, Co و Cr) را داشته است. به علاوه محاسبه شاخص بار آلودگی، آلودگی متوسط رودخانه را معلوم ساخت. تمرکز Cu, Pb, Ni و Cr از حد PEL^1 (سطح احتمالی تأثیر) گذشته است و صدمه به ارگانسیم‌های زنده پیش‌بینی می‌شود.

ماسلو و همکاران (Massolo et al., 2012) به بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه Hugli پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که کادمیوم و منگنز رسوبات دارای منشأ بشرزاد بوده است. مقدار فلز کادمیوم در ایستگاه واقع در کلکته از سطوح TEC^2 و ERL^3 تجاوز می‌کند. میزان فلزات سنگین در رسوب با اندازه دانه‌ها رابطه مستقیمی نشان داد و در ایستگاه‌های دارای رسوبات دانه‌ریزتر تمرکز بالاتری از فلزات مشاهده گردید.

کرباسی و همکاران (Karbassi et al., 2008) در مطالعه‌ای، آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه شور در شیراز را بررسی نمودند. در این تحقیق از شاخص زمین‌انباشت و شاخص آلودگی جهت تحلیل نتایج استفاده گردید. نتایج معلوم ساخت که این رودخانه تحت تأثیر معدنکاری مس سرچشمه می‌باشد. فلز کادمیوم بالاترین مقدار شاخص آلودگی را در منطقه نشان داد.

بررسی رودخانه ارس، واقع در مرز ارمنستان، ایران و آذربایجان نشان داد که آرسنیک موجود در آب این رودخانه ۱۰ برابر حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی می‌باشد. منشأ آرسنیک به فعالیت‌های بشرزاد نسبت داده شد. با توجه به اینکه آب این رودخانه برای کشاورزی و آشامیدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از آن، ریسک اکولوژیکی بالایی برای مردم منطقه را به همراه دارد (Suleymanov et al., 2010).

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب رودخانه Hanoi در ویتنام نشان داد که تمرکز فلزات سنگین در آب

¹ Probable Effect Level

² Threshold Effect Concentration

³ Effect Range-Low

این رودخانه به استثنای فلز منگنز پایین‌تر از حد استاندارد کیفیت آب سطحی ویتنام بوده است. صنایع اصلی تأثیرگذار بر روی این رودخانه کارخانه چرم و صابون می‌باشند. فلز منگنز در آب این رودخانه به دلیل کاهش اکسیژن در آب و ایجاد شرایط احیایی به شکل محلول حضور دارد و تمرکز بالاتری از مقدار استاندارد را نشان می‌دهد (Kikuchi et al., 2009).

بررسی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوب سطحی قسمتی از رودخانه ارس واقع در شهرستان اردبیل توسط ناصحی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ انجام شد. نتایج نشان داد که به دلیل استفاده بالا از حشره‌کش‌های حاوی فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه و صنعت در حال توسعه در حاشیه رودخانه، در فصول تابستان و بهار، مقادیر فلزات سنگین (نیکل، سرب، آهن و مس) در آب افزایش می‌یابد. تمرکز فلزات سنگین آهن، نیکل و سرب با بارندگی و میزان دبی رابطه مستقیم نشان داد و با افزایش دبی غلظت فلزات سنگین در آب بیشتر گردید. تخلیه پساب صنعتی و شهری منطقه پارس‌آباد و تخلیه پساب مراکز دام‌پروری، میزان فلزات سنگین رسوب در ایستگاه‌های مجاور این مناطق را افزایش داده است. کادمیوم رسوب در این ایستگاه‌ها، ۱۰ برابر غلظت این عنصر در شیل جهانی بوده و به عنوان عنصری با پتانسیل ریسک اکولوژیکی قابل ملاحظه در نظر گرفته شد (Nasehi et al., 2013).

کومار و همکارانش (Kumar et al., 2013) مطالعه‌ای بر روی تنوع فصلی فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه Sabaramati و کانال Kharicut در هند انجام دادند. این محققین با محاسبه شاخص بار آلودگی بیان کردند که آلودگی از سمت بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه افزایش می‌یابد. همچنین محققین تغییرات غلظت کروم در رسوب رودخانه را به فعالیت‌های صنعتی و روند تغییرات روی موجود در رسوب را به فعالیت‌های کشاورزی و کودهای حاوی سولفات روی مربوط دانستند. به طور کلی رسوبات رودخانه به فلزات سنگین، درجه آلودگی بالاتری را نسبت به آب رودخانه نشان داد.

محققین طی مطالعه و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوب و آب رودخانه Sarno ایتالیا بیان کردند که آب و رسوبات در بالادست رودخانه نسبت به پایین دست کمتر آلوده شده است. منابع آلوده کننده این رودخانه، صنایع، فعالیت‌های کشاورزی و پساب شهری معرفی گردید. ایستگاه‌های واقع در مراکز شهری تمرکز بالایی از فلزات را در فاز مواد معلق و فاز محلول نشان دادند. با محاسبه فاکتور غنی‌شدگی مشخص گردید که آلودگی رسوبات به آرسنیک، جیوه، مس و روی قابل ملاحظه می‌باشد. براساس راهنمای کیفیت رسوبات (SQGs)، رودخانه Sarno در معرض خطر پتانسیل ریسک اکولوژیکی قرار دارد. این رودخانه سهم بالایی در انتقال آلودگی فلزات سنگین به دریای Tyrrhenian ایفا می‌کند (Montuori et al., 2013).

تحقیق انجام شده بر روی رسوب رودخانه Bijang در چین نشان داد که رسوبات این رودخانه به شدت از فعالیت‌های معدنکاری در حوضه آبریز این رودخانه تأثیر گرفته است. فلزات آلوده کننده این رودخانه، آرسنیک، سرب و روی تشخیص داده شدند. آنالیز نمونه‌های برداشت شده مشخص کرد، با فاصله از معدنکاری، میزان آلودگی کاهش می‌یابد و میزان آلودگی در فصل تر شدیدتر از فصل خشک می‌باشد (Yi et al., 2012).

سعیدی و همکاران (Saeedi et al., 2011) بر روی جذب سطحی فلزات سنگین در رودخانه جاجرود در ایران مطالعه‌ای انجام دادند و اعلام کردند که سرب و کروم توسط اکسید آهن و منگنز و روی توسط مواد آلی در رسوبات جذب شده‌اند. در بین فلزات مورد بررسی (کادمیوم، مس، روی، نیکل و کروم)، کروم و نیکل کمترین جذب سطحی را در سطح رسوب نشان دادند و به همین جهت بزرگترین ریسک اکولوژیکی و زیست محیطی محسوب می‌شوند.

هاشمی‌نسب و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کر در شیراز از ۹ ایستگاه در امتداد رودخانه کر نمونه‌برداری انجام دادند. مکان‌های نمونه‌برداری با توجه به منابع آلاینده بشرزاد تعیین گردید. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت سرب، مجاور کارخانه قند و

بیشترین مقدار روی مربوط به ایستگاه علی آباد و فاضلاب شهر مرودشت و فاضلاب کارخانه قند می باشد. با توجه به شاخص زمین انباشت و فاکتور غنی شدگی، سرب و روی، آلودگی متوسط را در مجاورت کارخانه قند نشان دادند.

در ارزیابی غلظت فلزات سنگین در رودخانه گاماسیاب همدان توسط بابایی و همکاران (۱۳۸۸)، فلزات مس، روی، نیکل، کبالت، سرب، جیوه، آهن و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج میزان بالاتری از آهن، روی، نیکل و مس را نسبت به فلزات دیگر در آب نشان داد. منشأ این فلزات تراکم جمعیت، فاضلاب شهری و صنعتی و زهاب کشاورزی تشخیص داده شد. غلظت فلزات مورد بررسی از استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 1984) تجاوز نکرده اما مقدار مس از میزان مجاز آبی پروری تجاوز کرده است.

کرباسی و بیاتی (۱۳۸۵)، بر روی ژئوشیمی رسوبات رودخانه سفارود واقع در استان گیلان، مطالعه‌ای انجام دادند و اعلام کردند که تغییرات غلظت عناصر سنگین (مس، کبالت، نیکل، روی، سرب و منگنز) در رسوبات رودخانه از واحدهای زمین‌شناسی منطقه تأثیر می‌گیرد. مقادیر بالای سرب نسبت به غلظت میانگین این عنصر در رسوبات جهانی را به فرسایش واحدهای آهکی منطقه به صورت کربنات مربوط دانستند. میزان مواد آلی و مواد کربناته نقش مهمی در کنترل سرب و کبالت در منطقه داشته‌اند. با توجه به زمین‌شناسی منطقه، منشأ عناصر، واحدهای زمین‌شناسی شامل سنگ آهک، ماسه‌سنگ، توف و بازالت معرفی شدند.

بررسی غلظت فلزات سنگین (کبالت، مس، کادمیوم، سرب، نیکل و روی) در آب رودخانه گذارخوش ایلام توسط کریمی در سال ۱۳۷۴ انجام گردید. نتایج نشان داد که به دلیل جریان داشتن این رودخانه در بستر آهکی و گچی، میزان بالایی از یون‌های کربنات و سولفات به آب رودخانه وارد شده‌اند. این یون‌ها باعث افزایش pH آب رودخانه و در نتیجه رسوب حجم بالایی از فلزات روی، کبالت، نیکل و کادمیوم در

رسوبات شده است. سرب و مس در نتیجه هوازدگی سنگ‌های اطراف و بستر رودخانه به آب وارد شده و تغییرات آنها روند نامنظمی را نشان دادند.

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه بابلرود در مازندران با استفاده از شاخص‌های آلودگی رسوب انجام گردید. محاسبه شاخص ژئوشیمیایی زمین‌انباشت نشان داد که رودخانه توسط کادمیوم تحت تأثیر فعالیت‌های بشرزاد به شدت آلوده شده است و رسوبات نسبت به کبالت و سرب در شرایط غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد. همچنین رسوبات، غنی‌شدگی بالایی را نسبت به کادمیوم نشان دادند (مغزی و همکاران، ۱۳۹۰).

خزایی و همکاران در سال ۱۳۸۹ به مطالعه آلودگی فلزات روی، مس و سرب در آب و رسوب رودخانه زرچوب رشت پرداختند. نتایج نشان داد که به دلیل ورود فاضلاب کارخانه به رود زرچوب و ورود فاضلاب شهری و خانگی در ناحیه پیربازار، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب این رودخانه افزایش یافته است. همچنین محققین اعلام داشتند که غلظت این ۳ فلز در آب برای آبریان رودخانه در محدوده مضر می‌باشد.

وحید دستجردی و همکاران در سال ۱۳۷۹ مطالعه‌ای بر تمرکز فلزات سنگین در مواد معلق رودخانه زاینده‌رود انجام دادند. این محققین به این نتیجه رسیدند که تمرکز تمامی فلزات در بالادست رودخانه نسبت به پایین‌دست در مواد معلق کمتر بوده است. دلیل افزایش میزان آهن و منگنز از بالادست به سمت پایین‌دست، حضور طبیعی این دو فلز در رسوبات کف بستر تعیین گردید.

تغییرات فصلی فلزات سنگین (جیوه، سرب و کروم) در آب رودخانه Gomti در شهر Lucknow توسط لوهانی در سال ۲۰۰۸ بررسی گردید. نمونه‌برداری از ۵ ایستگاه در فصول قبل و بعد از بارندگی انجام گرفت. نتایج نشان داد که تمرکز فلزات در دوره قبل از بارندگی بالاتر از دوره بعد از بارندگی می‌باشد. در

هر دو فصل به ترتیب جیوه، کروم و سرب بیشترین آلودگی را نشان دادند (Lohani et al., 2008).

بررسی آلودگی طبیعی و بشرزاد در رسوبات رودخانه Fratta-Garzone ایتالیا توسط گیوستی و تایلور در سال ۲۰۰۷ صورت گرفت و معلوم گردید که رسوب این رودخانه به طور شدیدی توسط کروم آلوده شده است و میزان این فلز از سطح پتانسیل ایجاد اثرات مضر برای جانوران کفزی فراتر رفته است. همچنین نتایج نشان داد که کروم در رسوب این رودخانه از دو منشأ بشرزاد و زمین‌زاد سرچشمه می‌گیرد، به طوری‌که در ایستگاه واقع در پایین‌دست ورودی پساب صنایع دباغ‌خانه‌ها، افزایش در غلظت این عنصر مشاهده گردید (Giusti and Taylor, 2007).

آلودگی فلزات سنگین در مواد معلق رودخانه Lerma مکزیک توسط اویلاپرز و همکاران در سال ۲۰۰۷ انجام گرفت و مشخص گردید که ذرات معلق آب میزان بالایی از مس، روی و سرب را به دلیل ورود پساب شهری و صنعتی دارا می‌باشند. همچنین آهن و منگنز دارای منشأ طبیعی بوده و بالاترین غلظت را در ذرات معلق نشان دادند (Avila-Perez et al., 2007).

مطالعه بر روی آلودگی فلزات سنگین و توزیع آنها در رسوبات رودخانه Haihe نشان داد که اندازه و جنس رسوبات فاکتور مهمی در توزیع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه می‌باشد. سطوح بالایی از غلظت فلزات سنگین در رسوبات ریزدانه تشکیل شده از اکسید و هیدروکسیدهای سیلیسیم، آهن و آلومنیوم مشاهده شد (Liu et al., 2006).

ویو و همکاران (Wu et al., 2011) به بررسی غلظت چهار فلز کادمیوم، کروم، منگنز و نیکل در رسوبات سطحی رودخانه Daliao در چین پرداختند. محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی در رسوبات این رودخانه، آلودگی متوسط رسوبات نسبت به کادمیوم را نشان داد. بالاترین ریسک اکولوژیکی را عناصر کادمیوم، نیکل، کروم و منگنز دارا می‌باشند.

ارزیابی آلودگی فلزات سرب، روی و مس در رسوبات شمال غربی رودخانه Peninsular واقع در مالزی نشان داد که به دلیل فعالیت‌های بشرزاد و ورود پساب شهری، رسوبات زهکش رودخانه، تمرکز بالاتری از فلزات را نسبت به رسوبات جزرومدی داشته‌اند و همچنین شاخص زمین‌انباشت و فاکتور غنی‌شدگی، آلودگی بالا و غنی‌شدگی بالای سه فلز مذکور را در رسوبات مشخص نمودند. با توجه به غلظت این فلزات در رسوبات، اثرات مضر بیولوژیکی برای آبزیان این رودخانه قابل انتظار می‌باشد (Yap and Pang, 2011).

مطالعه‌ای بر روی رسوبات رودخانه Grande در مکزیک انجام گردید. با محاسبه شاخص زمین‌انباشت معلوم گردید که رسوبات رودخانه به آهن و روی غیرآلوده و به آرسنیک آلوده می‌باشد. تمرکز آرسنیک با توجه به راهنمای کیفیت رسوب (SQGs) در تمامی ایستگاه‌های واقع در دریاچه از مقدار PEL یا سطح احتمالی تأثیر تجاوز کرده و از یک منبع طبیعی سرچشمه گرفته است (Villalobos-Castañeda et al., 2010).

دالی و ایشگا (Dalai and Ishiga, 2013) با انجام آنالیز بر روی رسوبات رودخانه Tuul در مغولستان به این نتیجه رسیدند که قسمت میانی رودخانه در اثر فعالیت‌های شهرنشینی، غنی‌شدگی بالایی را به آرسنیک، سرب، روی، مس، نیکل و وانادیم را نشان می‌دهد. محاسبه همبستگی بین فلزات نشان داد که اکسید آهن نقش مهمی در فراوانی و توزیع این فلزات در رسوبات را ایفا می‌کند. با ارزیابی کیفیت رسوبات با توجه به راهنمای کیفیت رسوب (SQGs) معلوم گردید که آرسنیک و کروم موجود در رسوبات باعث ایجاد اثرات مضر زیستی می‌گردد. مقادیر غلظت سرب، مس، روی و نیکل در قسمت میانی به مرز PEL (سطح احتمالی تأثیر) می‌رسد.

فیلگیوراس و همکاران (Filgueiras et al., 2004) با ارزیابی توزیع و رفتار تحرک فلزات سنگین در رسوبات رودخانه Louro واقع در اسپانیا اعلام کردند که مواد آلی عامل مهمی در کنترل غلظت دو فلز مس و سرب و اکسیدهای آهن فاز مهم برای تجمع کادمیوم در رسوبات می‌باشند.

۳-۴- مطالعات پیشین انجام شده در منطقه مورد مطالعه

مطالعاتی که تاکنون در منطقه مورد مطالعه انجام شده است به شرح زیر می‌باشد:

- ۱) نقشه زمین شناسی ورقه دامغان توسط علوی و صالحی‌راد در سال ۱۳۴۴ تهیه گردید.
- ۲) قاسمی و جمشیدی (۱۳۹۰) تحقیقی بر روی ژئوشیمی، سنگ‌شناسی و الگوی تکنوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگ‌های بازی قلیایی در قاعده سازند شمشک در منطقه انجام دادند. براساس این تحقیق مشخص گردید که سنگ‌های بازالتی در مرز بین سازند کربناته الیکا و سازند تخریبی شمشک از نوع روانه‌های بازالتی می‌باشد و حضور مقدار بالایی P و Ti بیانگر سرشت قلیایی ماگمایی سازنده این سنگ‌ها است. سنگ‌نگاری نمونه‌های چشمه‌علی نشان داد، این نمونه‌ها حاوی فنوکریست‌های الیوین و پلاژیوکلاز و دارای بافت پورفیری و گلومروپورفیری می‌باشند و در نامگذاری، نام آن‌ها الیوین بازالت تعیین گردید.
- ۳) کرمی (۱۳۸۳) مطالعه‌ای بر روی هیدروژئولوژی و هیدروشیمی چشمه‌علی (محل مظهر چشمه) انجام داد. براساس نسبت غلظت کلسیم به منیزیم موجود در آب چشمه مشخص می‌شود که چشمه از نوع کارستی می‌باشد. همچنین با اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی آب خروجی از چشمه و خصوصیات ساختاری چشمه معلوم گردید که سیستم چشمه از نوع افشان است. اندازه‌گیری سختی آب نشان داد که آب چشمه سخت می‌باشد. براساس نمودار طبقه‌بندی کیفیت آب، آب چشمه در کلاس $C_2 S_1$ (خطر سدیم کم و خطر شوری متوسط) قرار می‌گیرد. میانگین کل مواد جامد محلول در آب $472/88$ میلی‌گرم در لیتر تخمین زده شد. براساس اندازه‌گیری pH، آب چشمه در محدوده قلیایی قرار می‌گیرد و دارای میانگین $7/56$ می‌باشد.
- ۴) مطالعات منابع آب زیرزمینی دشت دامغان توسط اداره آب منطقه‌ای استان سمنان در سال ۱۳۸۷ انجام شد و اطلاعات آب‌شناسی و زمین‌شناسی دشت ارائه گردید. در این گزارش ویژگی‌های

زمین‌شناسی منطقه به طور کامل توضیح داده شد. همچنین وضعیت هیدرولوژی منطقه و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری در این گزارش آورده شد. همچنین دبی رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های آن توسط ایستگاه‌های هیدرومتری تخمین زده شد.

(۵) رضایی توابع و همکارانش (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به بررسی هیدروبیولوژی و تعیین وضعیت ساپروبی رودخانه چشمه‌علی پرداختند. در این مطالعه از ۷ ایستگاه در امتداد رودخانه چشمه‌علی نمونه‌برداری صورت گرفت. بر طبق نتایج این تحقیق مشخص گردید که آب رودخانه چشمه‌علی در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارد و آلودگی از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست رودخانه افزایش پیدا می‌کند.

(۶) شکری (۱۳۹۰) با استفاده از GIS و RS به بررسی هیدروژئولوژی حوضه آبریز چشمه‌علی پرداخت. براساس این تحقیق مشخص گردید که سازند شمشک یکی از مرزهای محدودکننده حوضه آبریز چشمه‌علی باشد. برآورد و تعیین مساحت حوضه آبریز چشمه‌علی به روش بیلان هیدروژئولوژیکی و پارامترهای زمین‌شناسی نشان داد شکل حوضه باریک و کشیده است. گسل چشمه‌علی نسبت به آب زیرزمینی نفوذناپذیر بوده و به عنوان یک سد آب‌بند عمل می‌کند. محاسبه شاخص کارست شدگی شکستگی‌ها در چند ایستگاه چشمه‌علی نشان‌دهنده رده خیلی کارستی شدن این شکستگی‌ها می‌باشد و بیشترین درصد مساحت حوضه آبریز این چشمه، نواحی با توسعه کارست متوسط را تشکیل داده است.

شایان ذکر می‌باشد که تاکنون مطالعه‌ای به منظور ارزیابی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه چشمه‌علی انجام نگرفته است.

مواد و روشها

۴-۱- مقدمه

در تحقیقات زیست محیطی به کارگیری روش‌های استاندارد و معتبر یکی از الزامات تحقیق محسوب می‌گردد و موجب حصول مجموعه‌ای از داده‌های کامل و صحیح می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه چشمه‌علی پس از انجام مطالعات اولیه و بررسی نقشه‌های منطقه، ایستگاه‌های نمونه‌برداری تعیین شد و نمونه‌برداری آب و رسوب در پایان فصل خشک انجام گرفت. پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌های آب و رسوب آنالیزهای شیمیایی جهت تعیین غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی صورت گرفت. جهت ارزیابی میزان آلودگی رسوبات از شاخص‌های ژئوشیمیایی و برای مشخص نمودن روابط بین داده‌های بدست آمده طی فرآیند آنالیز، از روابط آماری استفاده شد. در این فصل روش‌های به کار برده شده در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های رسوب و آب و شاخص‌های ژئوشیمیایی و روابط آماری استفاده شده به اختصار بیان گردیده است.

۴-۲- تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری

پس از انجام بررسی‌های اولیه منطقه مورد مطالعه و حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی و با توجه به نقشه زمین‌شناسی، توپوگرافی و عکس‌های ماهواره‌ای و همچنین با در نظر داشتن کاربری اراضی و سرشاخه‌های ورودی به رودخانه، ۲۴ ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه تعیین گردید. نمونه‌های آب و رسوب از ۱۹ ایستگاه در طول رودخانه چشمه‌علی از مظهر چشمه‌علی تا محل ورودی سد و ۴ ایستگاه در سرشاخه دامغانرود و یک نمونه رسوب از سرشاخه آستانه برداشت شد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محل با استفاده از دستگاه GPS تعیین گردید. مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول (۴-۱) و شکل (۴-۱) آورده شده است.

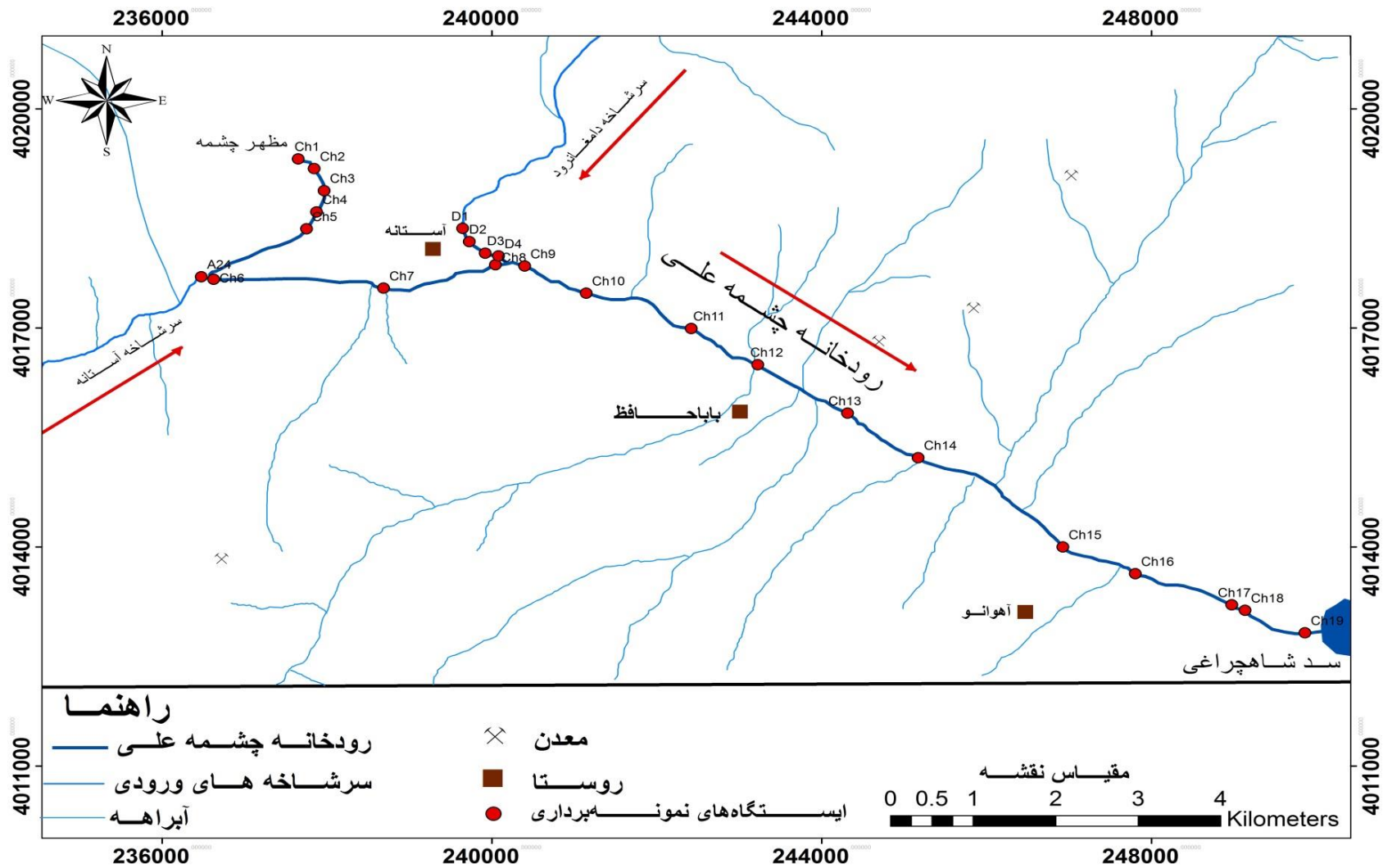
جدول (۴-۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب و رسوب در منطقه مورد مطالعه

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
Ch1	مظهر چشمه	N 36° 16' 45"	E 54° 04' 59"
Ch2	حوضچه چشمه	N 36° 16' 45"	E 54° 04' 54"
Ch3	پایین دست حوضچه	N 36° 16' 41"	E 54° 05' 04"
Ch4	بالادست زمین کشاورزی	N 36° 16' 35"	E 54° 05' 05"
Ch5	زمین کشاورزی	N 36° 16' 25"	E 54° 05' 02"
Ch6	پایین دست زمین کشاورزی	N 36° 16' 03"	E 54° 04' 03"
Ch7	بالادست روستای آستانه	N 36° 16' 01"	E 54° 05' 29"
Ch8	پایین دست روستا آستانه	N 36° 16' 15"	E 54° 06' 36"
Ch9	محل تلاقی سرشاخه چشمه‌علی و دامغانرود	N 36° 16' 15"	E 54° 06' 37"
Ch10	معدن تراورتن و زمین کشاورزی	N 36° 16' 01"	E 54° 07' 05"
Ch11	پایین دست معدن تراورتن	N 36° 15' 47"	E 54° 07' 58"
Ch12	پایین دست زمین کشاورزی	N 36° 15' 31"	E 54° 08' 25"
Ch13	کارخانه ماسه‌شوئی و پایین دست روستای باباحافظ	N 36° 15' 08"	E 54° 09' 11"
Ch14	بالادست روستای آهوانو	N 36° 14' 52"	E 54° 09' 50"
Ch15	روستای آهوانو	N 36° 14' 13"	E 54° 11' 01"
Ch16	پایین دست روستای آهوانو	N 36° 14' 03"	E 54° 11' 38"
Ch17	به فاصله ۱ کیلومتر پایین تر از ایستگاه ۱۶ و بالادست پل	N 36° 13' 50"	E 54° 12' 24"
Ch18	زیر پل	N 36° 13' 48"	E 54° 12' 30"
Ch19	ورودی سد شاهچراغی	N 36° 13' 32"	E 54° 12' 59"
D1	پایین دست روستای آستانه	N 36° 16' 32"	E 54° 06' 02"
D2	۵۰۰ متر پایین تر از ایستگاه D1	N 36° 16' 26"	E 54° 06' 08"
D3	یک کیلومتر پایین تر از ایستگاه D2	N 36° 16' 21"	E 54° 06' 32"
D4	بالادست محل تلاقی رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود	N 36° 16' 15"	E 54° 06' 36"
A24	سرشاخه آستانه در بالادست محل تلاقی رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه آستانه	N 36° 16' 00"	E 54° 04' 43"

Ch: رودخانه چشمه‌علی

D: سرشاخه دامغانرود

A: سرشاخه آستانه



شکل (۴-۱): ایستگاه های نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۱- ایستگاه اول

این ایستگاه در دهانه خروجی چشمه واقع شده است و از چشمه کارستی سرچشمه می‌گیرد. منبع اصلی تغذیه کننده این چشمه سازند لار می‌باشد.



شکل (۴-۲): ایستگاه اول، مظهر چشمه، دید از جنوب غرب

۴-۲-۲- ایستگاه دوم

نمونه آب و رسوب این ایستگاه از وسط حوضچه شمالی برداشت شد. این ایستگاه تحت تأثیر فعالیت‌های گردشگری می‌باشد.



شکل (۴-۳): ایستگاه دوم، حوضچه شمالی چشمه، دید از شمال غرب

۴-۲-۳- ایستگاه سوم

این ایستگاه در محل خروجی آب از حوضچه جنوبی واقع شده است.



شکل (۴-۴): ایستگاه سوم، محل خروجی آب از حوضچه، دید از جنوب غرب

۴-۲-۴- ایستگاه چهارم

ایستگاه چهارم با فاصله تقریبی ۸۰۰ متر پایین دست ایستگاه سوم قرار دارد و بالادست باغات می باشد.

این ایستگاه از لحاظ زمین شناسی تحت تأثیر آهک های کرتاسه، سازند لار و رسوبات کواترنری می باشد.



شکل (۴-۵): ایستگاه چهارم، بالادست باغات و مزارع کشاورزی، دید از جنوب غرب

۴-۲-۵- ایستگاه پنجم

این ایستگاه ما بین باغات واقع شده است، به گونه‌ای که مواد و لجن از تپه‌های اطراف به درون رودخانه وارد می‌شود. رودخانه در این قسمت عریض شده و جریان رودخانه آرام می‌باشد.



شکل (۴-۶): ایستگاه پنجم، بین مزارع و باغات، دید از جنوب غرب

۴-۲-۶- ایستگاه ششم

ایستگاه ششم در پایین دست زمین‌های کشاورزی و سرشاخه آستانه قرار دارد. این ایستگاه پایین دست محل تلاقی رودخانه آستانه و چشمه‌علی واقع شده است و جریان رودخانه در این قسمت شدیدتر می‌گردد.



شکل (۴-۷): ایستگاه ششم، پایین دست زمین‌های کشاورزی و سرشاخه آستانه، دید از شرق

۴-۲-۷- ایستگاه هفتم

این ایستگاه قبل از روستای آستانه انتخاب گردید و باغات و درختان در بالادست این ایستگاه تراکم دارند. از نظر زمین‌شناسی سازندهای شمشک، لار و الیکا و رسوبات کواترنری بر کیفیت آب و رسوب در این ایستگاه تأثیرگذار می‌باشند.



شکل (۴-۸): ایستگاه هفتم، بالادست روستای آستانه و باغات، دید از شمال

۴-۲-۸- ایستگاه هشتم

در مسیر رودخانه چشمه‌علی بعد از روستای آستانه قرار دارد. در بالادست این ایستگاه باغات کشاورزی زیادی وجود دارند و تحت تأثیر فاضلاب روستای آستانه است. این ایستگاه از لحاظ لیتولوژیکی تحت تأثیر سازند شمشک، الیکا و لار می‌باشد.



شکل (۴-۹): ایستگاه هشتم، پایین دست روستای آستانه، دید از جنوب شرق

۴-۲-۹- ایستگاه نهم

در این محل رودخانه دامغانرود به رودخانه چشمه‌علی ملحق گشته است این ایستگاه ۲۰۰ متر پایین‌تر از محل اختلاط در نظر گرفته شد. این ایستگاه در حاشیه رودخانه زمین کشاورزی مشاهده نمی‌شود. این قسمت از رودخانه فاصله خیلی کمی از جاده چشمه‌علی- دامغان دارد.



شکل (۴-۱۰): الف: ایستگاه نهم، محل تلاقی سرشاخه دامغانرود و چشمه‌علی، دید از جنوب شرق

۴-۲-۱۰- ایستگاه دهم

این ایستگاه در مجاورت معدن تراروتن قرار دارد. در حاشیه رودخانه زمین کشاورزی گوجه فرنگی مشاهده می‌گردد. از نظر زمین‌شناسی تحت تأثیر سازند الیکا، لار و شمشک می‌باشد.



شکل (۴-۱۱): ایستگاه دهم، دید از شمال شرق

۴-۲-۱۱- ایستگاه یازدهم

این ایستگاه در میان باغات و زمین‌های کشاورزی واقع شده است و پایین دست معدن تراورتن می‌باشد. این قسمت از رودخانه در فاصله دورتری نسبت به جاده چشمه‌علی قرار گرفته است.

۴-۲-۱۲- ایستگاه دوازدهم

این ایستگاه در پایین دست جاده فرعی عبورکننده از میان رودخانه قرار دارد. زمین کشاورزی در اطراف این ایستگاه مشاهده نمی‌شود. از لحاظ لیتولوژیکی تحت تأثیر سازند شمشک، الیکا و رسوبات کواترنری می‌باشد.



شکل (۴-۱۲): ایستگاه دوازدهم، پایین دست جاده عبوری از میان رودخانه، دید از شمال شرق

۴-۲-۱۳- ایستگاه سیزدهم

این ایستگاه در مجاور شرکت ماسه‌شوئی واقع در مسیر جاده چشمه‌علی به دامغان و پایین دست روستای باباحافظ انتخاب گردید. از لحاظ لیتولوژیکی تحت تأثیر سازند کرج، شمشک و رسوبات کواترنری می‌باشد. در این ایستگاه آب کمی گل آلودتر می‌باشد.



شکل (۴-۱۳): الف: ایستگاه سیزدهم، دید از شمال غرب ب: شرکت ماسه شوئی واقع در مسیر رودخانه، دید از جنوب غرب

۴-۲-۱۴- ایستگاه چهاردهم

این ایستگاه در بالادست روستای آهوانو تعیین شد. از نظر زمین شناسی تحت تأثیر سازند کرج، شمشک و رسوبات قدیمی کواترنری می باشد.



شکل (۴-۱۴): ایستگاه چهاردهم، بالادست روستای آهوانو و مزارع و باغات کشاورزی، دید از شمال غرب

۴-۲-۱۵- ایستگاه پانزدهم

این ایستگاه تحت تأثیر فاضلاب روستای آهوانو، باغات، فعالیت های کشاورزی (گوجه فرنگی، کدو) قرار دارد. سازندهای کرج، لار، شمشک رسوبات قدیمی کواترنری تأثیرگذار بر آب و رسوب رودخانه در این ایستگاه می باشند.



شکل (۴-۱۵): ایستگاه پانزدهم، روستای آهوانو، الف: دید از شمال غرب ب: دید از جنوب شرق

۴-۲-۱۶- ایستگاه شانزدهم

پایین دست روستای آهوانو قرار دارد. زمین‌های کشاورزی کدو، گوجه فرنگی و ذرت در این ایستگاه رونق دارد. رودخانه از نظر زمین‌شناسی تحت تأثیر سازند کرج، لار، رسوبات نئوژن و رسوبات آبرفتی قدیمی کواترنری می‌باشد.

۴-۲-۱۷- ایستگاه هفدهم

این ایستگاه در مسیر رودخانه چشمه‌علی ۲۰۰ متر قبل از پل واقع شده بر رودخانه انتخاب شد. در این منطقه فعالیت کشاورزی وجود نداشت.

۴-۲-۱۸- ایستگاه هجدهم

این ایستگاه زیر پل تعیین شد. این پل محل تردد وسایل نقلیه می‌باشد و آب رودخانه تحت تأثیر عوارض حاصل از حمل و نقل جاده‌ای می‌باشد.

۴-۲-۱۹- ایستگاه نوزدهم

ایستگاه نوزدهم، ایستگاه نهایی از رودخانه چشمه‌علی می‌باشد و در محل ورودی سد شاهچراغی واقع شده است. از لحاظ زمین‌شناسی تحت تأثیر سازند کرج و رسوبات کواترنری می‌باشد. این قسمت از رودخانه

تحت تأثیر فعالیت های تفریحی و باغات بالادست نیز می باشد.



شکل (۴-۱۶): ایستگاه هیجدهم، زیر پل، دید از شمال شرق



شکل (۴-۱۷): محل ورودی سد، ایستگاه نوزدهم، دید از جنوب شرق

۴-۳- نمونه برداری و آماده سازی نمونه های آب و رسوب

پس از انجام مشاهدات صحرائی و تعیین ایستگاه های نمونه برداری، در اواخر آبان ماه سال ۱۳۹۱ (در پایان فصل خشک) نمونه برداری از آب و رسوبات سطحی رودخانه چشمه علی انجام گرفت و نمونه ها جهت انجام آنالیزهای مختلف آماده سازی گردیدند.

۴-۳-۱- نمونه های آب

نمونه های آب از ۲۳ ایستگاه در مسیر رودخانه چشمه علی و دامغانرود برداشت شدند. به منظور ارزیابی

صحيح کیفیت آب در هر ایستگاه، نمونه‌برداری از ۳ محل در هر مقطع عرضی رودخانه (حاشیه‌ها و مرکز) صورت گرفت. برای برداشت نمونه‌های آب، بطری ۳ بار با آب مورد نظر شستشو داده شد و سپس درب بطری را در زیر آب باز نموده و پس از پر شدن درب بطری زیر آب بسته گردید. در هر ایستگاه ۳ قسمت (حاشیه‌ها و مرکز) در عرض رودخانه این کار انجام شد و سرانجام نمونه‌های بدست آمده، با هم مخلوط گردید. نمونه ترکیبی و شاخص هر ایستگاه با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری فیلتر شد و در دو بطری مجزا ریخته شد. بطری‌ها در محل نمونه‌برداری شماره‌گذاری شدند. بطری بدون اسید برای آنالیز آنیون و کاتیون استفاده گردید. بطری دیگر حاوی نمونه آب برداشت شده برای آنالیز فلزات سنگین، به منظور پایدارسازی فلزات و جلوگیری از واکنش‌های شیمیایی با اسید نیتریک غلیظ به pH معادل ۳ رسانده شد.

۴-۳-۲- نمونه‌های رسوب

نمونه‌برداری با یک بیلچه پلاستیکی برای جلوگیری از ایجاد آلودگی فلزی از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری رسوبات کف بستر رودخانه در ۲۴ ایستگاه انجام گرفت. نمونه‌های رسوب هر ایستگاه برداشت شده از ۳ قسمت در هر مقطع عرضی از رودخانه (حاشیه‌ها و مرکز) با یکدیگر مخلوط شدند و نمونه ترکیبی و شاخص هر ایستگاه، در کیسه‌های زیپ‌دار پلاستیکی تمیز ریخته و کدگذاری شد و به آزمایشگاه زیست محیطی دانشگاه شاهرود منتقل گردید. نمونه‌ها در آزمایشگاه در هوای اتاق خشک و برای انجام آنالیز آماده گردید.

۴-۴- دانه‌بندی رسوب

برای انجام دانه‌بندی ابتدا کل رسوب برداشت شده از هر ایستگاه درون بشقاب‌های پلاستیکی در هوای اتاق خشک شد. سپس نمونه‌ی هر ایستگاه به شکل مخروط در آورده شد و به چهار قسمت مساوی تقسیم گردید. یک قسمت از این مخروط جهت انجام عملیات دانه‌بندی برداشت شد. ابتدا کلوخه‌های

ایجاد شده در یک هاون به آرامی کوبیده شد. ضربات هاون باید به آهستگی صورت بگیرد تا اندازه اولیه دانه‌ها تغییری نکند. رسوبات منفصل شده بر روی الک‌های مرتب شده براساس روش فولک ریخته شد و روی دستگاه لرزاننده به مدت ۱۵ دقیقه تکان داده شد. سپس رسوب باقی‌مانده بر روی هر الک با ترازو وزن گردید. با محاسبه درصد گراول، ماسه و گل و با استفاده از مثلث نام‌گذاری فولک ۱۹۵۴، بافت رسوبات در هر ایستگاه تعیین و نامگذاری گردید (Folk, 1954).

pH -۵-۴

pH -۱-۵-۴ آب

اندازه‌گیری pH آب در محل نمونه‌برداری و همزمان با برداشت آب از هر ایستگاه با استفاده از دستگاه pH متر مدل Jenway 3510 با دقت ۰/۰۱ صورت گرفت.

pH رسوب -۱-۵-۴

به منظور تعیین pH رسوب از روش استاندارد (EPA SW-846 METOD 9045) با نسبت ۱ به ۱ آب به رسوب استفاده شد. در این روش، ۲۰ گرم رسوب رد شده از الک شماره ۱۰، با ترازوی حساس وزن گردید و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه بر روی همزن قرار گرفت. سپس نمونه مورد نظر به مدت ۱ ساعت بدون حرکت قرار داده شد. بعد از گذشت یک ساعت، pH نمونه توسط دستگاه pH متر مدل Jenway 3510 با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری گردید (USEPA, 2006).

EC -۶-۴

EC -۱-۶-۴ آب

EC نمونه‌های آب در زمان نمونه‌برداری در محل با استفاده از دستگاه EC متر مدل Jenway 3510 با

دقت ۰/۰۱ میکروموس بر سانتی متر تعیین گردید.

۴-۶-۲- EC رسوب

برای تعیین EC رسوب، مقدار ۱۰ گرم رسوب رد شده از الک شماره ۱۰، با ترازو حساس وزن شد و به بشر ۲۵۰ میلی لیتری منتقل گردید. مقدار ۵۰ میلی لیتر آب مقطر بر روی رسوب داخل بشر ریخته شد و برای بدست آوردن محلول صاف و یکدست بشر به مدت یک ساعت روی همزن قرار گرفت. سپس با استفاده از دستگاه EC متر مدل Jenway 3510 مقدار EC محلول با دقت ۰/۰۱ میکروموس بر سانتی متر اندازه گیری شد (USEPA, 2006).

۴-۷- مواد آلی رسوب

میزان مواد آلی رسوب با استفاده از روش استاندارد APHA, 1995, Standard method 209f تعیین شد. در این روش ۵ گرم از رسوب رد شده از الک شماره ۱۰ با تراوی حساس وزن شد و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. نمونه بعد از سرد شدن دوباره در آون وزن و اختلاف وزن یادداشت گردید. این بار نمونه درون کوره به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد و بعد از زمان مورد نظر نمونه ها دوباره وزن شدند. درصد ماده آلی با استفاده از رابطه ۴-۱ محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۴-۱:} \quad \text{درصد ماده آلی} = \frac{\text{وزن رسوب } 550^{\circ} - \text{وزن رسوب } 105^{\circ}}{\text{وزن رسوب } 105^{\circ}} \times 100$$

۴-۸- کربنات کلسیم رسوب

جهت تعیین درصد کربنات کلسیم روش Carver (۱۹۷۱) به کار برده شد. در این روش ۵ گرم رسوب رد شده از الک شماره ۱۰، با ترازو وزن شد و درون بوته چینی ریخته شد. به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد و سپس وزن گردید. در ادامه رسوب مجدداً در کوره با دمای ۹۰۰ درجه

سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. البته ۲ تا ۳ ساعت برای رسیدن دمای کوره به ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد زمان نیاز می‌باشد. درصد کربنات کلسیم با استفاده از رابطه ۴-۲ محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۴-۲:} \quad \text{درصد کربنات کلسیم} = \frac{\text{وزن رسوب } 900^{\circ} - \text{وزن رسوب } 550^{\circ}}{\text{وزن رسوب } 550^{\circ}} \times 100$$

۴-۹- غلظت فلزات سنگین

۴-۹-۱- نمونه‌های آب

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (مس، روی، کروم، نیکل، آهن، سرب و کادمیوم) در ۲۳ نمونه آب، با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (AA240PS) در آزمایشگاه سازمان حفاظت محیط زیست سمنان انجام گرفت.

۴-۹-۲- نمونه‌های رسوب

برای تعیین غلظت فلزات سنگین (مس، روی، کروم، نیکل، آهن، سرب و کادمیوم) در ۲۴ نمونه رسوب، ابتدا ۲۰ گرم رسوب رد شده از الک شماره ۱۰ مربوط به هر نمونه در هاون عقیق ساییده شد و از الک ۲۳۰ مش عبور داده شد. نمونه‌های رسوب با استفاده از تیزاب سلطانی هضم گردید. روش هضم اسیدی (Environment Canada, 1990) انجام شده به شرح زیر می‌باشد:

- یک گرم رسوب رد شده از الک ۲۳۰ مش با ترازوی حساس وزن گردید و داخل بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد.
- ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱۶ نرمال در طی زمان ۵ دقیقه به آرامی به آن اضافه شد.
- بعد از اتمام جوشش در بشر، ۴۰ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد به محلول درون بشر اضافه گردید.
- بشر به مدت ۱ ساعت بر روی صفحه داغ قرار گرفت تا زمانیکه محلول به جوشش بیاید.

- زمانیکه جوشش محلول متوقف گردید، بشر از روی صفحه داغ برداشته و به آن زمان داده شد تا سرد شود. سپس ۲۰۰ میلی لیتر تیزاب سلطانی ($200 \text{ mL HCl} + 750 \text{ mL HNO}_3 + 750 \text{ mL H}_2\text{O}$) (۵۰ به بشر اضافه شد.
- مخلوط رسوب و تیزاب سلطانی به مدت ۱ شب به حال خود گذاشته شد.
- سپس محلول با صافی ۰/۴۵ میکرومتری فیلتر شد.
- محلول فیلتر شده درون بالون ژوزه به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر ریخته شد و با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانیده شد.
- آنالیز و تعیین غلظت فلزات سنگین در محلول بدست آمده با استفاده از دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه سازمان حفاظت محیط زیست سمنان انجام شد.

۴-۱۰- آنالیز آنیون ها و کاتیون ها

برای اندازه گیری آنیون و کاتیون های موجود در آب، نمونه ها به آزمایشگاه سازمان حفاظت محیط زیست سمنان ارسال شدند. کاتیون های پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم و آنیون های فسفات، نیترات، کلر، بی کربنات، سولفات اندازه گیری گردیدند.

۴-۱۱- استفاده از تکنیک های آماری و شاخص های ژئوشیمیایی

پس از انجام آنالیزها و بدست آوردن داده ها، به منظور تجزیه و تحلیل نتایج، تعیین و تفکیک منابع آلودگی بشرزاد و زمین زاد از یکدیگر و بدست آوردن درجه و میزان آلودگی رسوبات از تکنیک آماری و محاسبه شاخص های زیست محیطی ژئوشیمیایی مختلف استفاده گردید. این شاخص ها و تکنیک های آماری به شرح زیر می باشند:

✓ شاخص زمین انباشت (Geoaccumulation Index)

- ✓ فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor)
- ✓ فاکتور آلودگی (Contamination Factor)
- ✓ درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Contamination Degree)
- ✓ فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk Factor)
- ✓ شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk Index)
- ✓ شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index)
- ✓ آنالیز مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis)
- ✓ ضریب همبستگی (Correlation Analysis)

۴-۱۲- نرم افزارهای مورد استفاده

جهت ترسیم گرافها، نقشه‌های توزیع عناصر، محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی ذکر شده و انجام محاسبات آماری، در تحقیق حاضر از نرم افزارهای ArcGIS، Chemistry، SPSS، Excel، Phreeqc و AqQA استفاده گردید.

بررسی کیفیت آب و رسوب منطقه

۵-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی کیفیت آب و رسوبات بستر رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن پرداخته شده و تأثیر سازندهای حاشیه رودخانه و منابع بشرزاد (کشاورزی و فاضلاب خانگی) بر آن ارزیابی گردیده است. در ابتدا غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آب رودخانه بررسی و با استفاده از نرم افزارهای هیدروشیمی، تیپ آب، کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و آشامیدنی تعیین شده است. با محاسبه همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و عناصر موجود در رسوب، روابط ژئوشیمیایی بین آنها مشخص گردیده است. سپس با استفاده از نرم افزار GIS توزیع و تغییرات عناصر در آب و رسوب ترسیم شد و منشأ احتمالی زمین‌زاد و بشرزاد بودن عناصر در آب و رسوب مشخص گردید. غلظت عناصر در آب با استاندارد آب آشامیدنی مقایسه شد و آلودگی آب تعیین گردید. در نهایت با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی، میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات بررسی و میزان ریسک اکولوژیکی آنها برای موجودات زنده در محیط زیست آبی محاسبه گردید.

۵-۲- بررسی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات

در جدول ۵-۱ مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها و مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب منطقه آورده شده است. همچنین جدول ۵-۲ مقادیر برخی خصوصیات رسوب‌شناسی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در رسوبات منطقه را نشان می‌دهد.

۵-۳- تغییرات pH و EC در آب و رسوب

۵-۳-۱- تغییرات pH

سیستم کربنات-کربنیک اسید در بیشتر آب‌های طبیعی عامل کنترل‌کننده pH می‌باشد (Eby, 2004).

تغییرات pH نقش مهمی در انحلال فلزات بازی می‌کند (Atkinson et al., 2007).

جدول (۵-۱): غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب

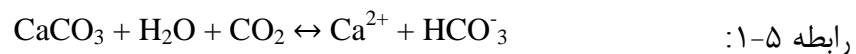
Stations	TH (mg/L as CaCO ₃)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (μS/cm)	pH
Ch1	۲۰۹	۰/۲۲۰	۰/۰۳	۳۰	۳۲/۰	۱۹۸/۸۶	<۰/۰۱	۳۳/۱۱	۶/۹۶	۷۲/۰	۳۳۵	۴۹۳	۷/۸۲
Ch2	۱۸۸	۰/۱۷۵	۰/۰۷	۳۱	۳۵/۵	۲۰۱/۳۰	<۰/۰۱	۳۳/۰۱	۶/۷۲	۶۴/۰	۳۴۳	۵۱۴	۷/۸۶
Ch3	۲۱۹	۰/۲۶۴	۰/۱۰	۳۵	۴۰/۰	۲۱۴/۷۲	<۰/۰۱	۵۳/۰۱	۸/۴۰	۷۳/۶	۴۳۸	۶۶۰	۷/۹۲
Ch4	۲۱۰	۰/۳۹۶	۰/۱۰	۴۴	۴۸/۰	۲۰۱/۳۰	<۰/۰۱	۵۴/۰۱	۸/۱۶	۷۰/۴	۴۲۸	۶۵۰	۸/۱۵
Ch5	۲۲۵	۳/۰۳۶	۰/۳۹	۴۶	۴۰/۰	۲۱۴/۱۱	<۰/۰۱	۵۴/۲۱	۱۲/۷۲	۶۸/۸	۴۳۶	۶۵۵	۸/۲۵
Ch6	۲۲۵	۱/۶۷۲	۰/۲۰	۴۷	۳۸/۰	۲۱۸/۳۸	<۰/۰۱	۵۴/۸۱	۱۵/۶۰	۶۴/۰	۴۳۷	۶۵۵	۸/۴۹
Ch7	۲۳۰	۱/۰۱۲	۰/۲۳	۴۷	۴۰/۰	۲۳۷/۲۹	<۰/۰۱	۵۶/۱۱	۱۳/۹۲	۶۸/۸	۴۲۹	۶۵۶	۸/۳۵
Ch8	۲۳۵	۰/۷۴۸	۰/۲۷	۵۳	۳۸/۰	۲۴۵/۲۲	<۰/۰۱	۵۹/۸۱	۱۶/۰۸	۶۷/۲	۴۳۷	۶۵۰	۸/۵۷
Ch9	۲۷۰	۰/۶۶۱	۰/۳۲	۷۴	۴۲/۰	۲۵۰/۱۰	<۰/۰۱	۶۷/۲۱	۲۱/۶۰	۷۲/۰	۵۱۳	۷۴۰	۸/۶۰
Ch10	۲۶۰	۰/۳۹۶	۰/۲۹	۶۷	۳۸/۰	۲۶۴/۷۴	<۰/۰۱	۶۳/۴۱	۱۶/۳۲	۷۶/۸	۴۹۱	۷۳۶	۸/۷۱
Ch11	۲۴۵	۰/۳۰۸	۰/۱۵	۶۰	۴۲/۰	۲۶۴/۱۳	<۰/۰۱	۶۵/۴۱	۱۲/۷۲	۷۶/۸	۴۶۵	۶۸۰	۸/۱۹
Ch12	۲۵۰	۰/۹۶۸	۰/۱۶	۶۲	۴۰/۰	۲۵۷/۴۲	<۰/۰۱	۶۶/۲۱	۹/۱۲	۸۴/۸	۵۵۷	۸۳۵	۸/۷۳
Ch13	۲۵۰	۱/۴۷۴	۰/۱۶	۶۵	۴۲/۰	۲۶۲/۳۰	<۰/۰۱	۶۵/۶۱	۱۸/۷۲	۶۸/۸	۴۹۱	۷۳۵	۸/۷۳
Ch14	۲۳۰	۱/۳۶۴	۰/۲۳	۶۶	۳۸/۰	۲۵۰/۱۰	<۰/۰۱	۶۵/۱۱	۱۴/۸۸	۶۷/۲	۴۷۹	۷۱۳	۸/۷۶
Ch15	۲۶۰	۱/۴۷۴	۰/۲۷	۸۴	۴۸/۰	۲۵۶/۲۰	<۰/۰۱	۷۴/۲۱	۱۵/۳۶	۷۸/۴	۵۸۴	۸۷۱	۸/۵۲
Ch16	۲۶۰	۱/۵۴۰	۰/۲۳	۸۲	۵۹/۰	۲۵۶/۲۰	<۰/۰۱	۷۶/۱۱	۱۸/۲۴	۷۳/۶	۵۶۱	۸۳۵	۸/۶۷
Ch17	۲۶۰	۱/۹۸۰	۰/۱۳	۸۸	۵۷/۰	۲۵۰/۱۰	<۰/۰۱	۷۶/۷۱	۱۷/۲۸	۷۵/۲	۵۶۱	۸۳۵	۸/۶۴
Ch18	۲۵۰	۰/۷۰۴	۰/۱۲	۸۶	۵۸/۰	۲۳۷/۹۰	<۰/۰۱	۷۷/۷۱	۱۴/۸۸	۷۵/۲	۷۰۵	۱۰۳۸	۸/۹۶
Ch19	۲۷۵	۰/۳۰۸	۰/۱۰	۹۵	۶۱/۰	۲۶۲/۶۰	<۰/۰۱	۷۸/۰۱	۱۹/۹۲	۷۶/۸	۵۹۰	۸۸۵	۸/۸۵
Mean Ch	۲۳۹/۵۲	۰/۹۸	۰/۱۸	۶۱/۱۵	۴۴/۰۲	۲۳۹/۰۸	<۰/۰۱	۶۱/۷۸	۱۴/۰۸	۷۲/۳	۴۸۹/۴	۷۲۸/۲	۸/۴۶
D1	۳۵۰	۰/۳۰۸	۰/۱۱	۷۵	۶۸/۰	۲۸۰/۶۰	<۰/۰۱	۱۰۲/۳۱	۱۲/۴۸	۱۱۹/۲	۷۹۱	۱۱۸۳	۸/۵۰
D2	۳۲۰	۰/۴۸۴	۰/۱۴	۹۱	۵۵/۰	۲۹۰/۳۶	<۰/۰۱	۸۰/۶۱	۱۵/۳۶	۱۰۲/۴	۶۴۱	۹۶۱	۸/۱۵
D3	۲۹۵	۱/۳۶۴	۰/۳۷	۹۰	۵۶/۰	۲۷۵/۱۱	<۰/۰۱	۸۱/۱۱	۱۳/۲۰	۹۶/۰	۶۴۳	۹۶۱	۸/۵۶
D4	۲۷۵	۰/۳۵۲	۰/۱۶	۹۶	۵۲/۰	۲۸۰/۶۰	<۰/۰۱	۸۲/۴۱	۱۴/۱۶	۸۴/۴	۶۳۳	۹۵۰	۸/۵۵
Mean D	۳۱۰	۰/۶۲	۰/۱۹	۸۸	۵۸/۰	۲۸۱/۶۶	<۰/۰۱	۸۶/۶۱	۱۳/۸۰	۱۰/۱۰	۶۷۷	۱۰۱۳/۷	۸/۴۴
WHO (2011)*	-	۵۰	-	۲۵۰	۲۵۰	-	-	۲۰۰	-	-	-	-	۶/۵-۸/۵

جدول (۵-۲): درصد اجزای رسوب و پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب

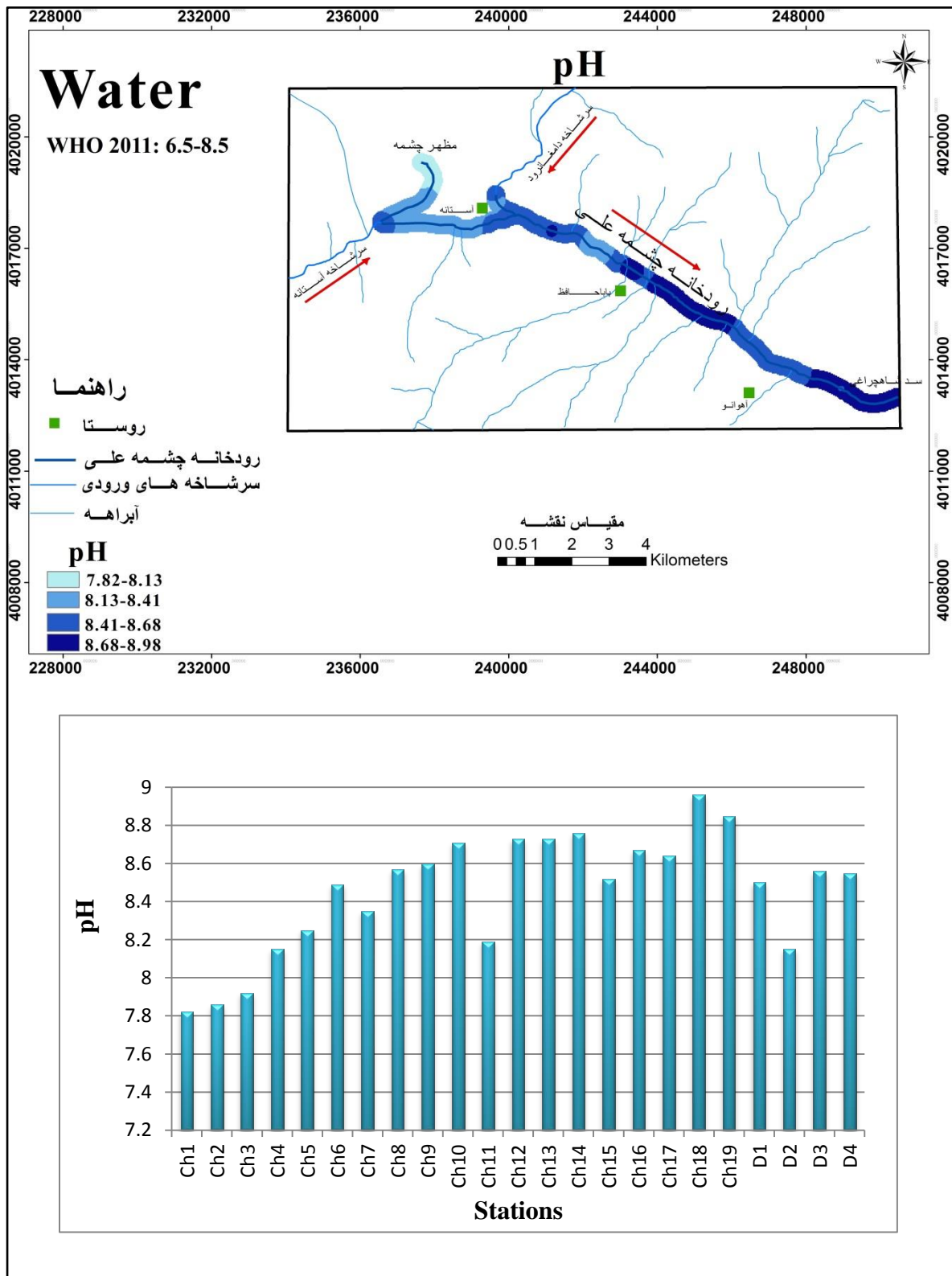
Stations	OM (%)	CaCO ₃ (%)	Mud (%)	Sand (%)	Gravel (%)	pH	EC (μS/cm)
Ch1	۱/۵۴	۳۲/۹۸	۰/۲۹	۲۵/۱۶	۷۴/۵۵	۷/۷۶	۹۵/۰
Ch2	۱/۶۲	۳۱/۷۸	۰/۲۷	۶۶/۵۴	۳۳/۱۸	۷/۶۵	۱۲۲/۶
Ch3	۱/۵۸	۳۴/۰۵	۰/۰۷	۴۰/۵۴	۵۹/۳۹	۷/۸۲	۱۰۲/۰
Ch4	۱/۵۶	۳۶/۲۹	۰/۱۹	۵۳/۱۰	۴۶/۷۱	۷/۹۵	۱۲۷/۶
Ch5	۲/۶۴	۲۷/۰۳	۱/۵۴	۴۹/۸۲	۴۸/۶۳	۷/۶۳	۱۳۲/۲
Ch6	۳/۵۲	۱۴/۷۷	۱/۳۱	۴۳/۵۱	۵۵/۱۹	۸/۱۸	۱۰۹/۶
Ch7	۲/۴۳	۱۸/۱۷	۰/۳۵	۵۴/۳۴	۴۱/۳۱	۸/۱۵	۱۲۵/۵
Ch8	۲/۳۴	۱۴/۸۲	۳۳/۳۱	۶۲/۷۸	۳/۹۰	۸/۱۸	۱۳۶/۳
Ch9	۳/۱۵	۱۰/۴۶	۱۵/۶۰	۴۷/۷۵	۳۶/۶۵	۸/۱۳	۱۴۲/۸
Ch10	۴/۴	۱۲/۳۰	۱۸/۴۴	۵۹/۶۸	۲۱/۸۸	۸/۲۴	۱۲۲/۲
Ch11	۲/۷۲	۱۲/۴۹	۱/۲۰	۵۰/۶۸	۴۸/۱۲	۸/۱۶	۱۴۰/۶
Ch12	۱/۶۶	۱۴/۱۸	۲/۶۷	۳۸/۰۸	۵۹/۲۵	۸/۰۸	۱۳۰/۷
Ch13	۱/۳۸	۱۰/۳۲	۴/۹۶	۴۸/۱۰	۴۶/۹۴	۸/۲۵	۱۲۰/۳
Ch14	۲/۳۶	۹/۳۲	۱/۱۲	۳۷/۷۶	۶۱/۱۲	۸/۰۵	۱۱۹/۳
Ch15	۳/۳۲	۸/۲۸	۱/۵۱	۳۸/۰۲	۶۰/۴۷	۸/۱۶	۱۲۰/۴
Ch16	۲/۵۴	۷/۴۴	۰/۶۷	۳۴/۷۱	۶۴/۶۳	۸/۲۷	۱۳۰/۴
Ch17	۱/۲۱	۱۳/۲۳	۲/۷۰	۲۹/۱۲	۶۸/۱۸	۸/۲۶	۱۲۲/۸
Ch18	۱/۲۶	۱۲/۱۸	۰/۵۰	۴۶/۲۲	۵۳/۲۸	۸/۳۹	۱۲۹/۴
Ch19	۲/۴۴	۱۱/۴۱	۱/۹۹	۲۸/۷۷	۶۹/۲۴	۸/۴۴	۱۳۵/۸
Mean Ch	۲/۲۹	۱۷/۶۰	۴/۶۷	۴۵/۱۹	۵۰/۱۴	۸/۰۹	۱۲۳/۹
D1	۲/۹۱	۲۲/۶۹	۱/۲۶	۲۲/۹۶	۷۵/۷۸	۸/۴۰	۱۷۰/۵
D2	۲/۹۸	۲۰/۸۳	۰/۰۴	۳۵/۷۳	۶۴/۲۳	۸/۱۱	۱۴۹/۹
D3	۲/۶۳	۲۴/۸۶	۰/۲۳	۶۰/۸۵	۳۸/۹۲	۸/۰۲	۱۲۳/۳
D4	۳/۱۳	۲۴/۱۵	۱/۴۵	۲۳/۶۷	۷۴/۸۸	۸/۴۲	۱۲۱/۷
Mean D	۲/۹۱	۲۳/۱۳	۰/۷۴	۳۵/۸۰	۶۳/۴۵	۸/۲۳	۱۴۱/۳
A24	۱/۳۸	۱۵/۴۳	۱/۲۵	۲۶/۱۰	۷۲/۶۵	۸/۰۷	۱۱۰/۷

روند تغییرات pH آب و رسوب در شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲ آورده شده است. مقادیر pH اندازه‌گیری شده در آب رودخانه چشمه‌علی بین مقادیر ۷/۸۲ در محل سرچشمه تا ۸/۹۶ در ایستگاه زیر پل متغیر می‌باشد. بنابراین تمامی نمونه‌ها در محدوده قلیایی قرار می‌گیرند. pH آب ایستگاه‌های اول تا هفتم در محدوده

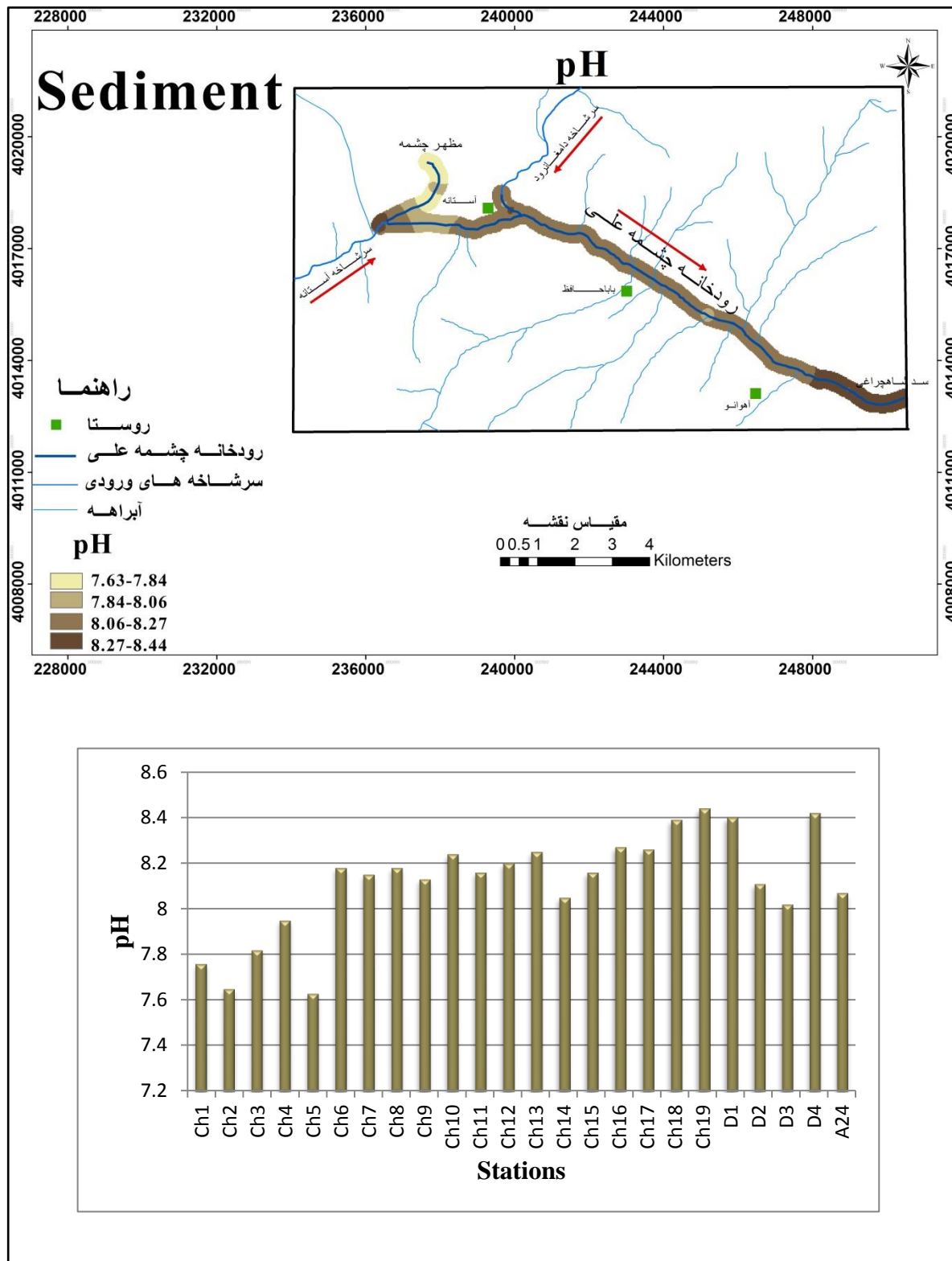
استاندارد (WHO, 2011) قرار می‌گیرند اما مقادیر pH از ایستگاه Ch8 به بعد در تمامی ایستگاه‌های پایین‌دست به جز ایستگاه Ch11 از استاندارد آب آشامیدنی تجاوز می‌کنند. این امر حاکی از تأثیر هوازدگی و انحلال رسوبات کربناته و سازندهای آهکی و دولومیتی شامل لار، دلیچای و الیکا در حوضه آبریز رودخانه و الحاق سرشاخه دامغانرود با pH معادل ۸/۵۵ به چشمه‌علی است. علاوه بر این افزایش مقدار pH در ایستگاه زیر پل (۸/۹۶) احتمالاً به دلیل عبور وسایل نقلیه از روی پل بالای این ایستگاه می‌باشد. به طور کلی مقادیر pH در آب و رسوبات از مظهر چشمه به سمت پایین‌دست افزایش می‌یابد که این امر را می‌توان به بسته بودن سیستم کارست چشمه‌علی نسبت داد. در سیستم دی‌اکسیدکربن به مصرف می‌رسد و قدرت انحلال کربنات کاهش می‌یابد و به دنبال خارج شدن آب از چشمه و خروج از کارست جذب دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد و موجب انحلال کربنات کلسیم می‌شود که باعث بالا رفتن pH می‌گردد. افزایش بی‌کربنات از اولین ایستگاه به سمت پایین‌دست نیز این مطلب را تأیید می‌نماید. رابطه ۵-۱ واکنش این فرآیند را نشان می‌دهد.



pH رسوبات نیز مقادیر قلیایی، ۷/۶۳ در ایستگاه Ch5 تا ۸/۴۴ در محل ورودی به سد را نشان می‌دهند. این امر به دلیل حضور سنگهای آهکی و دولومیتی و هوازدگی و فرسایش آنها می‌باشد. تغییرات pH در نمونه‌های رسوب روند تقریباً مشابهی را با نمونه‌های آب نشان می‌دهند. pH رسوب سرشاخه دامغانرود و آستانه قلیایی می‌باشد و دارای مقادیر تقریباً مشابه با رودخانه چشمه‌علی است. به طور کلی انحلال سنگ‌های کربناته (آهکی و دولومیتی)، فرسایش و انحلال سازندهای حوضه آبریز چشمه‌علی و زیرحوضه‌های آن فاکتور مهم کنترل کننده pH آب و رسوب چشمه‌علی می‌باشند.



شکل (۵-۱): تغییرات pH در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



شکل (۵-۲): تغییرات pH در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

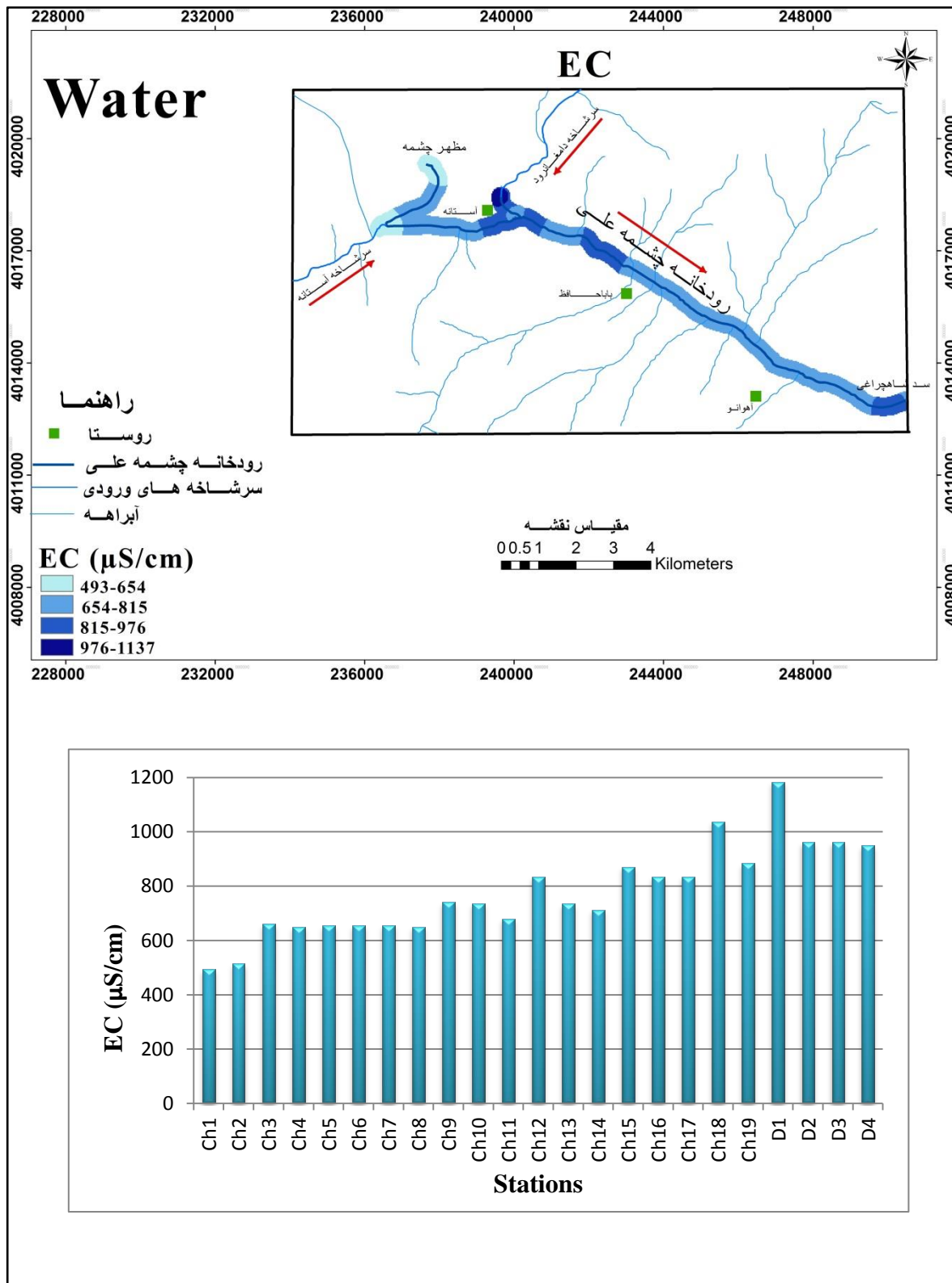
۵-۳-۲- تغییرات EC

هدایت الکتریکی نشان‌دهنده مقدار مواد محلول در آب می‌باشد (Rowell, 1994). مقدار هدایت الکتریکی می‌تواند به سازندهای بستر، شوری خاک، فعالیت‌های کشاورزی، انباشت پساب حیوانات و آلودگی‌های صنعتی نسبت داده شود (Ramesh and Elango, 2012). روند تغییرات EC در آب و رسوبات منطقه در شکل‌های ۳-۵ و ۴-۵ آورده شده است. بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در آب رودخانه چشمه‌علی نشان می‌دهد که کمترین هدایت الکتریکی در محل مظهر چشمه ۴۹۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۱۰۳۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در ایستگاه زیر پل به دلیل فعالیت‌های بشرزاد (گردشگری، تراکم حمل‌ونقل جاده‌ای) در این بخش از رودخانه اندازه‌گیری شده است. سرشاخه دامغانرود به دلیل تأثیر کانیهای تبخیری نظیر ژیپس در بخش بالایی سازند کرج و رسوبات نئوژن، حجم آب پایین‌تر، طی مسیر طولانی و حل کردن مواد بیشتر، میانگین هدایت الکتریکی بالاتری (۱۰۱۳/۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) را نسبت به میانگین هدایت الکتریکی رودخانه چشمه‌علی (۷۲۸/۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) نشان می‌دهد. به همین دلیل ورود سرشاخه دامغانرود به رودخانه چشمه‌علی موجب افزایش هدایت الکتریکی آب و رسوب در رودخانه چشمه‌علی گردیده است. به طور کلی حضور سازندهای کربناته و عدم گسترش سازندهای تبخیری در منطقه عامل تأثیرگذار در کم بودن هدایت الکتریکی در آب بوده است. هدایت الکتریکی نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی از ۹۵ تا ۱۴۲/۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ترتیب در ایستگاه مظهر چشمه و محل تلاقی سرشاخه دامغانرود تغییر می‌کند. شایان ذکر می‌باشد که روند تغییرات EC در آب و رسوب تقریباً مشابه می‌باشد.

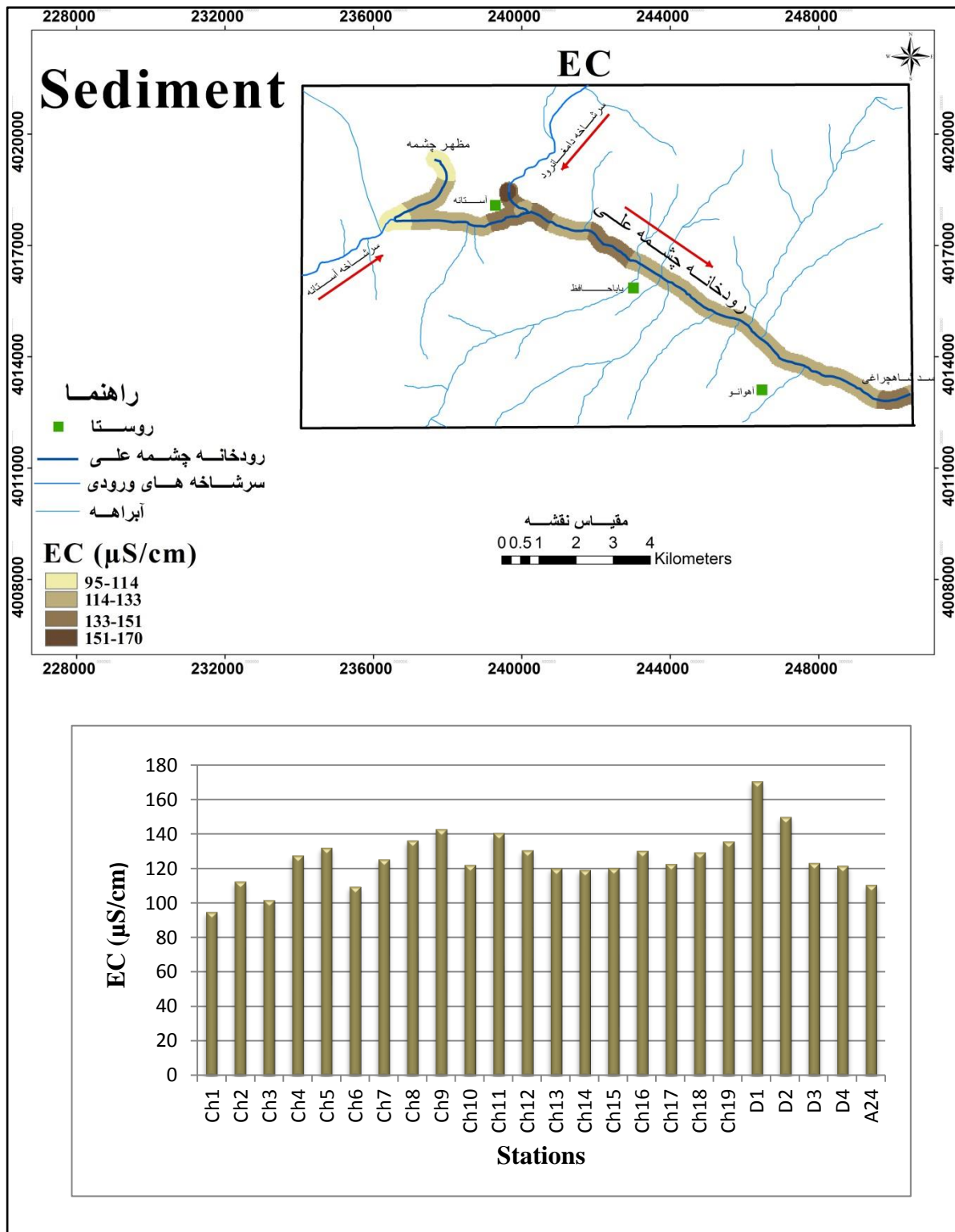
۵-۴- بررسی کیفیت منابع آب

۵-۴-۱- بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های آب

روند تغییرات غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود به ترتیب در



شکل (۵-۳): تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



شکل (۴-۵): تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶ آورده شده است.

• کلسیم

یون کلسیم در آب عمدتاً از انحلال سنگهای آهکی، دولومیتی، ژیپس و انیدریت و یا فرآیندهای تبادل کاتیونی مشتق می‌گردد (Garrels, 1976). تمرکز کلسیم در آب رودخانه چشمه‌علی بین مقادیر ۶۴ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه Ch2 تا ۸۴/۸۱ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه Ch12 تغییر می‌کند. این کاتیون با میانگین ۷۲/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر در آب رودخانه چشمه‌علی پایین‌تر از حد قابل قبول تعیین شده در آب آشامیدنی استاندارد ۱۰۵۳ ایران توسط موسسه استاندارد ایران (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد (شکل ۵-۵). سرشاخه دامغانرود با غلظت میانگین ۱۰۱ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش غلظت کلسیم در پایین‌دست محل تلاقی می‌گردد. این امر را می‌توان به حضور سازندهای کلسیم‌دار لار، سازند کرج و رسوبات نئوژن مرتبط دانست.

با توجه به زمین‌شناسی منطقه و وجود سازندهای کربناته آهکی و همچنین دولومیتی و کانی‌هایی مانند ژیپس در حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی و زیرحوضه دامغانرود، منشأ کلسیم انحلال کلسیت، دولومیت و ژیپس برآورد می‌گردد. دلیل افزایش میزان کلسیم در ایستگاه دوازدهم را می‌توان زهکشی سازند لار و همچنین وجود جاده عبوری از رودخانه و گسترده‌گی زمین کشاورزی در اطراف این ایستگاه بیان کرد.

• منیزیم

همانطور که در شکل (۵-۵) نشان داده شده است. غلظت منیزیم از ۶/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه Ch2 تا ۲۱/۶ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه Ch9 (محل تلاقی رودخانه چشمه‌علی و دامغانرود) تغییر می‌یابد. حد مجاز برای غلظت منیزیم در آب آشامیدنی براساس استاندارد آب آشامیدنی آژانس محیط زیست آمریکا (EPA, 2006) ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است و تمامی نمونه‌های آب در سرشاخه

دامغانرود و رودخانه چشمه‌علی پایین‌تر از حد استاندارد می‌باشند.

غلظت منیزیم از محل سرچشمه به سمت پایین‌دست به دلیل رخنمون سازندهای دولومیتی (الیکا) افزایش نسبی را نشان می‌دهد. باید خاطر نشان کرد با مقایسه مقادیر غلظت کلسیم و منیزیم روشن می‌گردد که مقدار کلسیم در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و دامغانرود نسبت به منیزیم عمدتاً بالاتر می‌باشد. این امر را می‌توان ناشی از غالب بودن تأثیر هوازدگی و انحلال سنگ آهک بر کیفیت آب در منطقه دانست.

• سدیم

سدیم یک شاخص مهم برای ارزیابی آب جهت مصارف آبیاری می‌باشد (Mandal and Haiduk, 2011). سدیم یک عنصر ضروری برای بدن محسوب می‌گردد. از سویی دیگر افزایش مقدار آن در بدن موجب بیماری‌های مختلفی مانند فشارخون، بیماری‌های مادرزادی، بی‌نظمی کار کلیه می‌گردد (Ramesh and Elango, 2012).

میانگین غلظت سدیم در نمونه‌های آب چشمه‌علی $61/7$ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (جدول ۵-۱). این مقدار پایین‌تر از مقدار مجاز تعیین شده برای سدیم در استاندارد آب آشامیدنی براساس سازمان بهداشت جهانی WHO 2011 (200 میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. کمترین تمرکز سدیم در محل سرچشمه ($33/11$ میلی‌گرم بر لیتر) و بالاترین تمرکز در ورودی سد (78 میلی‌گرم بر لیتر) اندازه‌گیری شد (شکل ۵-۵). این مقادیر به افزایش سدیم از بالادست به پایین‌دست اشاره دارد که این امر به دلیل انحلال بیشتر سدیم در طول مسیر رودخانه می‌باشد.

سدیم در آب اغلب بر اثر انحلال نمک‌ها و هوازدگی سنگ‌های سدیم‌دار ایجاد می‌گردد. همچنین انحلال سیلیکات‌ها نیز می‌تواند یک فرآیند مهم در افزایش تمرکز سدیم باشد (Wen et al., 2008). با توجه به

بالتر بودن غلظت سدیم نسبت به غلظت کلر در آب منطقه می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که علاوه بر انحلال نمک‌هایی هالیت و سیلیکات‌ها نیز به عنوان منبعی برای حضور سدیم در آب عمل کرده‌اند. میانگین سدیم (۸۶/۶ میلی‌گرم بر لیتر) در سرشاخه دامغانرود به دلایل حجم آب کمتر، تبخیر بالاتر و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بالادست، بالاتر از میانگین غلظت این عنصر در چشمه‌علی (۶۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد و در نتیجه غلظت سدیم در رودخانه چشمه‌علی بعد از اتصال سرشاخه دامغانرود افزایش نشان می‌دهد.

• پتاسیم

سرچشمه طبیعی پتاسیم در آب معمولاً از هوازدگی شیمیایی و انحلال ثانویه کانی‌های فلدسپار آذرین (شامل ارتوکلارز، میکروکلین)، میکا و سنگهای رسوبی می‌باشد (Howari and Banat, 2002). همچنین غلظت پایین پتاسیم در آب را می‌توان ناشی از مقاومت بالای پتاسیم جهت انحلال و متمرکز شدن پتاسیم در ساختارهای رسی دانست (Sarin et al., 1989). از آنجائیکه در منطقه چشمه‌علی سنگهای کربناته غالب می‌باشند و بستر رودخانه به جز چند ایستگاه Ch8، Ch9 و Ch10 از نوع گراول ماسه‌ای می‌باشد، غلظت پتاسیم در نمونه‌های آب، صفر می‌باشد. به علاوه صفر بودن غلظت پتاسیم در ایستگاه‌های Ch8، Ch9 و Ch10 با بستر دارای رس را می‌توان به ثبات پتاسیم در ساختار رس‌ها نسبت داد (جدول ۵-۱).

• بی‌کربنات

سنگهای بی‌کربنات فراوان از قبیل آهک بلوری، آهک دولومیتی، کالک آرانیت و سنگ آهک رس‌دار منابع عمده‌ی ورود کربنات‌ها به منابع آب و خاک می‌باشند (Kumar Singh et al., 2013). به علت حضور گسترده سنگهای کربناته (سازندهای لار، دلیچای و الیکا) در محل سرچشمه و حوضه آبریز چشمه‌علی،

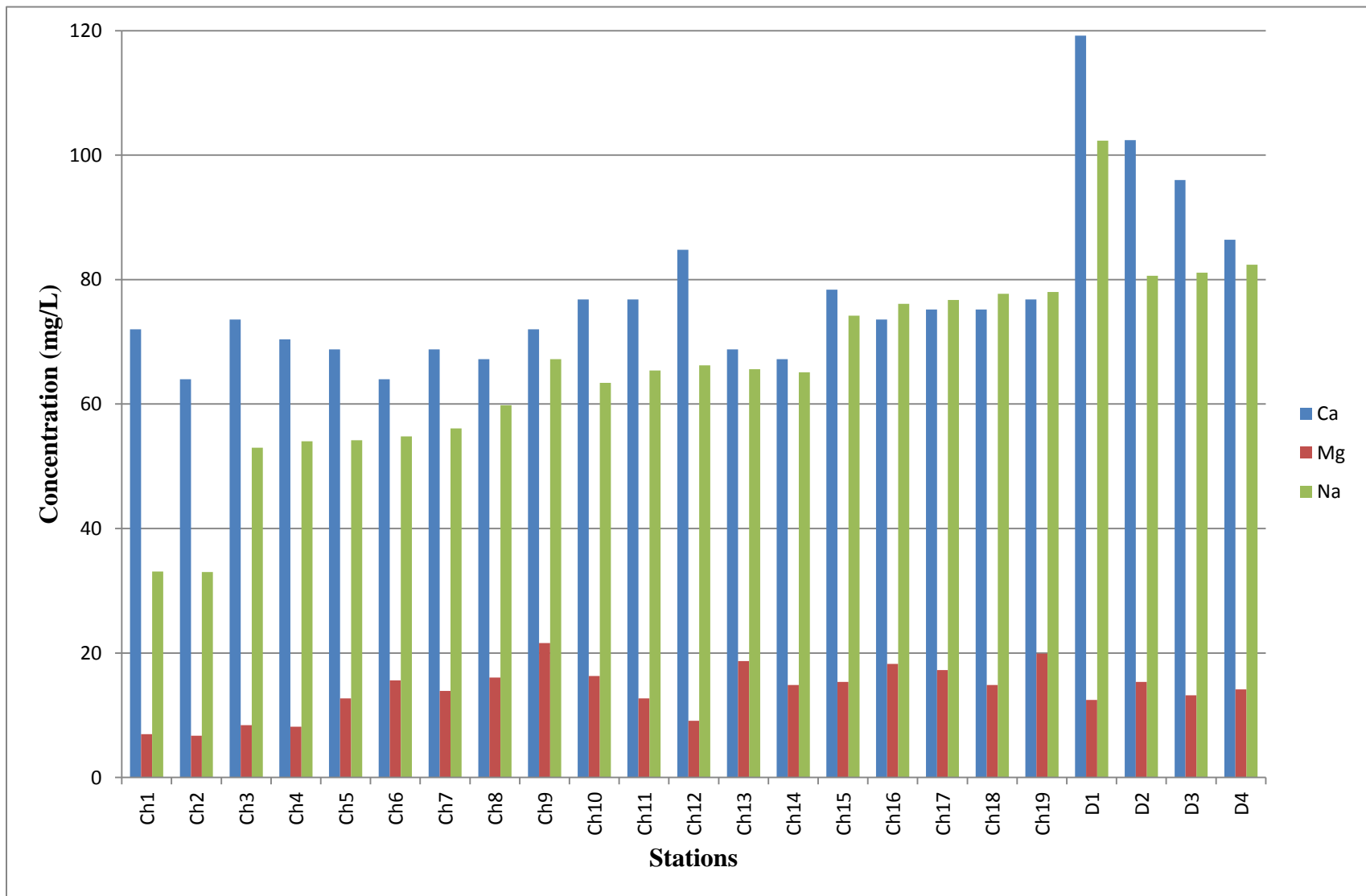
یون بی کربنات نسبت به آنیون‌های دیگر در آب منطقه، آنیون غالب می‌باشد. غلظت بی کربنات از ۱۹۸/۸ میلی‌گرم بر لیتر در محل سرچشمه تا ۲۶۴/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر در محل ایستگاه Ch10 تغییر می‌کند (شکل ۵-۶). لازم به ذکر است استاندارد برای مقدار بی کربنات در آب تعریف نگردیده است.

بالا بودن متوسط غلظت بی کربنات در سرشاخه دامغانرود (۲۸۱/۶۶ میلی‌گرم بر لیتر) و ورود آن به رودخانه چشمه‌علی و همچنین تأثیر معدن تراورتن در ایستگاه‌های Ch9، Ch10 و Ch11 را می‌توان عامل افزایش غلظت بی کربنات در این ایستگاه‌ها نسبت به ایستگاه‌های ما قبل دانست.

• کلر

یون کلر به طور معمول از انحلال هالیت، کانی‌های تبخیری و رسوبات در آب به دام افتاده و ته‌نشست‌های نمکی بوجود می‌آید (Walker et al., 1991). مقدار بالای کلر اثر مخربی بر محصولات در زمین‌های کشاورزی دارد (Krishna Kumar et al., 2009).

غلظت کلر در رودخانه چشمه‌علی بین ۳۲ میلی‌گرم بر لیتر در مظهر چشمه تا ۶۱ میلی‌گرم بر لیتر در ورودی سد تغییر می‌کند که این امر به دلیل انحلال نمک‌های حاوی این یون در طول مسیر رودخانه می‌باشد (شکل ۵-۶). میانگین غلظت یون کلر در سرشاخه دامغانرود ۵۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که بالاتر از میانگین غلظت این یون در رودخانه چشمه‌علی (۴۴/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر) است که این امر باعث افزایش غلظت این یون در محل تلاقی دامغانرود با چشمه‌علی (Ch9) گردیده است. مقایسه غلظت کلر در سرشاخه دامغانرود و رودخانه چشمه‌علی با حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) برای آب آشامیدنی (۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) مشخص می‌کند که میزان غلظت کلر در تمامی ایستگاه‌ها در حد مطلوب می‌باشد. با توجه به وجود کلر و سدیم در سرچشمه منشأ احتمالی کلر می‌تواند انحلال نمک‌های کلردار و کانی‌های تبخیری مانند هالیت باشد. همبستگی بالای کلر و سدیم



شکل (۵-۵): تغییرات غلظت کاتیون‌ها در آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

(۰/۷۴۴) نیز این امر را ثابت می‌کند (جدول ۵-۷).

• فسفات

در سیستم‌های کشاورزی، از کودهای آلی برای افزایش تولیدات کشاورزی و جبران کمبود فسفر در گیاهان استفاده می‌گردد (Sinaj et al., 2002). عدم تعادل بین فسفر مصرف شده و جذب شده توسط گیاهان در طولانی مدت منجر به تجمع فسفر در خاک و در نتیجه انتقال فسفر از خاک به آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود (Sharpley and Rekolainen, 1997). کمترین مقدار فسفات در ایستگاه Ch1 معادل ۰/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر و بیشترین آن در ایستگاه Ch5 معادل ۰/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده می‌گردد (شکل ۵-۶). سرشاخه دامغانرود نیز دارای میانگین ۰/۱۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقایسه مقادیر فسفات در رودخانه با مقدار حد مجاز استاندارد در آب آشامیدنی که معادل ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر USEPA 1992 می‌باشد، مشخص می‌کند که به جز ایستگاه Ch1 تمامی ایستگاه‌ها از مقدار مجاز تجاوز می‌کنند و در واقع آب به فسفات آلوده می‌باشد. ایستگاه Ch5 در معرض فعالیت‌های کشاورزی و رواناب‌های شسته شده از زمین‌های اطراف می‌باشد و به همین دلیل بالاترین تمرکز فسفات در این ایستگاه اندازه‌گیری شد. فعالیت‌های کشاورزی در اطراف رودخانه چشمه‌علی و همچنین فاضلاب خانگی سه روستای آستانه، باباحافظ و آهوانو باعث افزایش فسفات در آب شده است.

• نیتрат

منبع نیترات در منابع آب معمولاً مواد آلی، فاضلاب‌های شهری، رواناب و پساب زمین‌های کشاورزی می‌باشد (Karnath, 1987). افزایش نیترات در آب می‌تواند باعث عارضه بچه آبی، گواتر، تولد نوزاد ناقص، فشار خون و سرطان معده شود (Ramesh and Elango, 2012). نیترات در رودخانه چشمه‌علی با غلظت میانگین ۰/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر بسیار پایین‌تر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی

(WHO, 2011) می‌باشد. ایستگاه Ch5 به دلیل دریافت رواناب‌های کشاورزی غلظت بالاتری از نیترات را نشان می‌دهد. همچنین فاضلاب سه روستا در مسیر رودخانه چشمه‌علی خصوصاً روستای آهوانو موجب افزایش نیترات آب گردیده است (شکل ۵-۶).

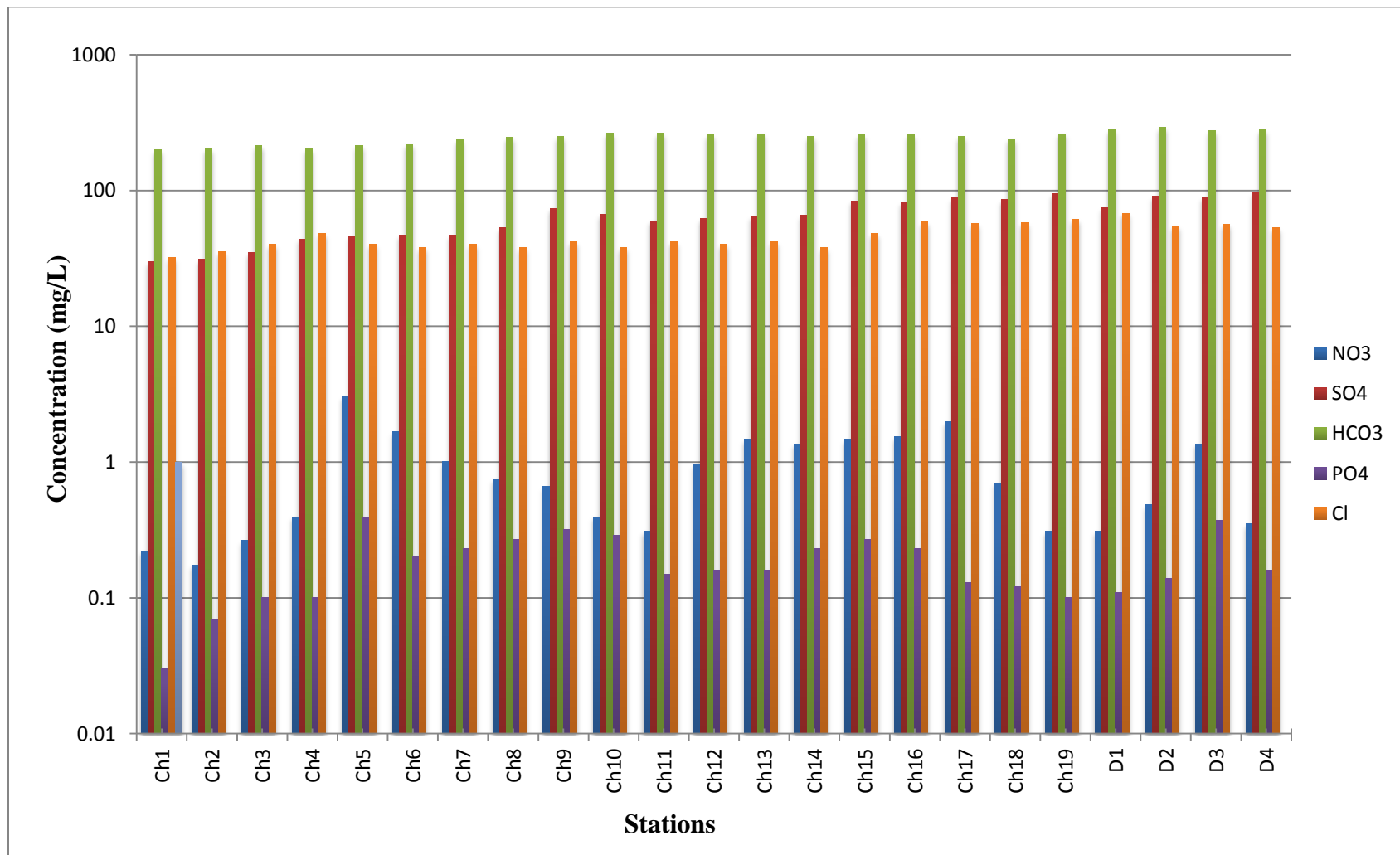
• سولفات

یون سولفات از هوازدگی کانی‌های سولفاتی و سنگهای رسوبی حاوی ژئوپس ایجاد می‌گردد (Elango et al., 2003). غلظت یون سولفات بین ۳۰ تا ۹۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در ایستگاه‌های مظهر چشمه و ورودی سد در رودخانه تغییر کرده است. غلظت مجاز سولفات در آب آشامیدنی توسط WHO (2011)، ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است. تمرکز سولفات در تمام نمونه‌های برداشت شده از رودخانه چشمه‌علی و دامغانرود پایین‌تر از این مقدار است (شکل ۵-۶).

میانگین سولفات در سرشاخه دامغانرود نیز با توجه به زهکشی سازندهای حاوی ژئوپس در بالادست، ۸۸ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد و بنابراین این سرشاخه در محل تلاقی با رودخانه چشمه‌علی (Ch9) موجب افزایش سولفات در چشمه‌علی گردیده است. در حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی و زیرحوضه دامغانرود سنگ‌های رسوبی حاوی ژئوپس مانند رسوبات نئوژن و بخش بالایی سازند کرج حضور دارند و انحلال و هوازدگی و شست‌وشوی این رسوبات باعث انحلال سولفات در آب شده است. شایان ذکر می‌باشد که به سمت پایین‌دست حوضه، سازندهای مذکور رخنمون بیشتری دارند و در نتیجه ایستگاه‌های پایین‌دست تمرکز بالاتری از سولفات را نشان می‌دهند.

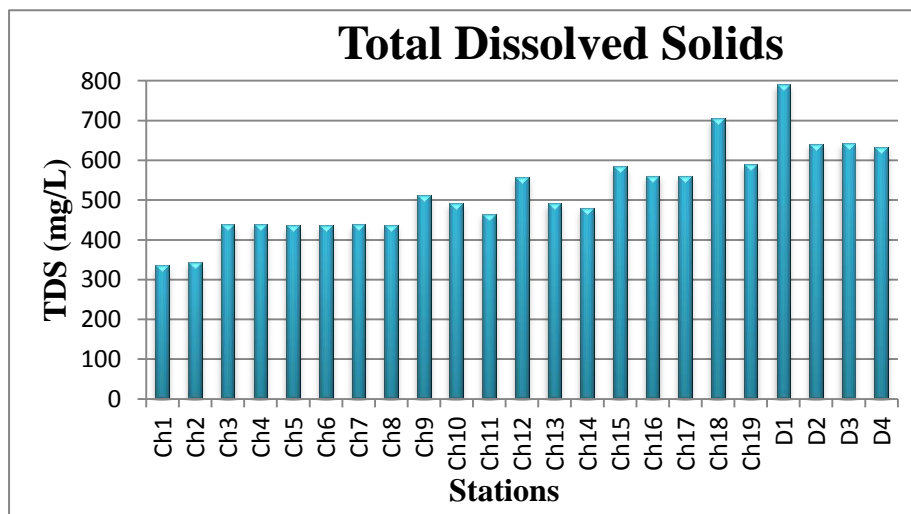
۵-۴-۲- تغییرات TDS

مقدار TDS یک پارامتر مهم در تعیین کاربری آب می‌باشد. آب با TDS بالا برای آبیاری یا نوشیدن نامناسب است (Freeze and Cherry, 1979). در منطقه مورد مطالعه TDS روند افزایشی را به علت



شکل (۵-۶): تغییرات غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

انحلال و فرسایش سازندهای منطقه (اعم از کربناته و آواری) از بالادست به پایین دست نشان می‌دهد. کمترین مقدار TDS در محل مظهر چشمه (۳۳۵ میلی‌گرم بر لیتر) و بیشترین آن زیر پل (۷۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) اندازه‌گیری شد (شکل ۵-۷). مقدار TDS در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حد مجاز تعیین شده توسط موسسه استاندارد ایران؛ استاندارد ۱۰۵۳؛ (۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) پایین‌تر می‌باشد. بعد از اتصال سرشاخه دامغانرود به رودخانه میزان TDS آن افزایش می‌یابد. بالاتر بودن میزان TDS در سرشاخه دامغانرود نسبت به رودخانه چشمه‌علی را می‌توان به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و رخنمون سازندهای حاوی ژئوپس (بخش بالایی سازند کرج، رسوبات نئوژن) در بالادست سرشاخه دامغانرود دانست.



شکل (۵-۷): تغییرات TDS در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

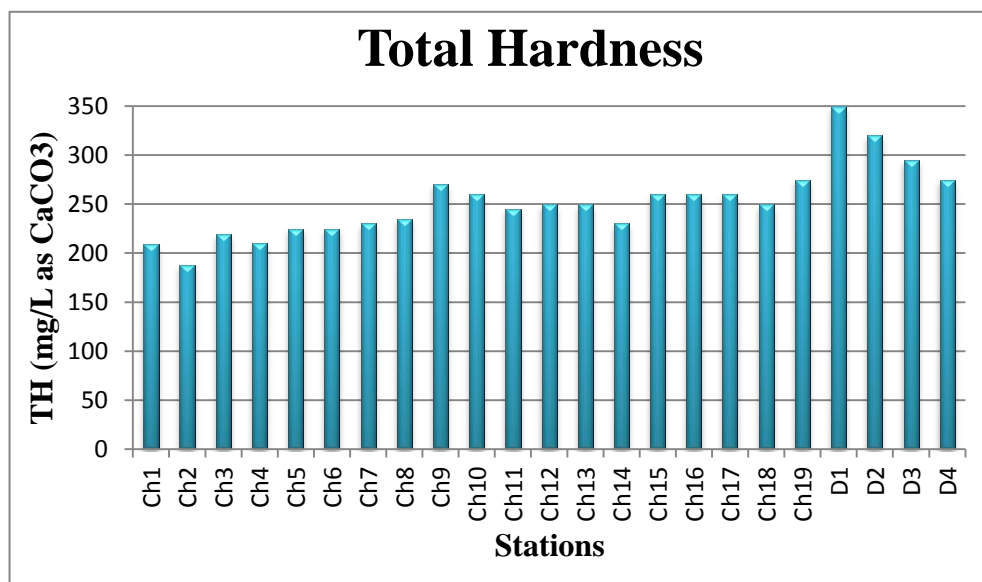
۵-۴-۳- سختی کل

سختی آب یکی از مهمترین پارامترها در تعیین کاربری آب برای مصارف خانگی، صنعتی و آشامیدن می‌باشد (Karanth, 1987). همچنین سختی توانایی آب را برای تولید کف کاهش می‌دهد و باعث ایجاد لایه‌های رسوب در لوله‌ها و پمپ‌های آب می‌شود (Nagarajan et al., 2010). روند تغییرات سختی در

نمونه‌های آب برداشت شده در شکل ۵-۸ آورده شده است. آب رودخانه چشمه‌علی با میانگین سختی ۲۳۹/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر در دسته آب‌های سخت (جدول ۵-۳) قرار می‌گیرد و در تمامی ایستگاه‌ها در محدوده مجاز تعیین شده توسط موسسه استاندارد ایران؛ استاندارد ۱۰۵۳؛ (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. همبستگی مثبت میان سختی و کلسیم (۰/۶۱۸) نشان‌دهنده نقش این کاتیون در میزان سختی در منطقه می‌باشد (جدول ۵-۷).

جدول (۵-۳): رده‌بندی مقادیر سختی در آب (Todd, 2005)

محدوده سختی	سختی (mg/L as CaCO ₃)
۷۵-۰	نرم
۱۵۰-۷۵	متوسط
۳۰۰-۱۵۰	سخت
۳۰۰<	کاملاً سخت



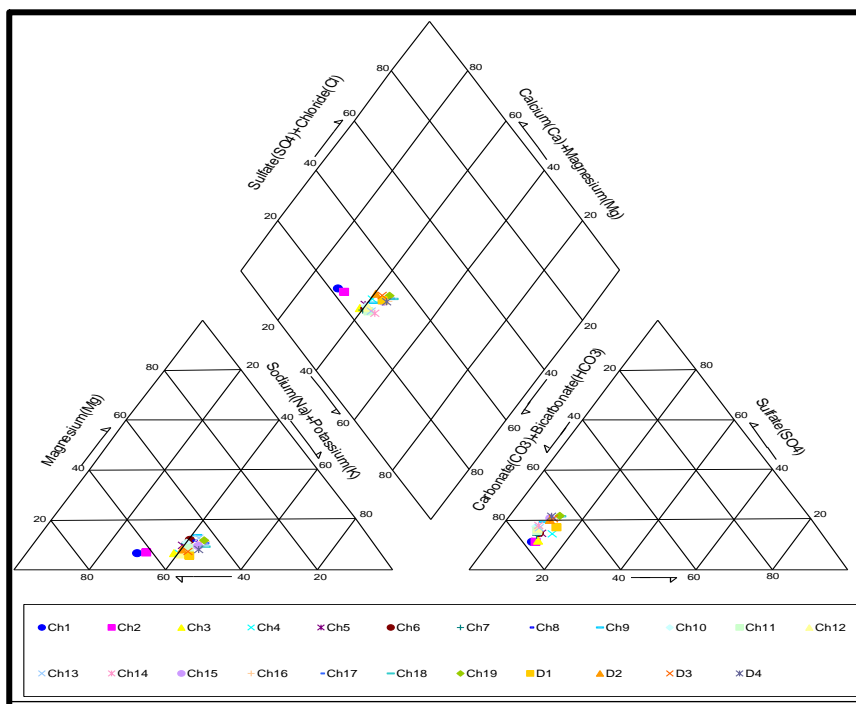
شکل (۵-۸): تغییرات سختی در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

در ایستگاه‌های پایین‌دست به دلیل حضور گسترده‌تر سازندهای حاوی ژئوپس و آهک در حوضه آبریز

رودخانه میزان سختی افزایش پیدا می‌کند. همچنین آب سرشاخه دامغانرود با میانگین سختی معادل ۳۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از کربنات کلسیم جز دسته آب‌های کاملاً سخت می‌باشد و تأثیر بالایی در افزایش سختی رودخانه چشمه‌علی دارد و باعث افزایش سختی از ۲۳۵ میلی‌گرم بر لیتر از کربنات کلسیم قبل از تلاقی به ۲۷۰ میلی‌گرم بر لیتر از کربنات کلسیم بعد از تلاقی با سرشاخه دامغانرود (Ch9) می‌گردد.

۵-۴-۴- تیپ و رخساره آب

در جدول ۴-۵، توالی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها آورده شده است. همچنین برای مشخص نمودن تیپ و رخساره نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه، نمودار پایپر با استفاده از نرم افزار Chemistry رسم شد. نتایج نشان می‌دهند که کاتیون کلسیم و آنیون بی‌کربنات در آب منطقه، غالب بوده، تیپ و رخساره همه نمونه‌ها بی‌کربناته-کلسیک می‌باشد. در نمودار پایپر (شکل ۵-۹) دو نمونه‌های اول (Ch1 و Ch2) به دلیل منیزیم کمتر با فاصله نسبت به دیگر نمونه‌ها قرار گرفته‌اند.

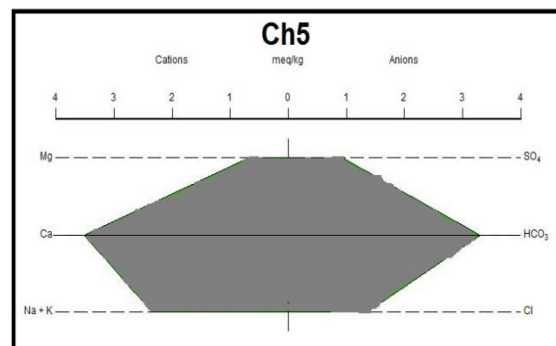
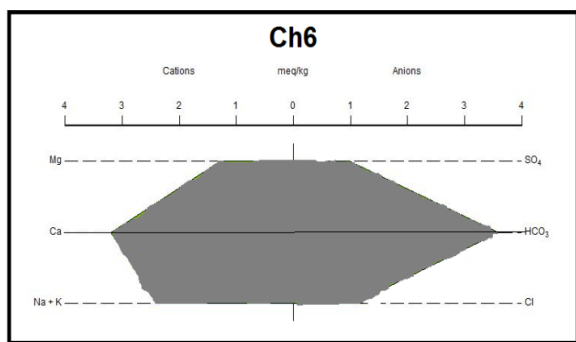
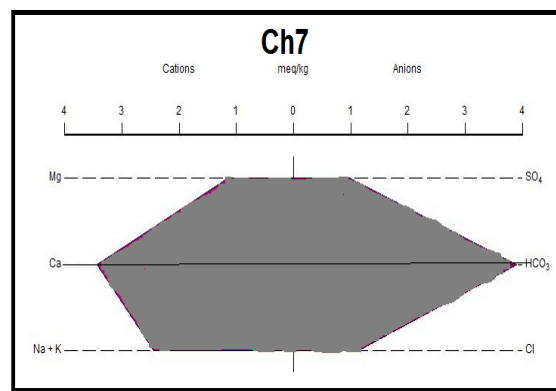
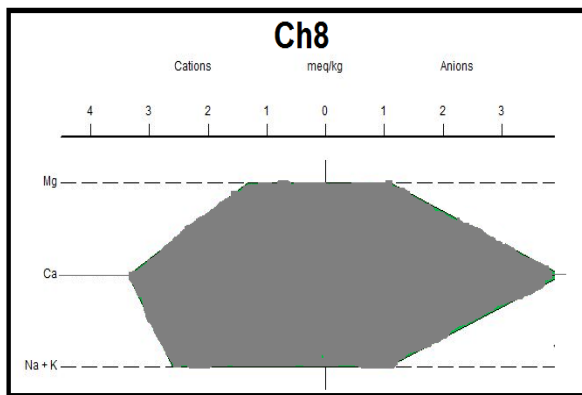
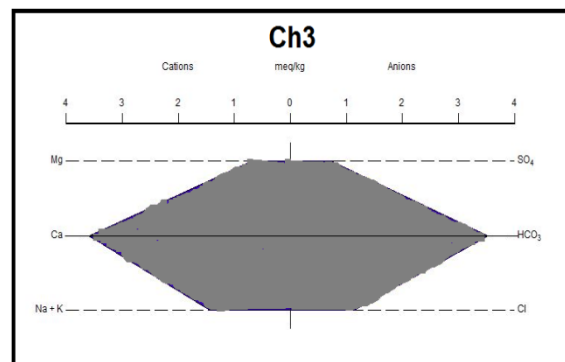
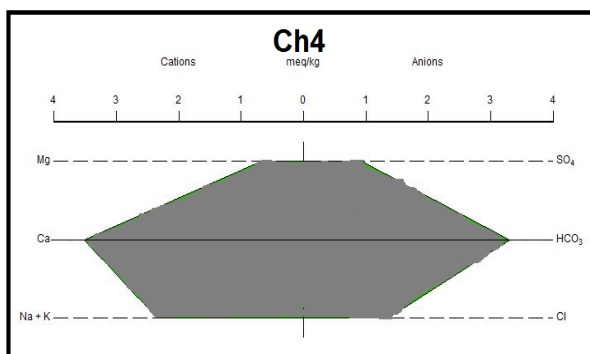
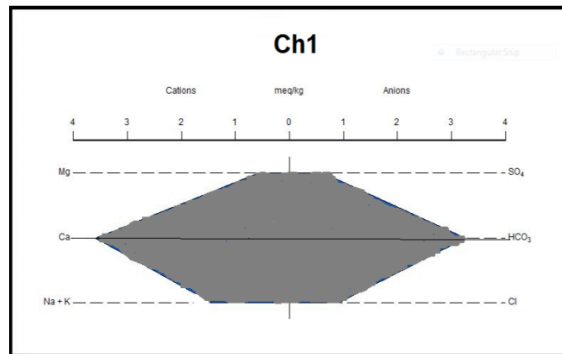
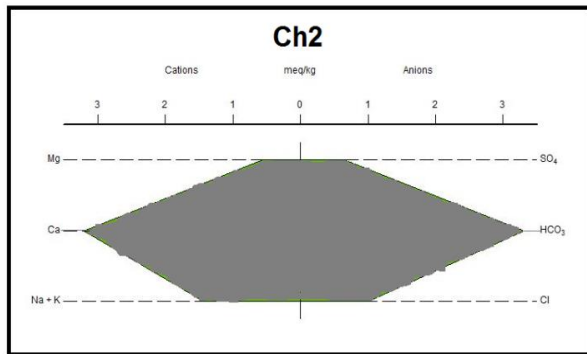


شکل (۵-۹): نمودار پایپر نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

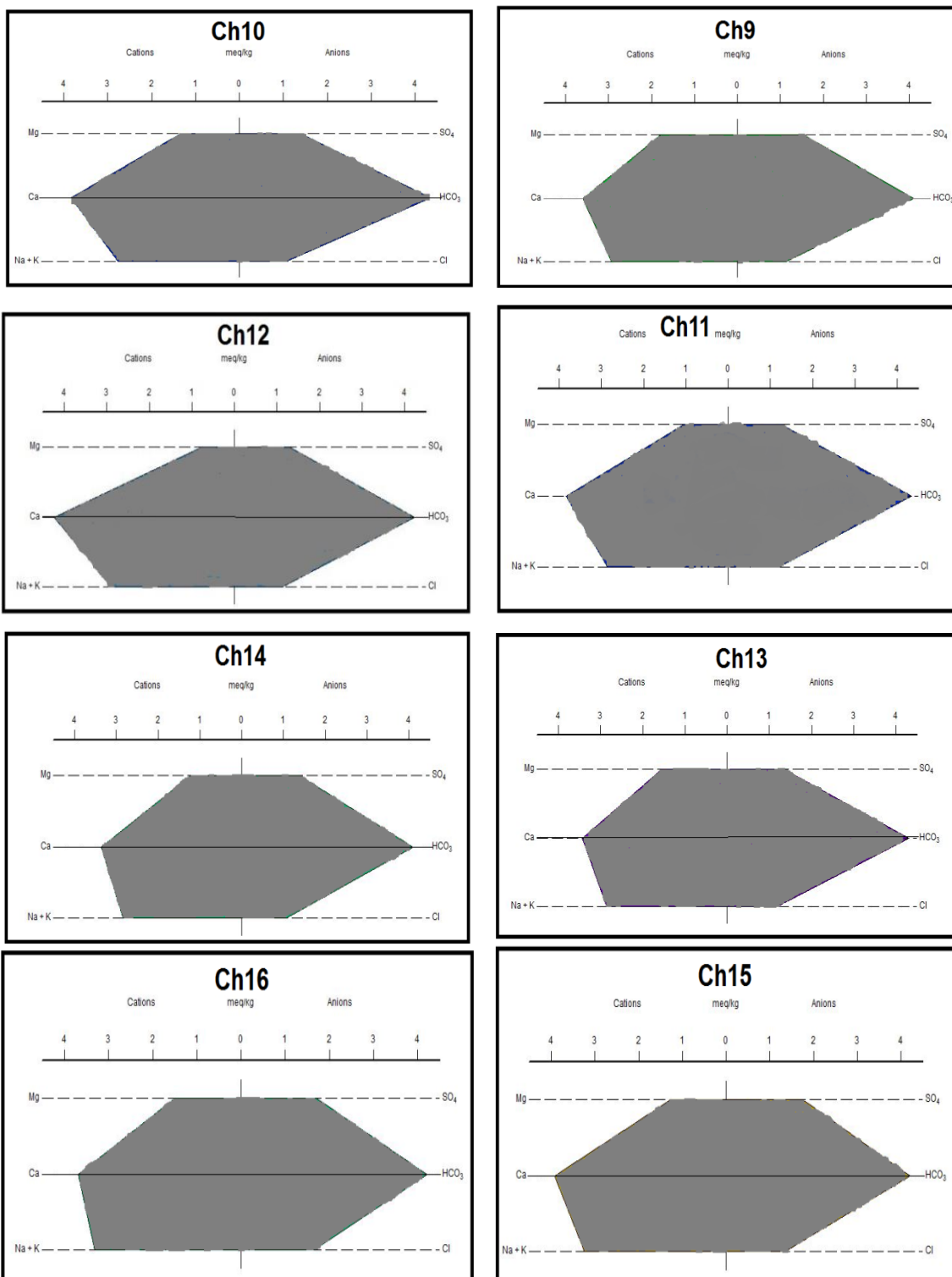
جدول (۴-۵): مقایسه غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تیپ و رخساره نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

ایستگاه	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره آب
Ch1	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch2	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch3	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch4	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch5	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch6	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch7	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch8	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch9	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch10	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch11	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch12	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch13	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch14	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch15	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch16	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch17	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch18	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
Ch19	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
D1	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
D2	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
D3	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک
D4	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Na+K>Mg	بی‌کربناته کلسیک

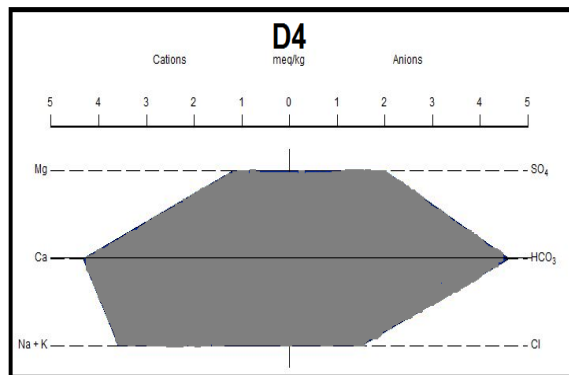
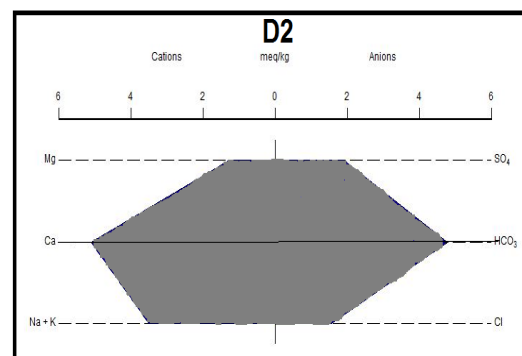
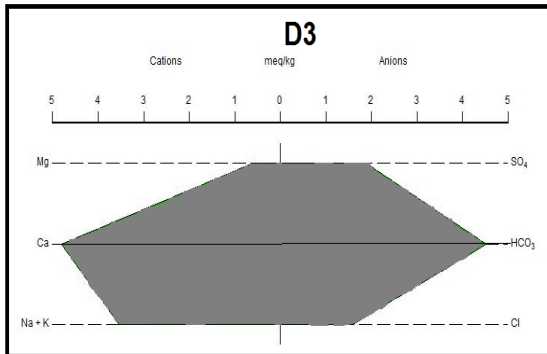
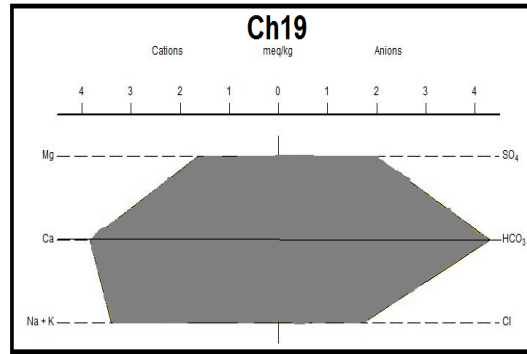
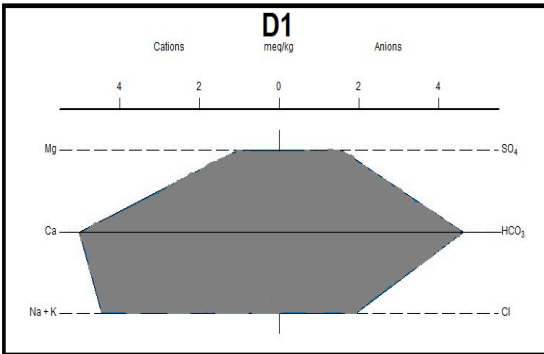
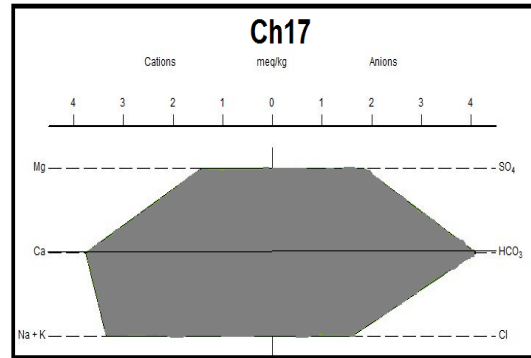
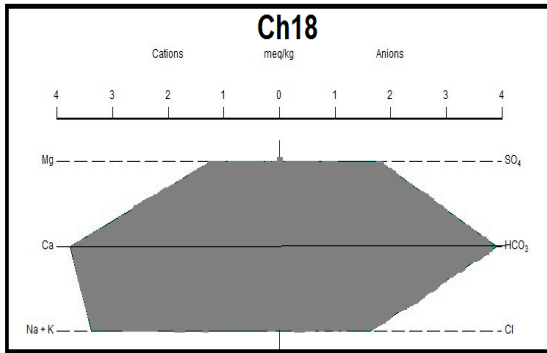
نمودار استیف توسط نرم افزار AQqa برای تشخیص تیپ و رخساره آب رسم گردید. این نمودار در شکل (۵-۱۰) نشان داده شده است. براساس این نمودار مقدار سولفات و سدیم به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. در نمونه‌های آب برداشت شده از سرشاخه دامغانرود، غلظت کلسیم، سدیم و سولفات بیشتری نسبت به نمونه‌های رودخانه چشمه‌علی دیده می‌شود که این امر موجب افزایش این یون‌ها در ایستگاه پایین دست محل تلاقی دو رودخانه (Ch9) می‌شود.



شکل (۵-۱۰): نمودار استیف نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



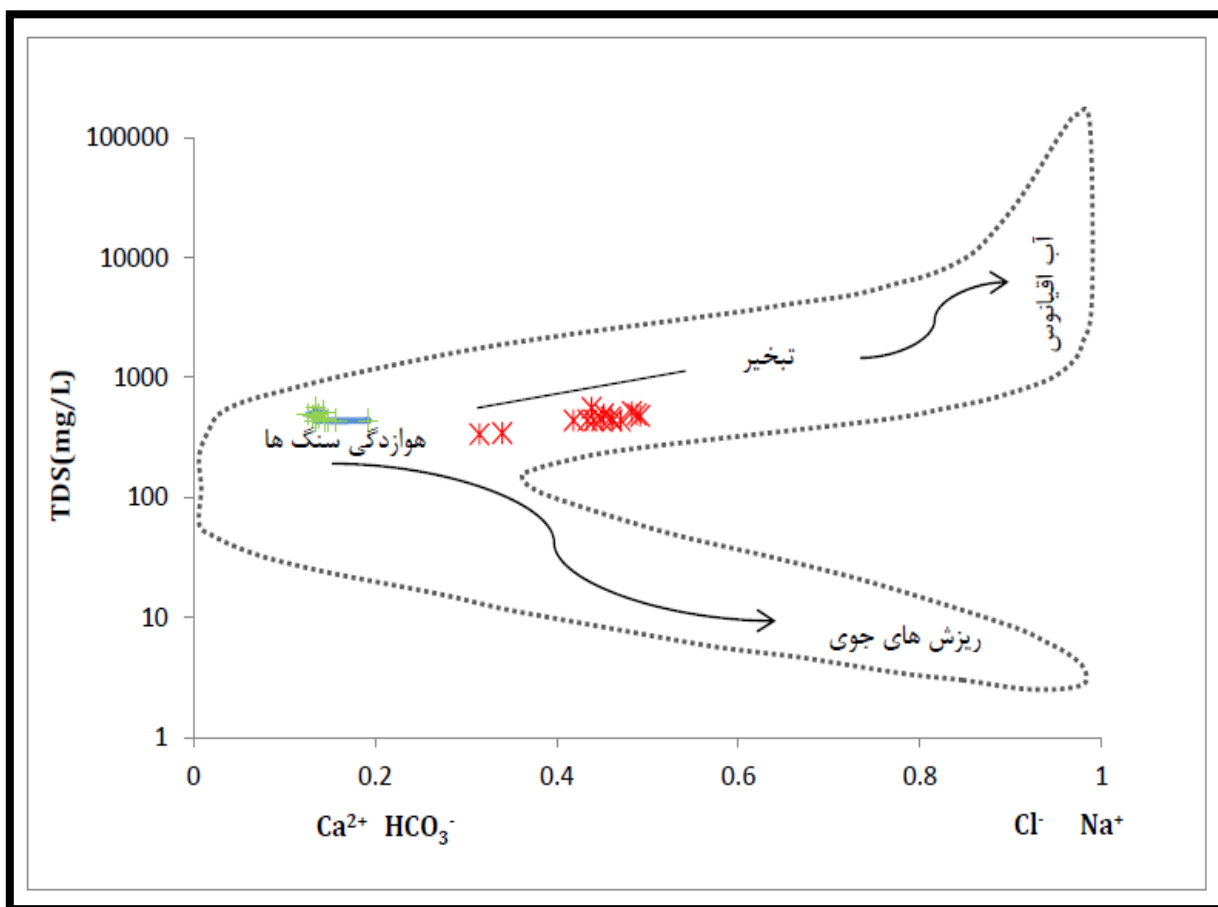
ادامه شکل (۵-۱۰): نمودار استیف نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



ادامه شکل (۵-۱۰): نمودار استیف نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

۵-۴-۵- عامل کنترل کننده شیمی آب

نمودار گیبس به طور وسیعی برای تعیین رابطه ترکیبات آب و مشخصات لیتولوژیکی آبخوان به کار می‌رود (Gibbs, 1970). نمودار گیبس از دو نسبت $\text{Na}^+ / \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ و $\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$ در مقابل TDS بدست می‌آید. این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های آب برداشت شده از منطقه در قسمت واکنش آب و سنگ قرار می‌گیرند که به این مطلب اشاره دارد که هوازدگی سنگها فرآیند غالب کنترل کننده شیمی آب در منطقه می‌باشد (شکل ۵-۱۱). با توجه به گسترش سنگهای کربناته و آواری در معرض هوازدگی این مطلب قابل توجه است.

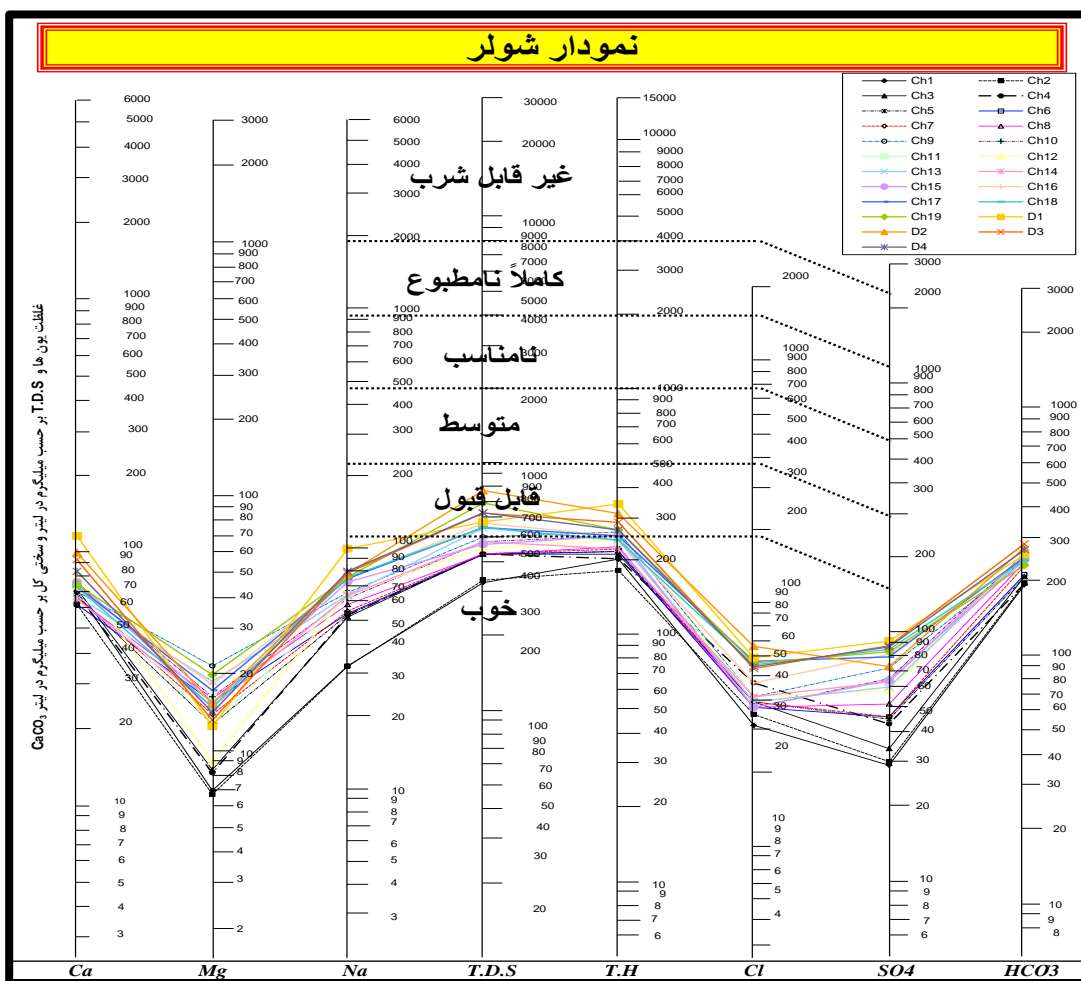


شکل (۵-۱۱): نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود بر روی نمودار گیبس

۵-۴-۶- ارزیابی کیفیت آب منطقه از نظر شرب و کشاورزی

• نمودار شولر

از نمودار شولر به منظور بررسی کیفیت آب جهت آشامیدن استفاده می‌گردد. موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودار شولر کیفیت خوب تا قابل قبول را برای آب منطقه معلوم می‌سازد (شکل ۵-۱۲).

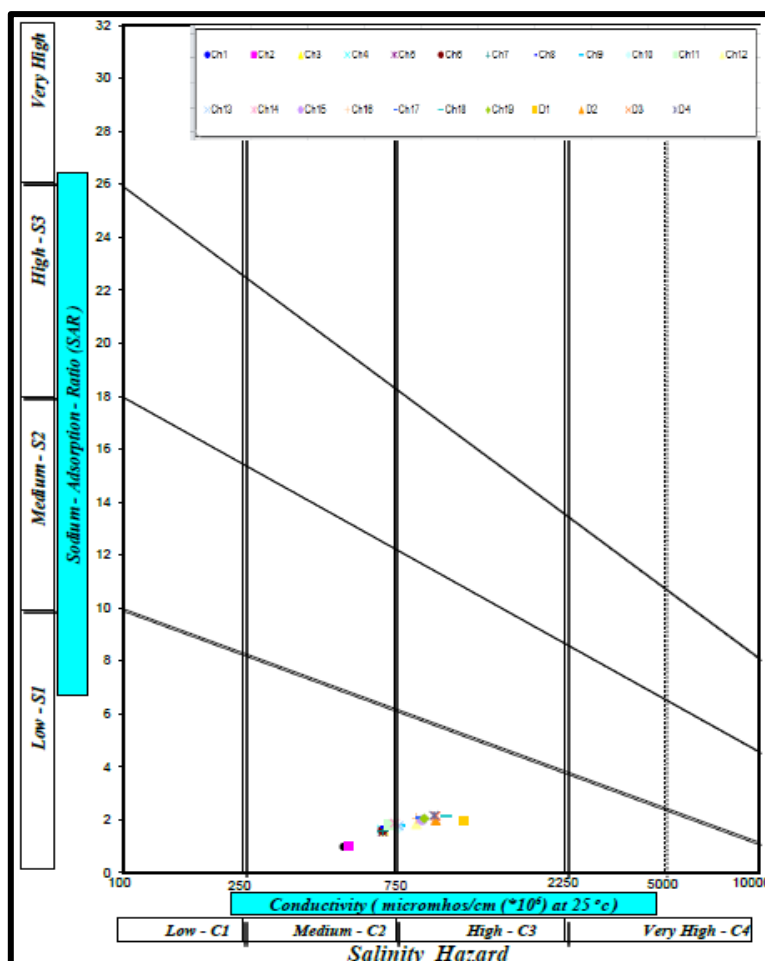


شکل (۵-۱۲): نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود بر روی نمودار شولر

• نمودار ویلکاکس

نمودار ویلکاکس نیز برای ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی می‌باشد. هدایت الکتریکی و SAR

(نرخ جذب سدیم) در کلاس بندی آب آبیاری مهم می باشند. محتوای بالای نمک در آب آبیاری باعث ایجاد فشار اسمزی در محلول خاک می شود. از سوی دیگر نمکها مستقیماً بر رشد گیاه تأثیر می گذارند و موجب اثر بر ساختار خاک و نفوذپذیری می شود (Trivedy and Geol, 1984). رده بندی نمونه های آب براساس کلاس بندی نمودار ویلکاکس (Wilcox, 1955) در جدول ۵-۵ آورده شده است. نمودار ویلکاکس توسط نرم افزار Chemistry برای نمونه های آب برداشت شده رسم شد (شکل ۵-۱۳). براساس این نمودار ۵۶/۵۲ درصد از نمونه های آب در کلاس C_2S_1 و ۴۳/۴۸ درصد در کلاس C_3S_1 قرار می گیرند. نتایج نشان می دهد که آب در ایستگاه های بالادست تا حدود ایستگاه Ch14 برای کشاورزی مناسب تر از ایستگاه های پایین دست می باشد.



شکل (۵-۱۳): نمونه های آب رودخانه چشمه علی و سرشاخه دامغانرود بر روی نمودار ویلکاکس

جدول (۵-۵): رده‌بندی نمونه‌های آب براساس کلاس‌بندی نمودار ویلکاکس

رده آب	نام نمونه‌ها	نوع آب جهت کشاورزی
C ₂ S ₁	Ch1-Ch2-Ch3-Ch4-Ch5-Ch6-Ch7-Ch8- Ch9-Ch10-Ch11-Ch13-Ch14	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
C ₃ S ₁	Ch12-Ch15-Ch16-Ch17-Ch18-Ch19-D1- D2-D3-D4	شور- قابل استفاده برای کشاورزی

۵-۴-۷- شاخص اشباع

شاخص اشباع برای ارزیابی تعادل بین آب و کانی مربوطه استفاده می‌گردد. این شاخص می‌تواند در شناسایی واکنش‌های ژئوشیمیایی مؤثر کنترل کننده شیمی آب کمک کننده باشد. شاخص اشباع می‌تواند با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردد:

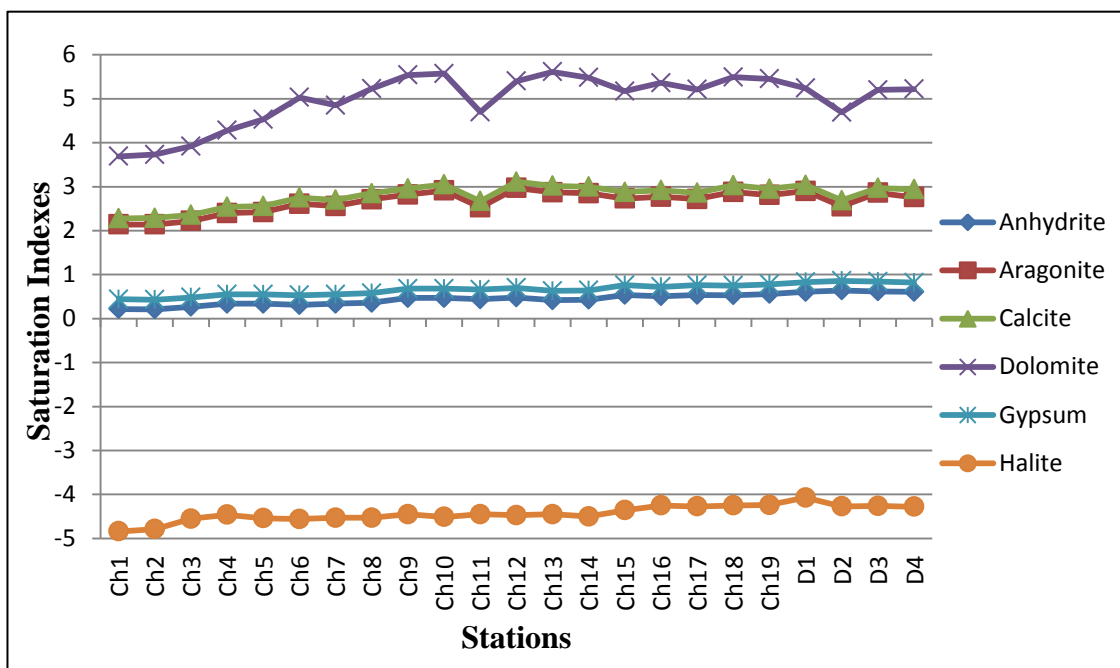
$$\text{SI} = \text{Log} (\text{IAP}/K_t) \quad \text{رابطه ۵-۲:}$$

در این رابطه IAP میزان تحرک کانی حل شونده و K_t ثابت انحلال‌پذیری در دمای حضور آن کانی می‌باشد. شاخص اشباع تعادل بین فاز آب و کانی را نشان می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک مقیاس انحلال یا فرآیند رسوبگذاری مرتبط با واکنش سنگ و آب مطرح گردد. شاخص اشباع یک کانی اطلاعاتی را در مورد تحرک کانی مانند انحلال و رسوبگذاری آن فراهم می‌کند. SI کوچکتر از صفر نشان می‌دهد آب منطقه با کانی مورد نظر تحت اشباع می‌باشد. بنابراین کانی مورد نظر می‌تواند بیشتر در آب حل گردد. شاخص اشباع بزرگتر از صفر شرایط فوق اشباع را نشان می‌دهد و دیگر این کانی در آب حل نمی‌گردد (Drever, 1997).

مقادیر شاخص اشباع نمونه‌های آب برداشت شده از رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود در جدول ۵-۶ و شکل ۵-۱۴ آورده شده است. محاسبه شاخص اشباع در منطقه مورد مطالعه به طور واضح نشان

می‌دهد که آب منطقه با کانی‌های اندریت، آراگونیت، ژپس، کلسیت و دولومیت به حالت فوق اشباع رسیده است. با توجه به رخنمون سازندهای کربناته و سولفات‌ها در منطقه مورد مطالعه این مطلب قابل توجیه است. این کانیها مسئول کنترل کردن یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات در آب منطقه می‌باشند. آب منطقه نسبت به هالیت در حالت تحت اشباع قرار دارد. این بدان معنی است که مقادیر بیشتری از این کانی می‌تواند در آب حل شود. این امر احتمالاً به دلیل این است که کانی هالیت در منطقه به وفور حضور ندارد و بیشتر سنگهای منطقه کربناته و سولفات‌ها هستند.

شکل (۵-۱۴): شاخص اشباع نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



۵-۴-۸- نسبت‌های یونی

به منظور بررسی منشأ کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب از روش تعادل جرمی با محاسبه نسبت یونی استفاده گردید. با کمک محاسبه نسبت‌های مختلف یون‌ها می‌توان به فرآیند کنترل کننده شیمی آب پی برد. برای محاسبه نسبت‌های یونی از نسبت‌های هانسلو (۱۹۹۵) استفاده گردید (Hounslow, 1995). در ابتدا

جدول (۵-۶): مقادیر شاخص اشباع در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

Stations	Anhydrite (CaSO ₄)	Aragonite (CaCO ₃)	Calcite (CaCO ₃)	Dolomite [CaMg(CO ₃) ₂]	Gypsum (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	Halite (NaCl)
Ch1	۰/۲۲	۲/۱۴	۲/۲۸	۳/۶۹	۰/۴۴	-۴/۸۴
Ch2	۰/۲۱	۲/۱۴	۲/۲۹	۳/۷۳	۰/۴۳	-۴/۷۹
Ch3	۰/۲۷	۲/۲۲	۲/۳۶	۳/۹۲	۰/۴۸	-۴/۵۵
Ch4	۰/۳۴	۲/۴۰	۲/۵۴	۴/۲۸	۰/۵۵	-۴/۴۶
Ch5	۰/۳۴	۲/۴۲	۲/۵۶	۴/۵۳	۰/۵۵	-۴/۵۴
Ch6	۰/۳۱	۲/۶۱	۲/۷۵	۵/۰۳	۰/۵۳	-۴/۵۶
Ch7	۰/۳۴	۲/۵۶	۲/۷۰	۴/۸۵	۰/۵۵	-۴/۵۳
Ch8	۰/۳۶	۲/۷۱	۲/۸۵	۵/۲۳	۰/۵۸	-۴/۵۳
Ch9	۰/۴۷	۲/۸۲	۲/۹۶	۵/۵۴	۰/۶۸	-۴/۴۵
Ch10	۰/۴۷	۲/۹۱	۳/۰۵	۵/۵۷	۰/۶۸	-۴/۵۱
Ch11	۰/۴۴	۲/۵۳	۲/۶۷	۴/۷۰	۰/۶۶	-۴/۴۵
Ch12	۰/۴۸	۲/۹۷	۳/۱۱	۵/۴۰	۰/۷۰	-۴/۴۷
Ch13	۰/۴۲	۲/۸۷	۳/۰۲	۵/۶۱	۰/۶۳	-۴/۴۵
Ch14	۰/۴۳	۲/۸۵	۳/۰۰	۵/۴۸	۰/۶۴	-۴/۵۰
Ch15	۰/۵۴	۲/۷۳	۲/۸۸	۵/۱۷	۰/۷۶	-۴/۳۶
Ch16	۰/۵۱	۲/۷۷	۲/۹۲	۵/۳۶	۰/۷۲	-۴/۲۵
Ch17	۰/۵۴	۲/۷۲	۲/۸۶	۵/۲۱	۰/۷۶	-۴/۲۷
Ch18	۰/۵۳	۲/۸۸	۳/۰۳	۵/۴۹	۰/۷۵	-۴/۲۵
Ch19	۰/۵۶	۲/۸۱	۲/۹۵	۵/۴۵	۰/۷۸	-۴/۲۴
D1	۰/۶۱	۲/۹۰	۳/۰۴	۵/۲۴	۰/۸۳	-۴/۰۷
D2	۰/۶۴	۲/۵۵	۲/۶۹	۴/۶۹	۰/۸۶	-۴/۲۷
D3	۰/۶۲	۲/۸۶	۲/۹۷	۵/۲۰	۰/۸۴	-۴/۲۶
D4	۰/۶۱	۲/۷۶	۲/۹۴	۵/۲۲	۰/۸۲	-۴/۲۸

با بررسی نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها معلوم شد فرآیند مهم کنترل کننده شیمی آب در منطقه هوازگی سنگها می‌باشد زیرا این نسبت در بازه ۰/۱۴ تا ۰/۲۲ است و از ۰/۸ کوچکتر می‌باشد.

۵-۴-۸-۱- انحلال کانیهای سولفات

بررسی نقش انحلال کانی‌های سولفات در غلظت کلسیم در نمونه‌ها از طریق محاسبه نسبت $Ca^{2+}/SO_4 + Ca^{2+}$ انجام گردید. در منطقه مورد مطالعه این نسبت از ۰/۵ بزرگتر می‌باشد و این موضوع نشان‌دهنده این است که کلسیم عمدتاً از انحلال سنگهای غیر از ژئوپس وارد آب شده است. بررسی لیتولوژی منطقه نیز این امر را تأیید می‌کند که انحلال سنگهای کربناته سهم عمده‌ای در تولید کلسیم داشته‌اند. البته با حرکت به سمت پایین‌دست و افزایش رخنمون سنگهای حاوی ژئوپس این نسبت اندکی کاهش می‌یابد اما به کمتر از ۰/۵ نمی‌رسد.

۵-۴-۸-۲- انحلال کربنات‌ها

در صورتیکه نسبت بی‌کربنات به مجموع آنیون‌ها از ۰/۲ بزرگتر باشد نشان‌دهنده منشأ بی‌کربنات از انحلال کربنات‌ها و سیلیکات‌ها می‌باشد. این نسبت در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه بین ۰/۴۸ تا ۰/۶۱ متغیر می‌باشد. با توجه به رخنمون سنگهای کربناته در منطقه مورد مطالعه غالب بودن بی‌کربنات نسبت به آنیون‌های دیگر قابل توجیه است.

۵-۴-۸-۳- انحلال هالیت

مقادیر برابر سدیم و کلر نشان از انحلال نمک‌های کلریدی و غنی‌شدگی توسط فرآیند تبخیر دارد. اگر نسبت سدیم به کلر تقریباً برابر ۱ باشد منشأ سدیم و کلر هالیت می‌باشد و اگر از یک بزرگتر باشد هوازگی سیلیکات مسئول ورود سدیم به آب می‌باشد (Meyback, 1987). این نسبت در مظهر چشمه به یک نزدیک است و با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه، این نسبت از یک بیشتر می‌گردد که این امر را می‌توان به ورود سدیم از منبعی علاوه بر هالیت مانند سیلیکات‌ها، در نمونه‌های پایین‌دست نسبت داد.

۵-۴-۸-۴- انحلال سیلیکات‌ها

برای بررسی انحلال سیلیکات‌ها باید نسبت $(Na^+ + K^+ - Cl^- / Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+})$ محاسبه گردد. اگر این نسبت بین ۰/۲ تا ۰/۸ باشد احتمال انحلال سیلیکات‌ها وجود دارد. در ۲ ایستگاه اول این نسبت از ۰/۲ کوچکتر می‌باشد. اما از ایستگاه Ch3 به سمت پایین دست این نسبت بین ۰/۲ تا ۰/۸ قرار می‌گیرد که احتمال انحلال سیلیکات‌ها و تأثیرگذاری آنها بر کیفیت آب و غلظت یون‌ها در آب منطقه را نشان می‌دهد.

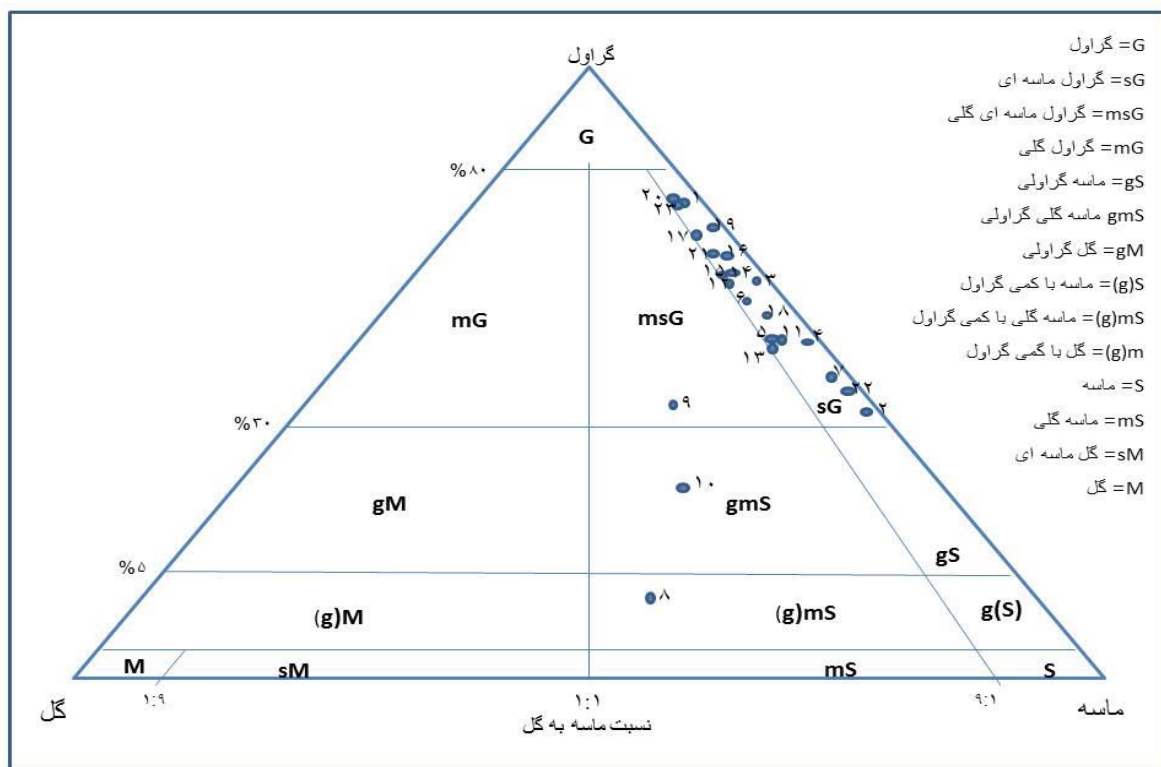
۵-۵- بررسی پارمترهای فیزیکوشیمیایی در رسوبات منطقه

۵-۵-۱- بافت رسوبات

همانطور که در جدول ۵-۲ و شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است، بافت رسوبات بستر رودخانه با استفاده از مثلث فولک (۱۹۵۴) براساس درصد گل، ماسه و گراول نامگذاری گردید. نتایج حاصل از دانه‌بندی نشان داد، به استثنای ۳ نمونه Ch8، Ch9 و Ch10 تمامی نمونه‌ها در گروه گراول ماسه‌ای قرار می‌گیرند این دانه‌بندی با توجه به واحدهای لیتولوژیکی و کوهستانی بودن منطقه قابل توجیه می‌باشد. ایستگاه Ch8 از نوع ماسه گلی می‌باشد. این قسمت از رودخانه چشمه‌علی پایین دست باغات و با فاصله زیادی از ارتفاعات با سرعت کم در دشت جاری است. رسوبات این ایستگاه بعد از اختلاط با سرشاخه دامغانرود (گراول ماسه‌ای) به گراول ماسه‌ای گلی (Ch9) تبدیل می‌گردد. ایستگاه Ch10 احتمالاً مجاورت این ایستگاه با زمین‌های کشاورزی باعث ریز دانه‌تر شدن رسوبات (ماسه گلی گراولی) این بخش از رودخانه شده است.

۵-۵-۲- مواد آلی رسوبات

میانگین مواد آلی در رسوبات رودخانه چشمه‌علی ۲/۲۹ درصد می‌باشد. حداقل مقدار ماده آلی در ایستگاه Ch17 بالاتر از پل (۱/۲۱٪) و حداکثر ماده آلی در Ch10 (۴/۴٪) اندازه‌گیری شد. ایستگاه Ch10

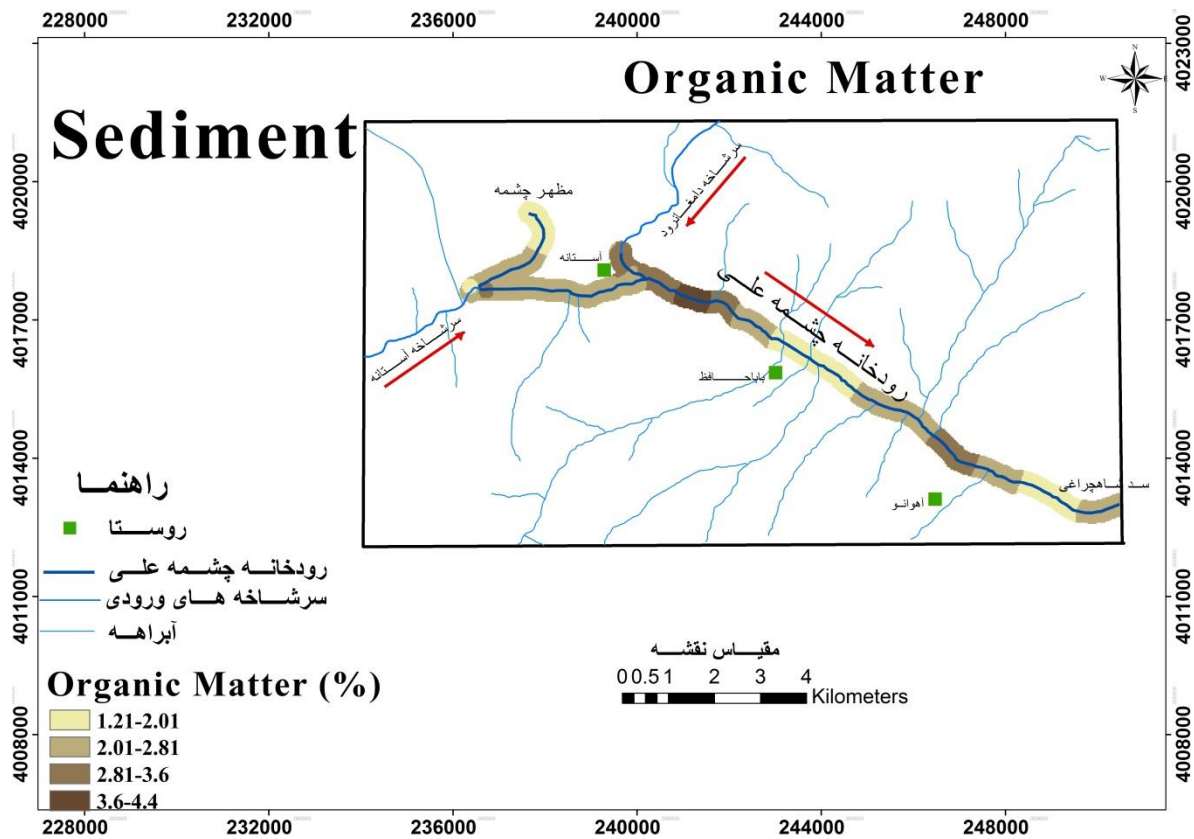


شکل (۵-۱۵): تعیین بافت رسوبات با استفاده از مثلث فولک (Folk, 1954)

به خاطر قرار گرفتن در مجاورت با مزارع کشاورزی اعم از گوجه فرنگی و کدو بالاترین درصد ماده آلی را نشان می‌دهد. می‌توان گفت رشد طبیعی درختان در کنار حوضچه چشمه و وجود باغات و زمین‌های کشاورزی در حاشیه رودخانه دلیل وجود ماده آلی در رسوبات می‌باشد. سرشاخه دامغانرود دارای ۲/۶۳ تا ۲/۱۳ درصد ماده آلی می‌باشند. در بالادست این سرشاخه زمین‌های کشاورزی زیادی حضور دارد و همچنین باغات و درختان در حاشیه دامغانرود به چشم می‌خورند. روند تغییرات مواد آلی در شکل ۵-۱۶ آورده شده است.

۵-۵-۳- کربنات کلسیم رسوبات

حداکثر درصد کربنات کلسیم در ایستگاه‌های Ch4، Ch3، Ch1 و Ch2 به ترتیب ۳۶/۲۹٪، ۳۴/۰۵٪، ۳۲/۹۸٪ و ۳۱/۷۸٪ به دلیل تأثیر سازندهای کربناته مشاهده می‌گردد. به طوریکه رسوبات این بخش از

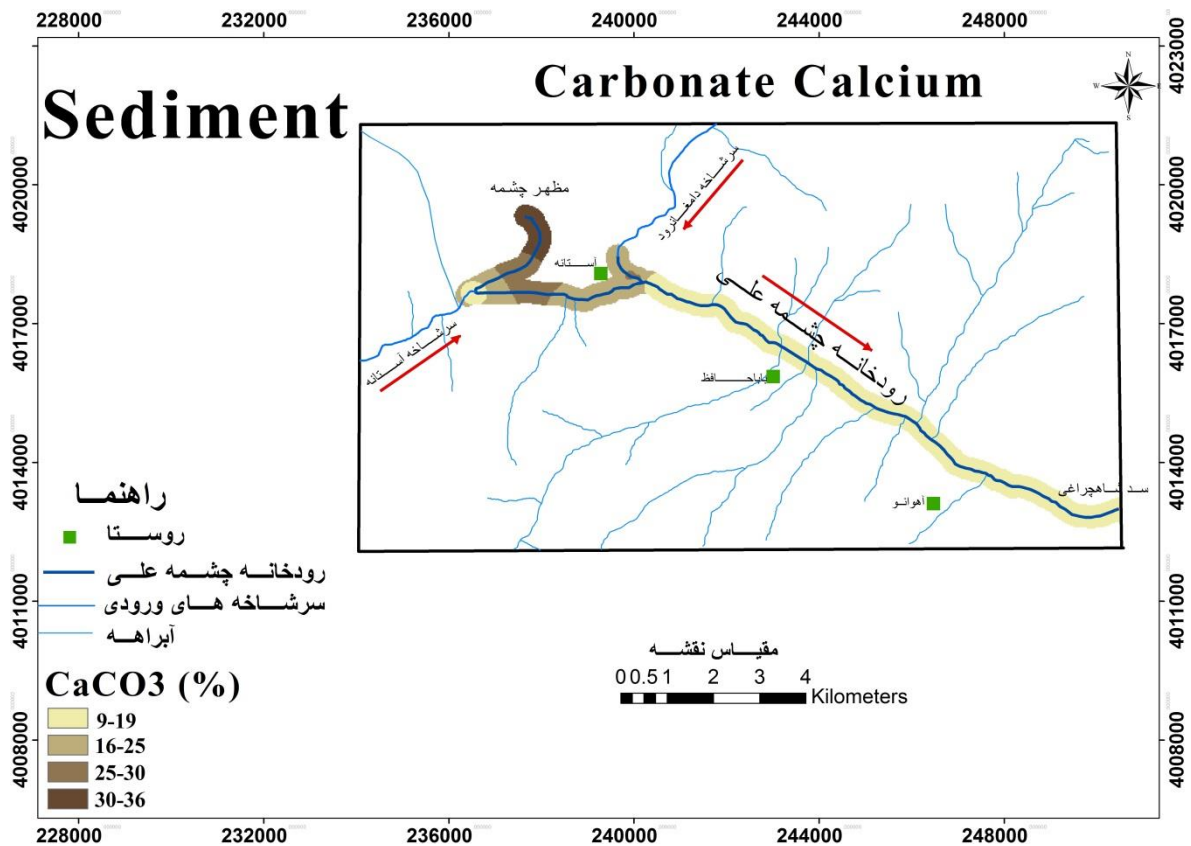


شکل (۵-۱۶): تغییرات مواد آلی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

رودخانه سفید و آهکی می‌باشند (شکل ۵-۱۷). بالاترین درصد کربنات کلسیم در ایستگاه Ch4 اندازه‌گیری شد. از ایستگاه Ch6 میزان کربنات کلسیم رسوب کاهش می‌یابد و در ایستگاه Ch14 به کمترین میزان خود (۹/۳۲٪) می‌رسد. این ایستگاه (Ch14) تحت تأثیر سازند کرج و رسوبات کواترنری می‌باشد. سرشاخه آستانه مقدار کربنات کلسیم (۱۵/۴۳٪) نزدیکی را با ایستگاه Ch6 (۱۴/۷۷٪) نشان می‌دهد و در سرشاخه دامغانرود به دلیل حضور سازند آهکی لار میانگین ۲۳/۱۳ درصد از کربنات کلسیم مشاهده می‌شود.

۵-۶- همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوب

محاسبه همبستگی به منظور مشخص شدن رابطه خطی بین دو متغیر نسبت بهم به کار برده می‌شود. در صورت وجود رابطه مستقیم بین دو متغیر و افزایش یا کاهش همزمان آنها با یکدیگر ضریب همبستگی



شکل (۵-۱۷): تغییرات کربنات کلسیم در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

آنها به یک نزدیک خواهد بود، اما در صورت داشتن رابطه معکوس با یکدیگر و افزایش و کاهش مخالف هم مقدار همبستگی به منفی یک متمایل می‌گردد. به طور کلی مقدار همبستگی بین +۱ و -۱ تغییر می‌کند. به منظور یافتن روابط میان پارامترهای آب و رسوب محاسبه همبستگی داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS16 انجام گردید. همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و رسوب به ترتیب در جدول (۵-۷) و (۵-۸) آورده شده است.

۵-۶-۱- آب

نتایج محاسبه همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب (جدول ۵-۷) را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- همبستگی مثبت میان کلر و سدیم (۰/۷۴۴) به انحلال هالیت در منطقه اشاره دارد.

- همبستگی هدایت الکتریکی با سولفات (۰/۹۱۰)، کلر (۰/۸۰۱)، بی‌کربنات (۰/۶۹۹) و از سوی دیگر همبستگی با کلسیم (۰/۶۰۳)، سدیم (۰/۹۲۹) و منیزیم (۰/۶۳۶) به این نکته اشاره دارد که طی انحلال سنگهای کربناته موجود در سازندهای لار، دلیچای و الیکا و تبخیری موجود در سازند کرج و رسوبات نئوژن در حوضه آبریز رودخانه، این کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محیط آب آزاد می‌گردند و موجب افزایش هدایت الکتریکی آب می‌شوند.
- همبستگی مثبت میان نیترات و فسفات (۰/۶۶۹) نشان‌دهنده منشأ مشترک این آنیون‌ها می‌باشد. با توجه به وجود مزارع و باغات و فاضلاب روستاها این همبستگی قابل توجیه است و منشأ آنها بشرزاد می‌باشد.
- همبستگی مثبت pH و بی‌کربنات (۰/۷۷۷) حاکی از نقش مؤثر pH در کنترل بی‌کربنات در آب است.
- همبستگی منیزیم و بی‌کربنات (۰/۷۵۵) با توجه به وجود دولومیت در سازند الیکا در منطقه قابل توجیه است.
- همبستگی مثبت بین سختی با کلسیم (۰/۶۱۸) و منیزیم (۰/۸۲۷) به نقش این دو کاتیون در سختی اشاره دارد. از سوی دیگر سختی به دلیل انحلال سنگهای کربناته و ژپس در منطقه و آزاد نمودن منیزیم و کلسیم با سولفات (۰/۹۰۵) و بی‌کربنات (۰/۷۷۱) همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

۵-۶-۲- رسوب

نتیجه محاسبه همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر (جدول ۵-۸) به صورت زیر خلاصه شده است:

- همبستگی مس با کروم (۰/۹۰۵)، روی (۰/۸۸۶)، نیکل (۰/۹۰۵)، سرب (۰/۶۲۳) نشان‌دهنده

منشأ مشترک این عناصر (زمین‌زاد به صورت غالب) با یکدیگر می‌باشد.

- همبستگی مثبت آهن با کروم (۰/۷۰۶)، روی (۰/۷۴۳)، نیکل (۰/۷۵۸) و مس (۰/۷۵۰) این مطلب را آشکار می‌سازد که اکسیدهای آهن نقش مهمی در جذب و نگهداشت این عناصر در رسوبات دارند. همچنین تأکیدی بر منشأ زمین‌زاد این عناصر می‌باشد.
- همبستگی مثبت pH با مس (۰/۶۳۷)، نیکل (۰/۷۳۴)، کروم (۰/۶۴۱)، روی (۰/۷۳۷) به تأثیر مستقیم pH بر کنترل غلظت این فلزات در رسوبات اشاره دارد، به گونه‌ای که با قلیایی شدن محیط، انحلال‌پذیری این عناصر کاهش یافته و میزان بیشتری از عناصر در رسوب باقی می‌مانند.
- کربنات کلسیم با نیکل (۰/۶۱۹-) و pH (۰/۶۹۰-) همبستگی منفی نشان می‌دهد. این مطلب به خوبی روشن می‌سازد که در منطقه با تبدیل رسوبات کربناته به آواری غلظت نیکل در رسوب افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی مقادیر pH در آب و رسوبات از مظهر چشمه به سمت پایین‌دست افزایش می‌یابد که این امر را می‌توان به بسته بودن سیستم کارست چشمه‌علی نسبت داد، دی‌اکسیدکربن را به مصرف می‌رساند و قدرت انحلال کربنات کاهش می‌یابد و به دنبال خارج شدن آب از چشمه و خروج از کارست جذب دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد و موجب انحلال کربنات کلسیم می‌شود که باعث بالا رفتن pH می‌گردد.

جدول (۵-۷): مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب

	EC	pH	TDS	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	NO ₃ ⁻	TH
EC	۱/۰۰۰											
pH	۰/۸۴۲**	۱/۰۰۰										
TDS	۰/۹۹۸**	۰/۸۳۷**	۱/۰۰۰									
Ca	۰/۶۰۳**	۰/۳۱۹	۰/۶۰۸**	۱/۰۰۰								
Mg	۰/۶۳۶**	۰/۷۹۷**	۰/۶۳۷**	۰/۷۷۰	۱/۰۰۰							
Na	۰/۹۲۹**	۰/۸۴۷**	۰/۹۲۵**	۰/۵۱۲*	۰/۷۸۶**	۱/۰۰۰						
HCO ₃	۰/۶۹۹**	۰/۷۷۷**	۰/۶۹۶**	۰/۵۲۳*	۰/۷۵۵**	۰/۸۱۵**	۱/۰۰۰					
Cl	۰/۸۰۱**	۰/۵۵۳*	۰/۸۰۳**	۰/۴۱۲	۰/۴۳۹*	۰/۷۴۴**	۰/۴۰۶	۱/۰۰۰				
SO ₄	۰/۹۱۰**	۰/۸۸۴**	۰/۹۱۵**	۰/۵۰۷*	۰/۸۱۵**	۰/۹۳۵**	۰/۸۳۴**	۰/۷۶۱**	۱/۰۰۰			
PO ₄	۰/۳۸۸	۰/۵۱۷*	۰/۳۷۳	-۰/۰۱۵	۰/۶۵۶**	۰/۵۵۹*	۰/۵۲۰*	۰/۰۸۸	۰/۴۵۶*	۱/۰۰۰		
NO ₃	۰/۴۱۸	۰/۵۱۵*	۰/۳۹۹	-۰/۰۷۴	۰/۵۴۱*	۰/۵۰۲*	۰/۳۱۱	۰/۲۳۹	۰/۴۳۶	۰/۶۶۹**	۱/۰۰۰	
TH	۰/۸۲۱**	۰/۷۹۹**	۰/۸۲۶**	۰/۶۱۸**	۰/۸۲۷**	۰/۸۸۶**	۰/۸۷۹**	۰/۶۰۸**	۰/۹۱۶**	۰/۴۷۸*	۰/۳۵۹	۱/۰۰۰

**معنی داری در سطح ۰/۰۱ درصد

*معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد

جدول (۵-۸): مقادیر همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در رسوب

	Cu	Cd	Cr	Zn	Fe	Ni	Pb	EC	pH	Mud	Sand	Gravel	OM	CaCO ₃
Cu	۱/۰۰۰													
Cd	۰/۳۲۸	۱/۰۰۰												
Cr	۰/۹۰۵**	۰/۴۰۶*	۱/۰۰۰											
Zn	۰/۸۸۶**	۰/۳۶۸	۰/۸۰۶**	۱/۰۰۰										
Fe	۰/۷۵۰**	۰/۳۹۶	۰/۷۰۶**	۰/۷۴۳**	۱/۰۰۰									
Ni	۰/۹۰۵**	۰/۳۹۹	۰/۹۲۴**	۰/۸۴۴**	۰/۷۵۸**	۱/۰۰۰								
Pb	۰/۶۲۳**	۰/۵۸۶**	۰/۴۳۸*	۰/۶۱۷**	۰/۴۳۸*	۰/۴۸۱*	۱/۰۰۰							
EC	۰/۴۸۶*	۰/۰۸۹	۰/۳۹۴	۰/۵۵۶**	۰/۲۸۸	۰/۳۶۰	۰/۳۵۱	۱/۰۰۰						
pH	۰/۶۳۷**	-۰/۱۰۶	۰/۶۴۱**	۰/۷۳۷**	۰/۵۳۸**	۰/۷۳۴**	۰/۲۸۳	۰/۴۷۴*	۱/۰۰۰					
Mud	۰/۴۹۵*	۰/۲۵۷	۰/۵۹۹**	۰/۲۸۷	۰/۲۹۹	۰/۴۷۴*	۰/۲۲۱	۰/۲۱۹	-۰/۳۸۷	۱/۰۰۰				
Sand	-۰/۱۴۹	۰/۵۱۷**	۰/۰۱۸	-۰/۱۳۳	-۰/۱۲۱	-۰/۰۸۷	-۰/۰۹۲	-۰/۰۰۰	-۰/۳۳۶	۰/۱۰۸	۱/۰۰۰			
Gravel	-۰/۰۷۵	-۰/۳۰۰	-۰/۲۸۸	۰/۰۵۹	۰/۰۰۷	-۰/۱۳۹	۰/۰۴۷	۰/۱۲۲	۰/۰۶۳	-۰/۵۱۲*	۰/۶۵۷**	۱/۰۰۰		
OM	۰/۳۳۹	۰/۳۴۹	۰/۲۸۴	۰/۳۸۴	۰/۴۴۸*	۰/۲۴۵	۰/۱۹۰	۰/۳۵۶	۰/۲۱۶	۰/۲۵۱	۰/۱۰۸	-۰/۱۶۱	۱/۰۰۰	
CaCO₃	-۰/۵۴۳**	-۰/۲۰۸	-۰/۵۷۶**	-۰/۵۷۸**	-۰/۴۷۴**	۰/۶۹۰**	-۰/۴۳۵*	-۰/۲۴۴	-۰/۶۱۹**	-۰/۵۹۰**	۰/۰۲۷	۰/۰۶۲	-۰/۱۸۴	۱/۰۰۰

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

۵-۷- نقش عوامل بشرزاد و زمین‌زاد بر روند تغییرات فلزات سنگین در آب و رسوب رودخانه

نتایج آنالیز نمونه‌های آب و رسوب به ترتیب در جدول (۵-۹) و (۵-۱۰) آورده شده است. همچنین نمودار

پایداری عناصر براساس pH-Eh در شکل ۵-۱۸ آورده شده است.

جدول (۵-۹): غلظت عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های آب بر حسب میکروگرم بر لیتر

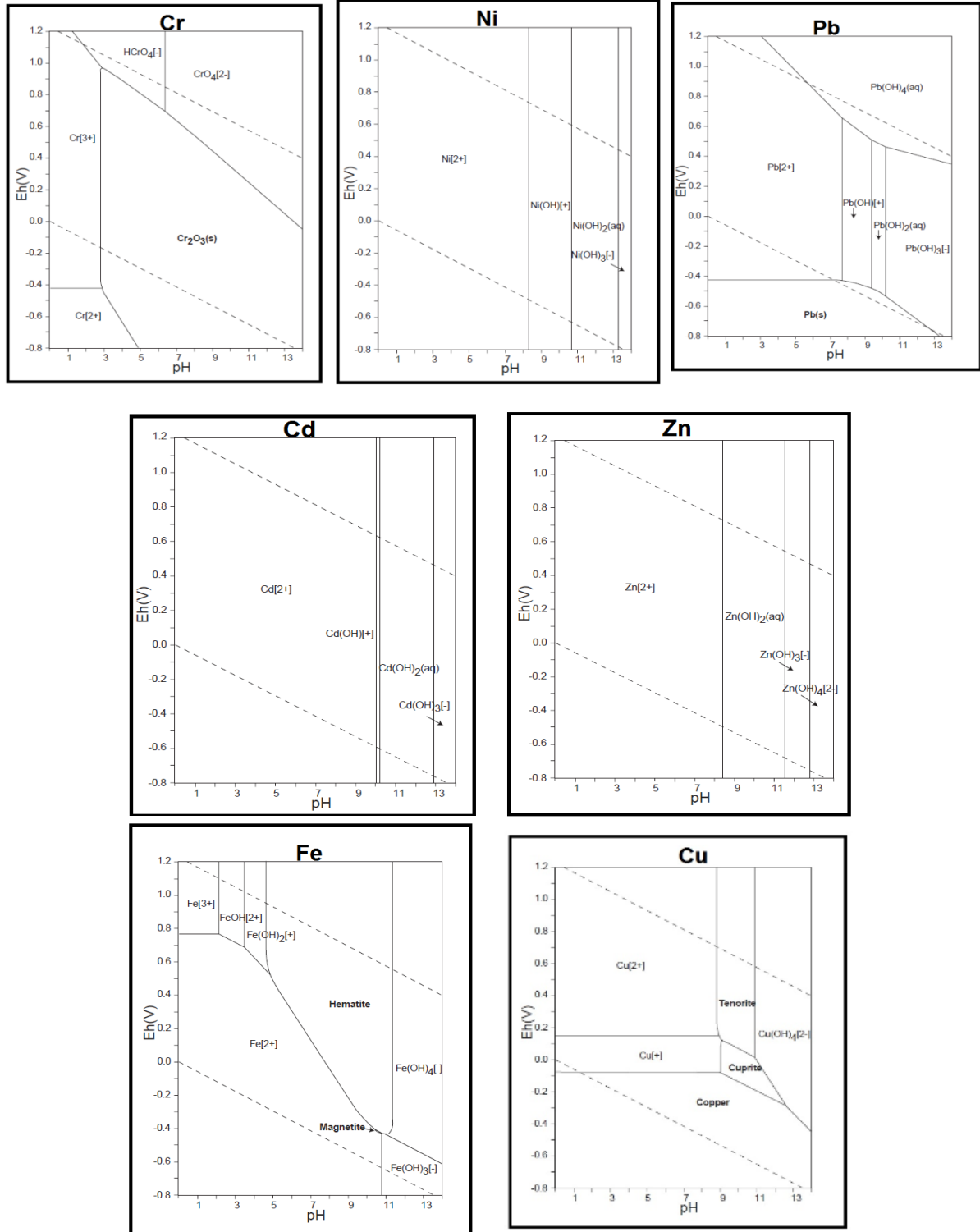
Stations	Fe	Cu	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd
Ch1	۷۵	۶	۵	۱۱	۶/۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch2	۶۶	۵	۸	۱۱	۵/۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch3	۷۱	۳	۷	۱۰	۶/۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch4	۷۸	۴	۷	۱۲	۴/۹	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch5	۷۱	۶	۸	۱۷	۴/۹	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch6	۸۷	۷	۸	۲۳	۶/۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch7	۱۳۴/۴	۷	۱۰	۱۷	۵/۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch8	۱۴۴	۶	۱۰	۱۹	۵/۸	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch9	۱۵۰	۵	۱۲	۲۴	۴/۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch10	۱۵۲	۶	۹	۱۵	۴/۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch11	۱۵۱	۶	۱۰	۱۶	۵/۳	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch12	۱۷۰	۵	۱۰	۱۶	۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch13	۱۷۱	۵	۱۱	۲۰	۶/۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch14	۱۳۲	۶	۱۵	۱۴	۴/۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch15	۱۳۴	۵	۱۲	۱۹	۵/۶	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch16	۱۳۹	۶	۱۰	۱۷	۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch17	۱۲۹	۶	۸	۱۲	۵/۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch18	۱۳۹	۴	۱۱	۲۰	۵/۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ch19	۱۳۲	۴	۱۳	۲۴	۴/۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Mean Ch	۱۲۱/۸۶	۵/۳۶	۹/۶۸	۱۶/۶۸	۵/۲۴	-	-
D1	۱۳۴	۷	۱۲	۲۱	۵/۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
D2	۱۲۵	۶	۱۱	۲۱	۵	<۰/۰۱	<۰/۰۱
D3	۱۳۳	۵	۱۷	۲۰	۴/۹	<۰/۰۱	<۰/۰۱
D4	۱۱۶	۶	۱۵	۲۴	۴/۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Mean D	۱۲۷	۶	۱۳/۷۵	۲۱/۵	۴/۸۵	-	-
Max	۱۷۱	۷	۱۷	۲۴	۶/۵	-	-
Min	۶۶	۳	۵	۱۰	۴	-	-
WHO (2011)*	۳۰۰	۲۰۰۰	۷۰	۵۰	۵۰۰۰	۱۰	۳

* Drinking Water Standards

جدول (۵-۱۰): غلظت عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

Stations	Fe	Cu	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd
Ch1	۱۴۱۱۰	۵/۹	۸/۵	۱۱/۶۰	۳۲/۸۳	۱۲	۰/۴۰
Ch2	۱۵۳۲۰	۷/۶	۱۰	۱۲/۳۰	۴۳/۷۸	۱۵	۰/۶۰
Ch3	۱۶۷۳۰	۶/۷	۱۳/۵۰	۱۱/۷۰	۳۸/۷۷	۱۲	۰/۵۰
Ch4	۱۴۴۸۰	۴/۸	۷/۶۰	۱۱/۶۰	۳۹/۸۸	۱۳	۱/۱۰
Ch5	۱۸۶۸۰	۱۱/۶	۱۲/۶۰	۱۵/۶۰	۵۳/۱۷	۳۶	۴/۲۰
Ch6	۴۹۴۱۰	۱۵/۸	۲۷/۳۰	۲۱/۳۰	۷۱/۴۹	۲۷	۲/۵۰
Ch7	۳۶۲۷۰	۱۲/۸	۲۸/۰۰	۲۳/۵۰	۶۹/۰۶	۱۹	۲/۲۰
Ch8	۳۰۰۴۰	۱۴/۳	۳۰/۷۰	۲۷/۶۰	۶۱/۲۰	۱۹	۱/۵۰
Ch9	۲۵۹۹۰	۱۴/۸	۲۶/۸۰	۲۴/۸۰	۶۶/۵۳	۱۶	۰/۸۰
Ch10	۲۷۱۷۰	۱۴/۹	۳۰/۵۰	۲۷/۱۰	۶۸/۲۵	۱۹	۲/۴۰
Ch11	۲۸۲۶۰	۱۱/۸	۲۰/۵۰	۱۸/۵۰	۶۷/۶۵	۲۵	۱/۵۰
Ch12	۳۷۱۸۰	۱۵/۶	۲۹/۳۰	۲۱/۸۰	۷۸/۹۴	۱۸	۰/۹۰
Ch13	۳۰۸۱۰	۱۴/۲	۲۸/۱۰	۲۳/۸۰	۷۱/۸۶	۲۷	۲/۹۰
Ch14	۶۰۶۴۰	۱۱/۷	۲۵/۶۰	۱۹/۴۰	۶۱/۹۹	۲۳	۱/۴۰
Ch15	۳۶۲۵۰	۱۱/۲	۲۴/۲۰	۱۷/۴۰	۶۲/۴۱	۲۱	۱/۵۰
Ch16	۲۴۲۷۰	۱۱/۳	۱۹/۱۰	۱۶/۷۰	۷۲/۲۶	۲۲	۰/۶۰
Ch17	۲۱۰۸۰	۱۴/۹	۲۴/۹۰	۲۱/۹۰	۷۵/۱۰	۲۴	۰/۷۰
Ch18	۲۰۳۲۰	۱۵/۴	۳۷/۷۰	۲۲/۷۰	۷۲/۴۲	۲۹	۰/۹۰
Ch19	۲۳۹۸۰	۹/۳	۱۸/۵۰	۱۵/۲۰	۶۳/۶۳	۱۹	۰/۴۰
Mean Ch	۲۶۳۶۷/۸۹	۱۱/۶۸	۲۲/۲۸	۱۹/۱۸	۶۱/۶۴	۲۰/۸۴	۱/۴۲
D1	۳۸۴۵۰	۱۸/۸	۲۶/۰۰	۲۱/۵۰	۷۲/۶۳	۲۲	۰/۶۰
D2	۳۱۱۱۰	۱۴/۷	۲۷/۴۰	۲۲/۷۰	۹۰/۷۱	۲۱	۱/۵۰
D3	۳۳۷۳۰	۱۱/۵	۱۸/۲۰	۱۷/۱۰	۷۲/۵۲	۲۶	۱/۱۰
D4	۳۰۰۴۰	۱۶/۷	۲۷/۵۰	۲۵/۰۰	۸۴/۰۱	۱۹	۰/۶۰
Mean D	۳۳۳۳۲/۵	۱۵/۴۲	۲۴/۷۷	۲۱/۵۷	۷۹/۹۶	۲۲	۰/۹۵
A24	۴۱۸۹۰	۱۴/۴	۳۰/۱۰	۲۵/۵۰	۶۷/۴۸	۲۰	۱/۳۰
Max	۴۹۴۱۰	۱۸/۸	۳۷/۷	۲۷/۶	۹۰/۷۱	۳۶	۴/۲
Min	۱۴۱۱۰	۴/۸	۷/۶	۱۱/۶	۳۲/۸۳	۱۲	۰/۴
W.M.S*	۴۱۰۰۰	۳۳	۵۲	۷۲	۹۵	۱۹	۰/۱۷

* World Mean Sediment: Bowen 1979



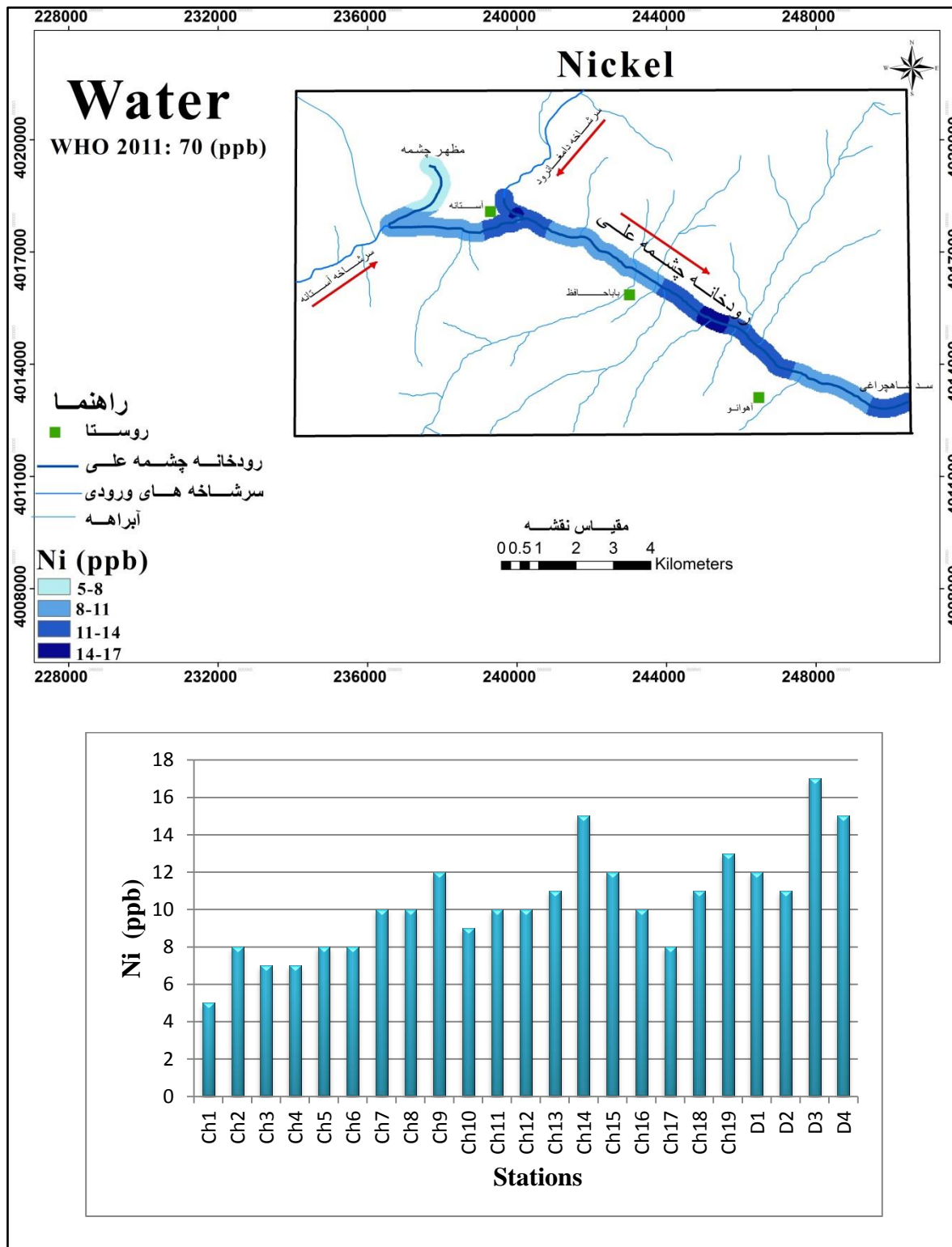
شکل (۵-۱۸): نمودار پایداری عناصر براساس pH- Eh (Tekeno, 2005)

۵-۷-۱- نیکل

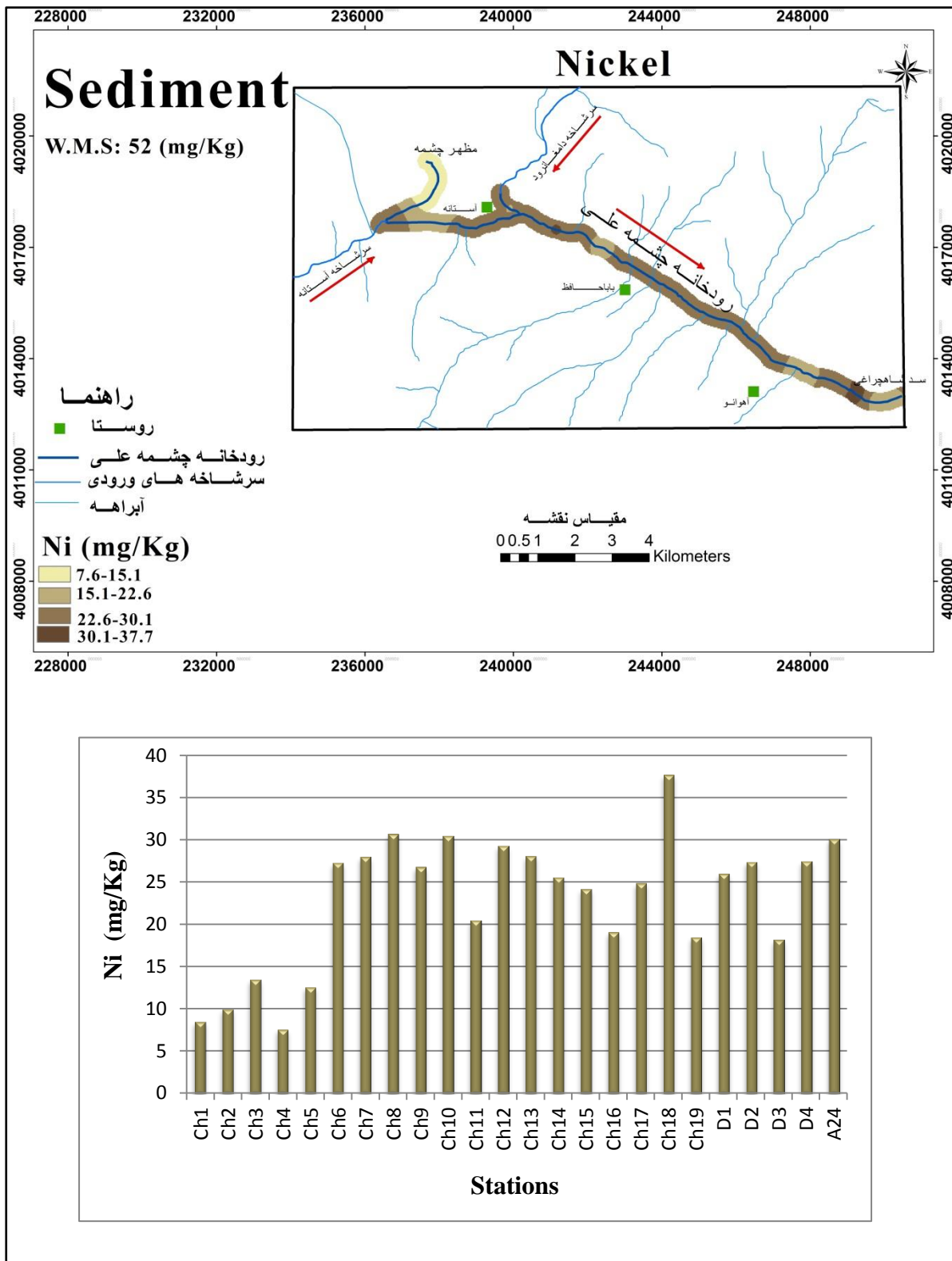
فلز نیکل بیشتر به صورت ذرات معلق حمل می‌گردد و کمتر به صورت محلول می‌باشد. این فلز تحرک پایینی را در فاز محلول نشان می‌دهد. ذرات اکسیدهای آهن، منگنز و ذرات رس جاذب این فلز می‌باشند (Beijer and Jernelöv, 1986). در منطقه مورد مطالعه نیز همبستگی بالایی میان نیکل و آهن (۰/۷۵۸) یافت گردید (جدول ۵-۸) که نشان‌دهنده نقش اکسیدهای آهن در جذب و نگهداشت این فلز می‌باشند.

نتایج آنالیز نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی نشان داد که غلظت عنصر نیکل بین ۵ میکروگرم بر لیتر در ایستگاه Ch1 تا ۱۵ میکروگرم بر لیتر در ایستگاه Ch14 متغیر می‌باشد. غلظت نیکل در سرشاخه دامغانرود بین ۱۱ تا ۱۷ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌کند و دارای مقادیری نزدیک به رودخانه چشمه‌علی می‌باشد. مقایسه غلظت نیکل در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استاندارد جهانی آب آشامیدنی (WHO, 2011) روشن می‌سازد که غلظت نیکل در تمام ایستگاه‌ها پایین‌تر از حد مجاز (۷۰ میکروگرم بر لیتر) می‌باشد (شکل ۵-۱۹). با توجه به نمودار پایداری نیکل در آب و میانگین pH منطقه (۸/۴۶)، نیکل می‌تواند به صورت گونه‌های Ni^{2+} و $Ni(OH)^+$ در آب حضور داشته باشد.

کمترین غلظت نیکل در رسوب در ایستگاه Ch1 (۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد و در ایستگاه Ch18 (۳۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به بالاترین مقدار خود رسید. از آنجائیکه فعالیت‌های حمل‌ونقل و قسمت‌های حرکت‌کننده اتومبیل و غلاف‌های آن می‌توانند تولیدکننده نیکل باشند (Makepeace et al., 1995)، بنابراین می‌توان وجود نیکل بالا در رسوبات را به نزدیکی رودخانه با جاده چشمه‌علی نسبت داد. میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی ۲۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرشاخه دامغانرود ۲۴/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آستانه ۳۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که در تمام موارد پایین‌تر از غلظت متوسط رسوب جهانی (۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است (شکل ۵-۲۰).



شکل (۵-۱۹): غلظت عنصر نیکل در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



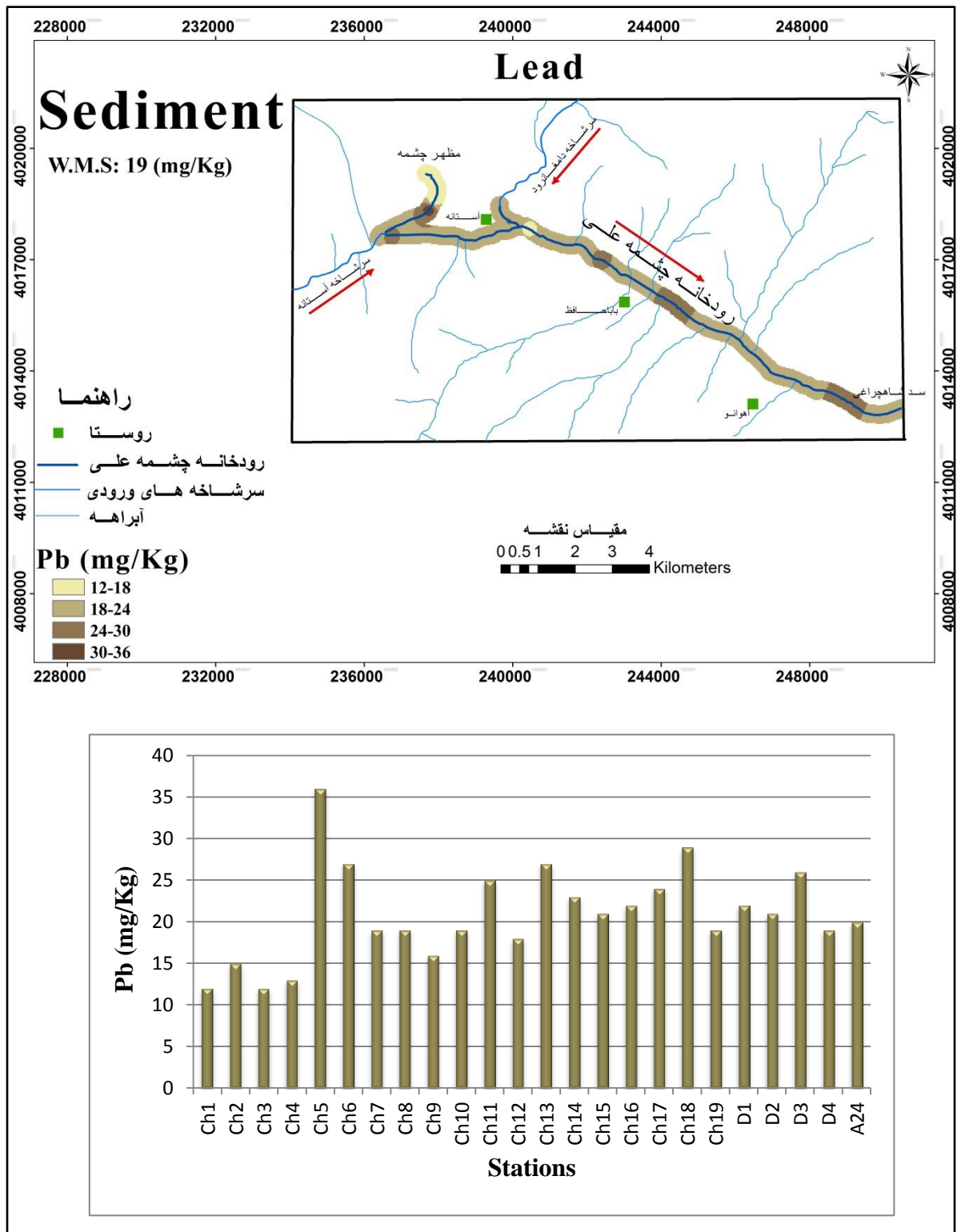
شکل (۵-۲۰): غلظت عنصر نیکل در نمونه‌های رسوب چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

با دقت در روند تغییرات تمرکز نیکل در آب و رسوب رودخانه چشمه‌علی ملاحظه می‌شود که روند تغییرات آب و رسوب یکسان نمی‌باشد و به دلیل pH قلیایی منطقه مقدار اندکی از نیکل در آب حل می‌گردد و با افزایش نیکل در رسوب تغییری در غلظت نیکل در آب مشاهده نمی‌شود. کمترین غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب در ایستگاه‌های ابتدائی اندازه‌گیری شد که دلیل این امر را می‌توان به رخنمون سازندهای کربناته در این ایستگاه‌ها مربوط دانست و از ایستگاه Ch6 به دلیل تغییر رسوبات کربناته به آواری افزایش محسوسی در غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب مشاهده می‌گردد. براساس تحقیق لیونز و همکاران (۱۹۷۹) غلظت نیکل بین مقادیر ۲-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در زغال سنگها تغییر می‌کند. به همین دلیل حضور لایه زغالدار شمشک در منطقه می‌تواند دلیلی بر وجود نیکل در رسوبات باشد. به طور کلی می‌توان گفت که شرایط زمین‌شناسی منطقه تأثیر بسزایی در پراکنش نیکل در آب و رسوب رودخانه دارد. همبستگی مثبت و بالای نیکل با آهن (۰/۷۵۸) این امر را تأیید می‌نماید.

۵-۷-۲-سرب

سرب به عنوان ماده‌ای سمی می‌تواند بر اندام‌ها و سیستم‌های بدن تأثیر بگذارد و فعالیت ذهنی در کودکان را کاهش دهد و به کارکرد کلیه‌ها صدمه وارد نماید (Qin and Chen, 2007). سرب تمایل به جذب شدن بر روی کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز دارد (Lee and Touray, 1998). سرب در pH های پایین متحرک می‌باشد. به دلیل pH قلیایی منطقه مورد مطالعه، سرب در نمونه‌های آب صفر بوده و در رسوب بستر رودخانه تجمع یافته است (شکل ۵-۱۶).

با مقایسه مقادیر بدست آمده از آنالیز نمونه‌های رسوب با غلظت میانگین سرب در رسوبات جهانی (۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) روشن می‌گردد. غلظت سرب به استثنای چند ایستگاه (Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch2, Ch3, Ch4, Ch1) در سایر ایستگاه‌ها از میانگین رسوبات جهانی تجاوز می‌کند (شکل ۵-۱۹). غلظت میانگین



شکل (۵-۲۱): غلظت عنصر سرب در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

این عنصر در رسوبات ۲۰/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. روند تغییرات سرب در شکل (۵-۲۱) ترسیم شده است. سرب مشابه با فلزات دیگر کمترین غلظت (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در ایستگاه Ch1 دارد و در ایستگاه Ch5 به حداکثر مقدار خود ۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد. میانگین غلظت سرب در رسوبات سرشاخه‌های دامغانرود (۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آستانه (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز مقادیر بالاتری را نسبت به غلظت متوسط این عنصر در رسوبات جهانی را نشان می‌دهند. پایین بودن تمرکز سرب در ایستگاه‌های ابتدایی به رخنمون سازند لار در این ایستگاه مربوط می‌گردد. در ایستگاه Ch5 به دلیل کاهش رسوبات کربناته و تأثیر فعالیت‌های کشاورزی میزان سرب افزایش می‌یابد. سازند شمشک به دلیل داشتن لایه‌های زغال و شیل سیاه می‌تواند منبع سرب برای رسوبات بستر رودخانه باشد. زیرا شیل سیاه در عناصر فرعی مانند سرب، نیکل، مس و کادمیوم غنی‌شدگی نشان می‌دهد (میسون و مر، ۱۳۸۶). در تحقیق انجام شده توسط رحیمی (۱۳۹۰) غلظت سرب در واریزه‌های سازند شمشک ۴۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در واریزه‌های سازند لار و دلیچای ۱۳/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین گردید. البته گسترش کشاورزی در حاشیه رودخانه و عبور وسایل نقلیه از اطراف و میان رودخانه می‌تواند منبعی از سرب در منطقه باشد. سرب در مواد پرکننده تیر خودروها و تعدادی از آفت‌کش‌ها به کار می‌رود (Wakida et al., 2008; Jeevanandam et al., 2007). ایستگاه Ch5 از رواناب کشاورزی و ایستگاه Ch13 و Ch18 به ترتیب از فعالیت کارخانه ماسه‌شوئی و حضور پل که هر دو باعث افزایش حمل‌ونقل جاده‌ای می‌شوند، تأثیر می‌گیرند و غلظت بالایی از سرب را نشان می‌دهند. بنابراین براساس مطالب ذکر شده، سرب در رسوبات منطقه می‌تواند دارای هر دو منشأ بشرزاد و زمین‌زاد باشد.

۵-۷-۳- کروم

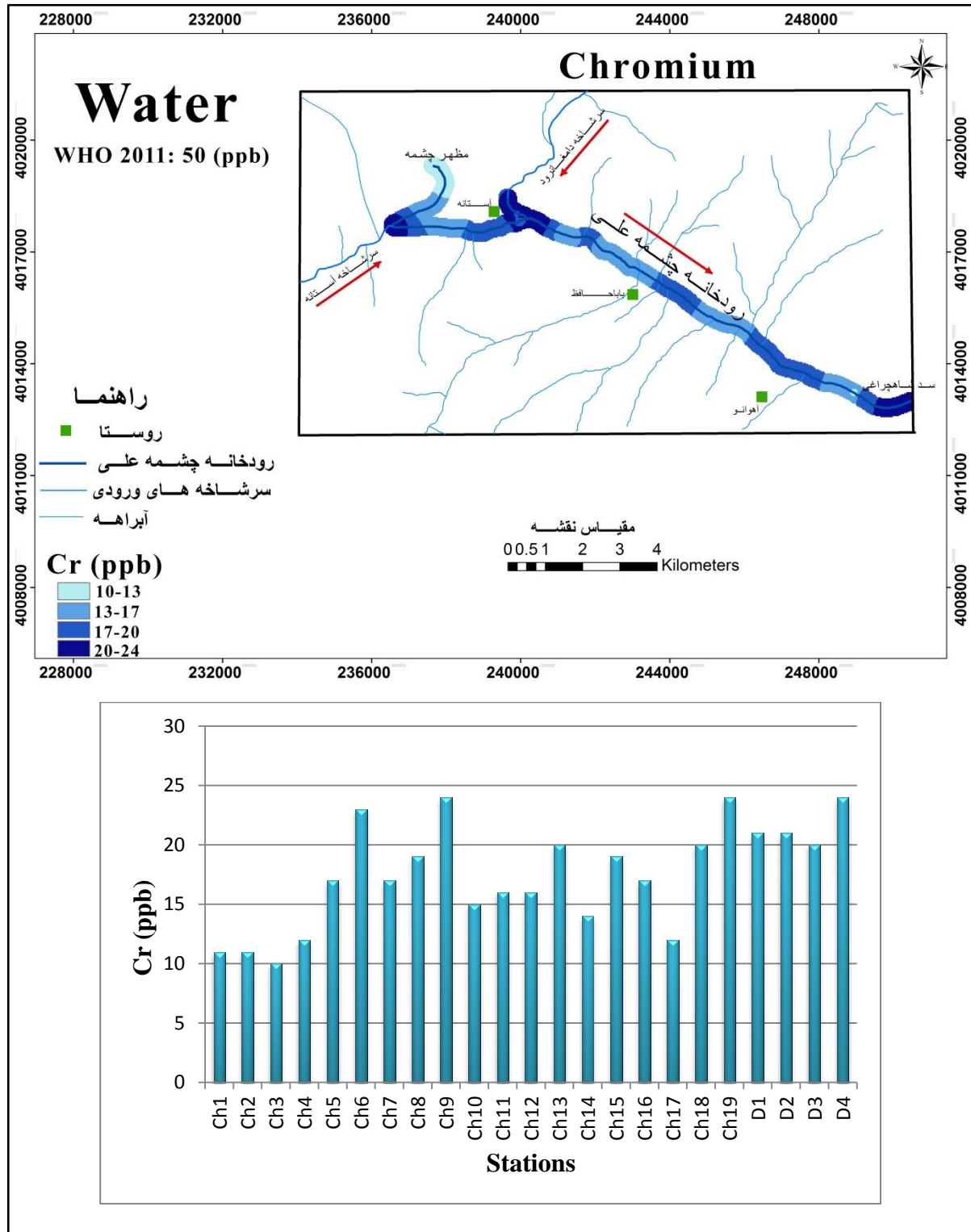
کروم بیشتر توسط ذرات ریز و فاز معلق حمل می‌گردد و تمایل اندکی به انحلال در آب دارد. این فلز بیشتر با اکسیدهای آهن پیوند می‌دهد (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). کروم شش ظرفیتی

به عنوان ماده‌ای سرطانزا شناخته شده است (Dalai and Ishiga, 2013).

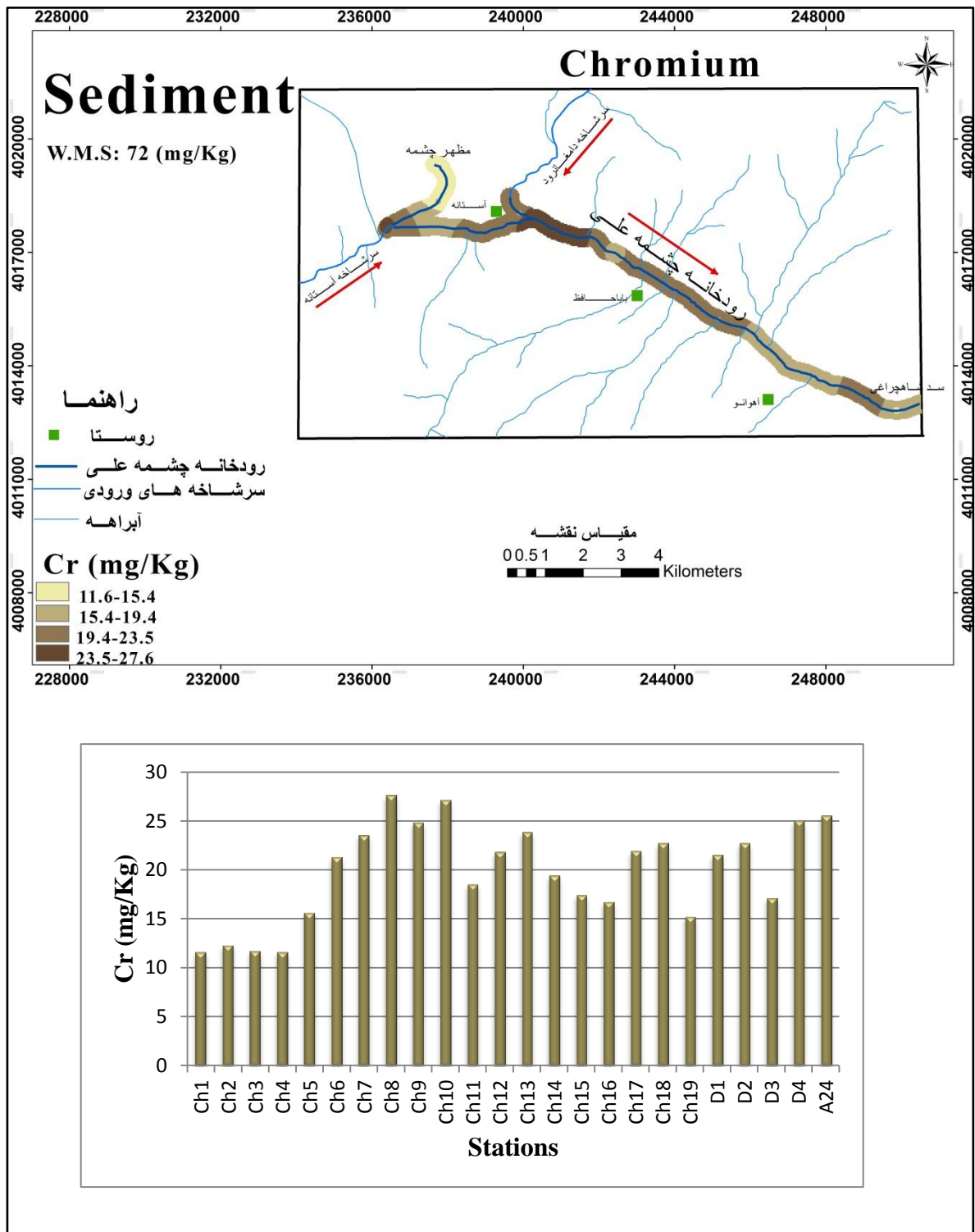
حد مجاز غلظت کروم در آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) ۵۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است. میانگین غلظت کروم در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی ۱۹/۱۸ میکروگرم بر لیتر است و این مقدار پایین‌تر از حد استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) می‌باشد. غلظت کروم در آب رودخانه چشمه‌علی بین ۱۰ تا ۲۴ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌یابد. سرشاخه دامغانرود با غلظت میانگین کروم معادل ۲۱/۵ میکروگرم بر لیتر، مقادیر نزدیکی را به رودخانه چشمه‌علی نشان می‌دهد (شکل ۵-۲۲). با توجه به میانگین pH منطقه (۸/۴۶) کروم در آب رودخانه می‌تواند به صورت CrO_4^{2-} حضور داشته باشد (شکل ۵-۱۸).

تغییرات عنصر کروم در رسوبات در شکل (۵-۲۳) نشان داده شده است. تمرکز کروم در رسوبات رودخانه چشمه‌علی بین مقادیر ۱۱/۶ تا ۲۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. غلظت این عنصر در تمامی نمونه‌های رسوب برداشت شده از بستر رودخانه از غلظت میانگین رسوب جهانی (۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است.

براساس تحقیق لیونز و همکاران (۱۹۸۹) زغال‌سنگ‌ها دارای ۲۵/۴-۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم در ساختار خود می‌باشند (Lyons et al., 1989). بنابراین وجود شیل سیاه و لایه زغالدار شمشک در منطقه ممکن است منبع کروم در رسوب و آب منطقه مورد مطالعه باشد. براساس این مطلب در ایستگاه‌های مجاور سازند شمشک بالاترین غلظت کروم (۲۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. با ملاحظه تغییرات غلظت عنصر کروم آشکار می‌گردد که غلظت کروم در آب و رسوب به صورت هماهنگ در ایستگاه Ch6 افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵-۲۲ و ۵-۲۳). بنابراین احتمال داده می‌شود، این افزایش به کمتر شدن رسوبات کربناته و افزایش رسوبات آواری در رسوبات بستر رودخانه مربوط باشد. با توجه به



شکل (۵-۲۲): غلظت عنصر کروم در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



شکل (۵-۲۳): غلظت عنصر کروم در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

تأثیر سازندهای حاشیه رودخانه در تغییرات غلظت کروم، منشأ کروم در رسوبات منطقه را می‌توان بیشتر زمین‌زاد دانست. همبستگی مثبت نیکل با کروم (۰/۹۲۴)، روی (۰/۸۴۴)، مس (۰/۹۰۵) نشان از منشأ مشترک این فلزات دارد (جدول ۵-۸). همبستگی میان کروم و آهن (۰/۷۰۶) و هماهنگی در روند تغییرات غلظت این دو فلز حاکی از نقش اکسیدهای آهن در جذب و نگهداشت کروم می‌باشد.

۵-۷-۴- مس

مس جزء عناصر ضروری برای جانداران محسوب می‌گردد و افزایش و کاهش این فلز در بدن موجودات زنده به سلامتی آسیب می‌رساند. کمبود مس باعث بیماری‌های فیزیوشیمیایی مانند کم‌خونی و بیماری‌های استخوان می‌شود (Uauy et al., 1998). همچنین کاهش مس کار آنزیم‌های وابسته به این عنصر را با اختلال مواجه می‌کند. افزایش این عنصر منجر به صدمه به کلیه و بیماری‌های خونی می‌گردد (Evans, 1973).

غلظت مس در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی بین ۳ تا ۷ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌کند (شکل ۵-۲۴). سرشاخه دامغانرود با غلظت میانگین ۶ میکروگرم بر لیتر مقادیر مشابهی از مس را با رودخانه چشمه‌علی نشان می‌دهد. غلظت مس تمامی نمونه‌های برداشت شده از سرشاخه دامغانرود و چشمه‌علی از حد مجاز استاندارد جهانی آب آشامیدنی (WHO, 2011) ۲۰۰۰ میکروگرم بر لیتر پایین‌تر می‌باشد. براساس نمودار pH-Eh عنصر مس مشخص می‌شود که این عنصر در pHهای قلیایی انحلال کمی دارد و بصورت Cu^{2+} در آب حضور دارد که می‌توان مقادیر پایین غلظت مس در آب را به انحلال پایین و pH قلیایی منطقه نسبت داد (شکل ۵-۱۸).

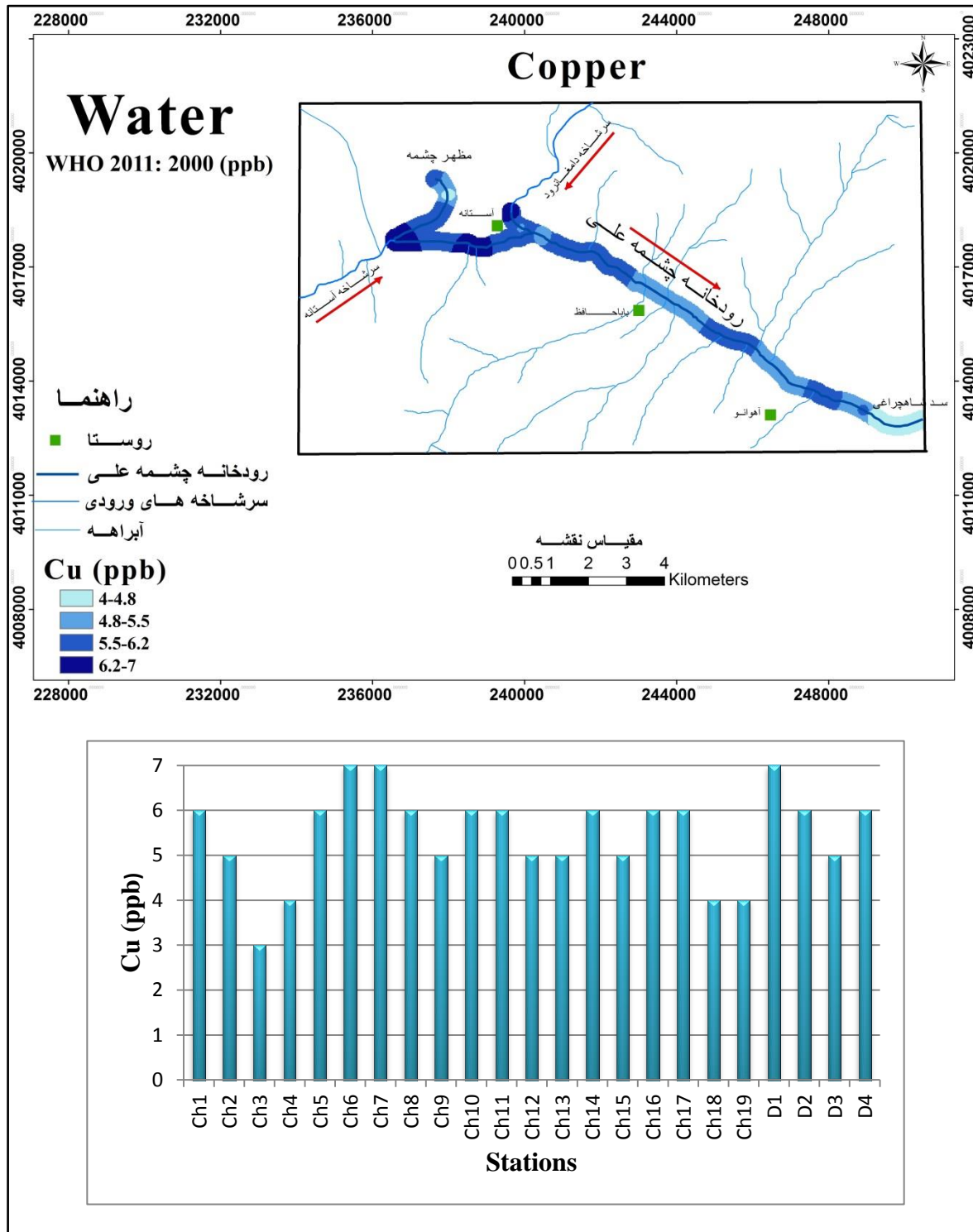
همانطور که در شکل (۵-۲۵) مشخص می‌شود، کمترین غلظت مس رسوب در ایستگاه مظهر چشمه (۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین غلظت در ایستگاه Ch12 (۱۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد.

فعالیت‌های کشاورزی و استفاده طولانی مدت از آفت‌کش‌ها و کودهای فسفاتی می‌تواند منشأ مس رسوبات باشند (Vermeulen, 1992). بنابراین برآورد می‌گردد در ایستگاه Ch12، افزایش فعالیت‌های کشاورزی احتمالاً موجب افزایش غلظت مس در رسوب گردیده است. غلظت میانگین مس در رسوب رودخانه چشمه‌علی ۱۱/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد و از غلظت میانگین رسوبات جهانی تعیین شده (۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است. سرشاخه دامغانرود با غلظت میانگین مس معادل ۱۵/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به رودخانه چشمه‌علی غلظت بالاتری مس را در رسوبش دارد.

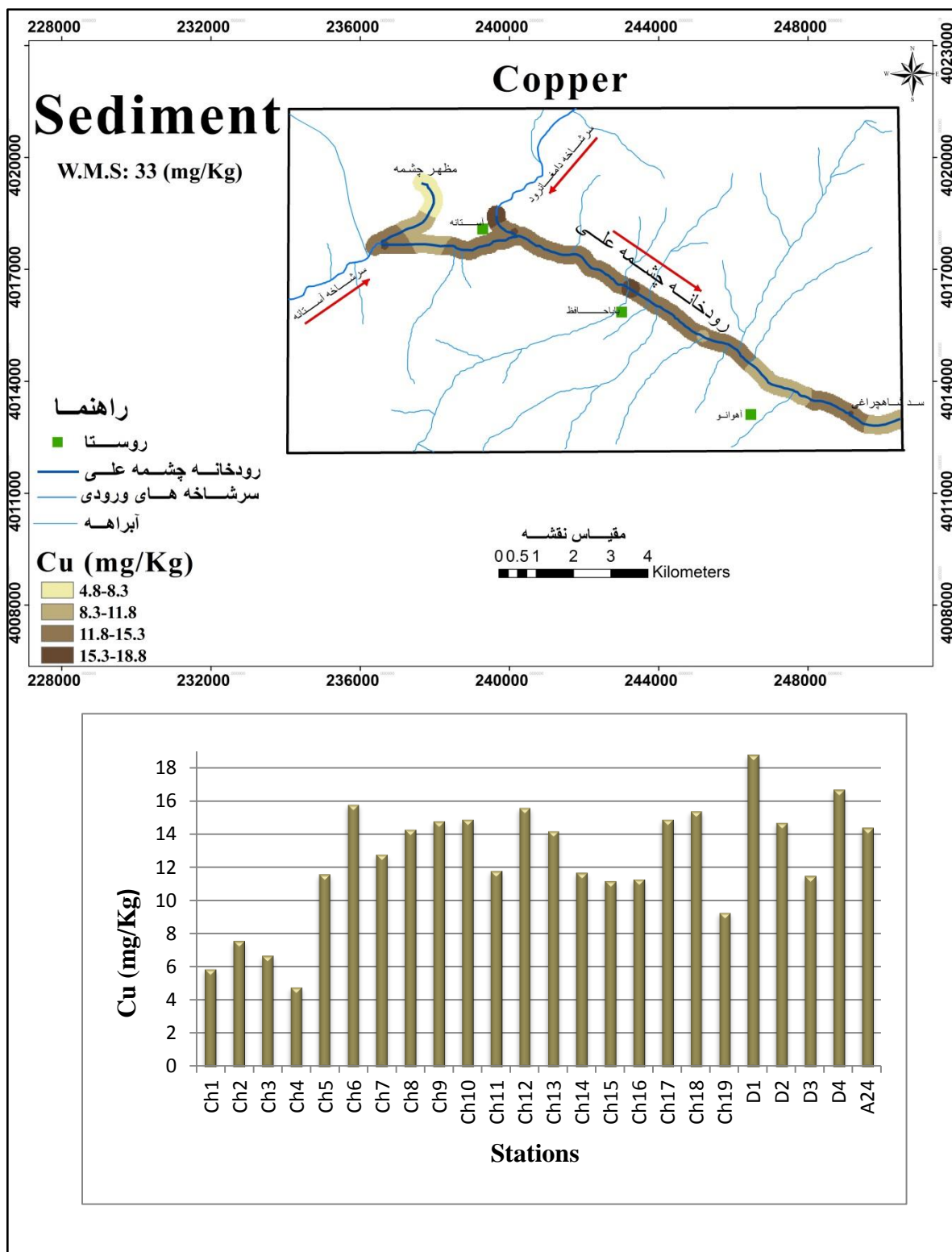
با مقایسه تغییرات غلظت مس در آب و رسوب رودخانه چشمه‌علی می‌توان اینطور گفت که روند تغییرات مس در آب و رسوب به دلیل pH قلیایی منطقه یکسان نبوده است و در ایستگاه‌های ابتدایی غلظت مس رسوب به علت حضور سازندهای کربناته به کمترین میزان خود رسیده است. در ایستگاه Ch6 رخنمون سازند شمشک بیشتر می‌گردد و در واقع با کاهش کربنات و افزایش رسوبات آواری و همچنین افزایش فعالیت‌های کشاورزی میزان مس روبه افزایش می‌گذارد. شایان ذکر است که در واریزه‌های سازند شمشک ۴۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و در واریزه‌های سازند لار و دالیچای ۱۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس تعیین شده است. (رحیمی، ۱۳۹۰). وجود شیل سیاه و لایه زغال یک منبع محتمل برای مس می‌باشد. همبستگی مثبت میان مس و آهن (۰/۷۵۰) به این مطلب اشاره دارد که اکسیدهای آهن نقش مؤثری در جذب مس دارند. لذا با توجه به مطالب فوق می‌توان منشأ غالب برای مس در منطقه را زمین‌زاد در نظر گرفت.

۵-۷-۵- روی

عنصر روی در فرآیندهای متابولیکی بدن نقش مهمی بازی می‌کند. این عنصر در رشد گیاهان و جانوران و ساختار آنزیم و هورمون‌ها شرکت دارد. انحلال‌پذیری عنصر روی تا حد زیادی توسط pH کنترل می‌گردد



شکل (۵-۲۴): تغییرات عنصر مس در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود

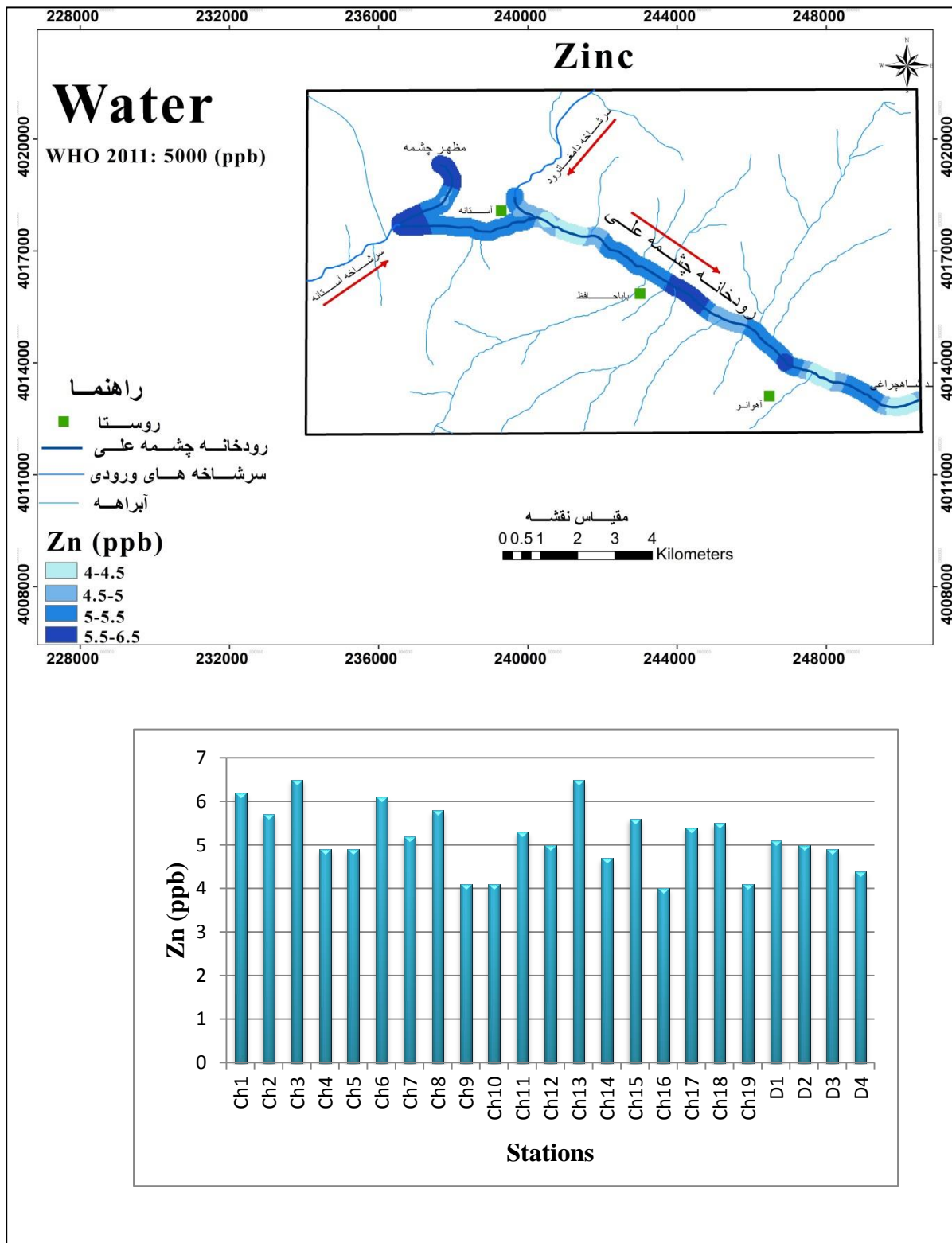


شکل (۵-۲۵): غلظت عنصر مس در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

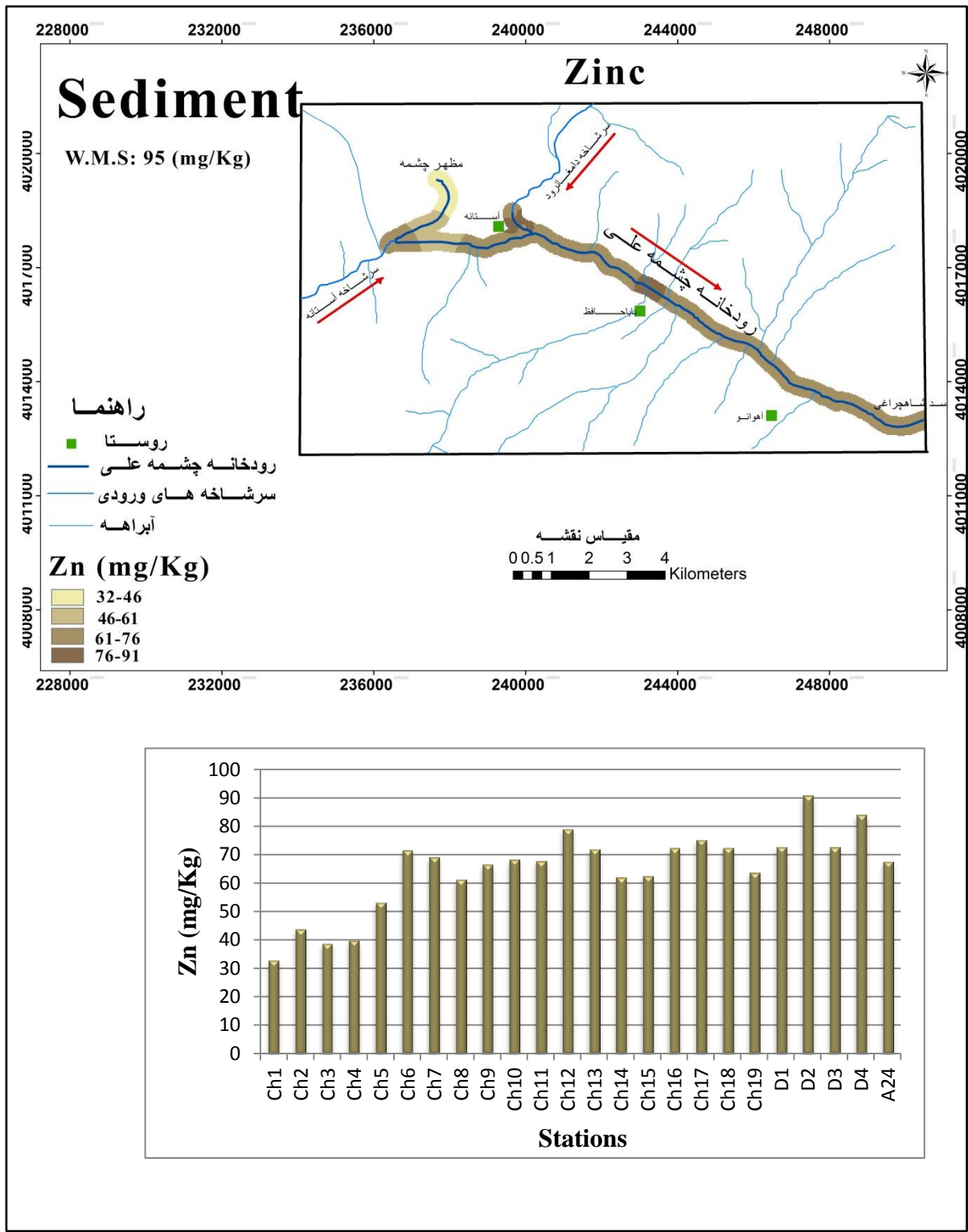
و می‌تواند با آنیون کلر و سولفات کمپلکس تشکیل بدهد (Bradl, 2005). میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی ۵/۲۴ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. حد مجاز روی در آب آشامیدنی ۵۰۰۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است (WHO, 2011). غلظت این عنصر در تمامی نمونه‌های برداشت شده از رودخانه چشمه‌علی و دامغانرود کمتر از حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی (WHO, 2011) می‌باشد. مقادیر روی بین ۴ تا ۶/۵ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌کند و روند نسبتاً یکسانی را در آب رودخانه نشان می‌دهد. همچنین به طور کلی می‌توان گفت که غلظت روی در آب رودخانه بسیار پایین می‌باشد (شکل ۵-۲۶).

مقایسه تغییرات عنصر روی در آب و رسوب در شکل‌های ۵-۲۶ و ۵-۲۷ نشان می‌دهد که روند تغییرات روی در نمونه‌های آب با رسوب یکسان نمی‌باشد. کمترین تمرکز روی در رسوبات در ایستگاه Ch1 معادل ۳۲/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیشترین در ایستگاه Ch12 معادل ۷۸/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. سرشاخه دامغانرود نسبت به رودخانه چشمه‌علی میانگین بالاتری (۷۹/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از عنصر روی را در رسوب نشان می‌دهد، به طوری‌که در ایستگاه D2 به بالاترین غلظت (۹۰/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌رسد. ایستگاه‌های Ch12 و D1 در مجاورت زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. ترکیبات باقی مانده سولفات روی به کار رفته در کودها می‌تواند بر تمرکز روی در آب و رسوب تأثیر بگذارد (Reza and Singh, 2010). مقایسه تمرکز روی با غلظت میانگین رسوب جهانی معلوم می‌سازد که غلظت روی در تمامی نمونه‌های برداشت شده در رسوبات پایین‌تر از میانگین رسوب جهانی (۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. روی در رسوب با نیکل (۰/۸۴۴)، کروم (۰/۸۰۶)، مس (۰/۸۸۶)، آهن (۰/۷۴۳) و سرب (۰/۶۱۷) همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

غلظت‌های کمتر روی در ایستگاه‌های Ch1 تا Ch4 که بیشتر تحت تأثیر سازندهای کربناته می‌باشند، مشاهده شد. از آنجایی که روی توسط اکسیدهای آهن و منگنز جذب می‌شود (Li et al., 2001)، به



شکل (۵-۲۶): غلظت عنصر روی در نمونه‌های آب چشمه‌های علی و سرشاخه دامغانرود



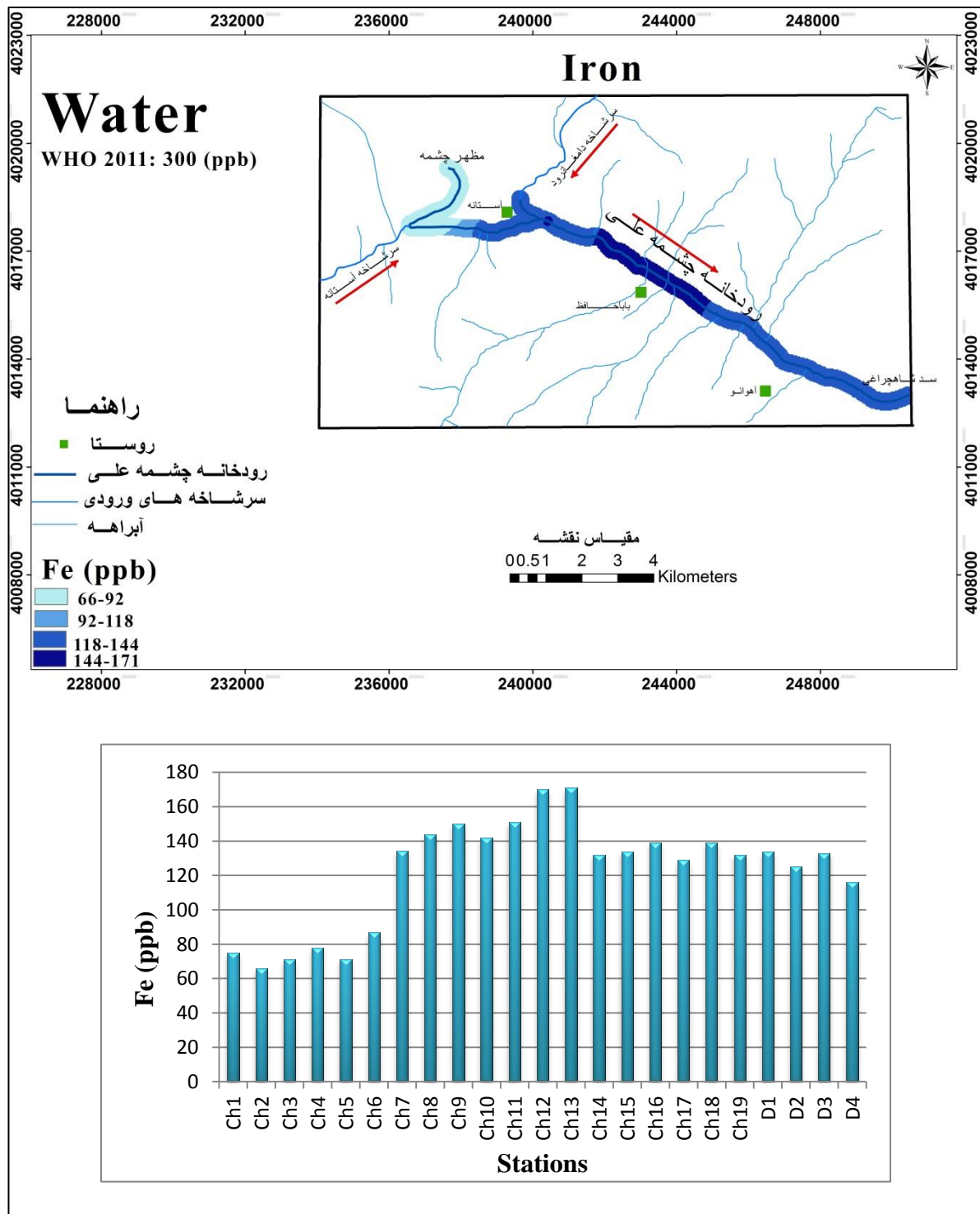
شکل (۵-۲۷): غلظت عنصر روی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

همین دلیل با کاهش رسوبات کربناته و افزایش رسوبات آواری (از ایستگاه Ch6 به بعد) و بالارفتن غلظت در این رسوبات تمرکز روی نیز افزایش یافته است. همبستگی مثبت آهن و روی (۰/۷۴۳) نیز این مطلب را تأیید می‌نماید. رحیمی (۱۳۹۰) میانگین تمرکز روی را در واریزه‌های سازند شمشک ۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در واریزه‌های سازند لار و دلیچای ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرد. بنابراین کاهش روی در ایستگاه ابتدائی با توجه به حضور رخنمون سازندهای کربناته در این منطقه، قابل قبول به نظر می‌رسد. شیل سیاه و لایه زغالدار می‌تواند منبع ایجاد روی در رسوبات منطقه باشند. به طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که ساختارهای زمین‌شناسی منطقه عامل اصلی کنترل کننده پراکنش روی در آب و رسوبات می‌باشد.

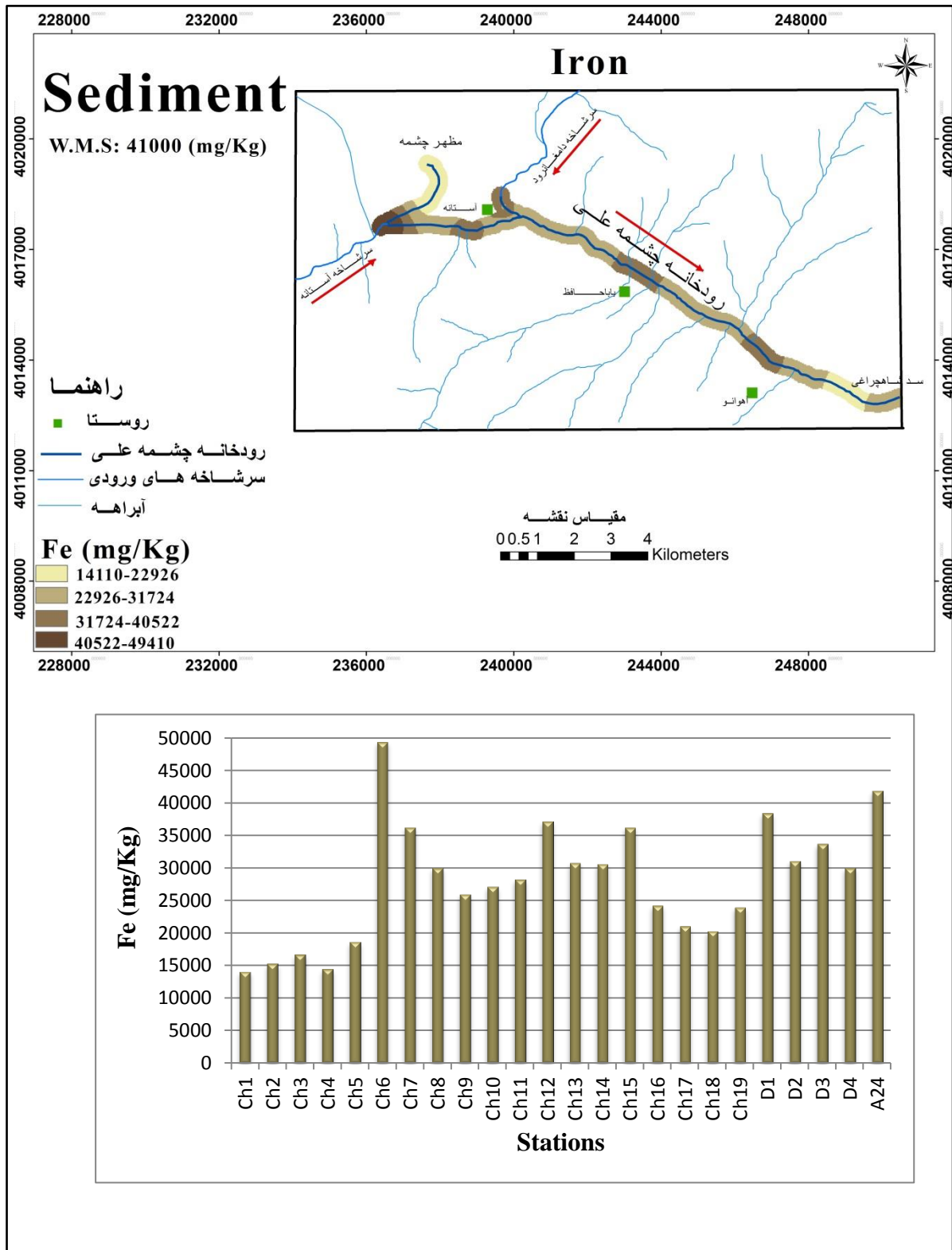
۵-۷-۶- آهن

مقدار مجاز آهن آب آشامیدنی (WHO, 2011) ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است. تمرکز آهن در آب در تمامی ایستگاه‌ها از غلظت مجاز استاندارد آب آشامیدنی پایین‌تر می‌باشد. کمترین غلظت آهن در آب ایستگاه‌های مجاور سازند کربناته (۶۶ میکروگرم بر لیتر) و بیشترین غلظت در ایستگاه‌های مجاور سازندهای آواری (۱۷۱ میکروگرم بر لیتر) دیده می‌شود. میانگین غلظت آهن در نمونه‌های آب سرشاخه دامغانرود به دلیل رسوبات آواری بالادست معادل ۱۲۷ میکروگرم بر لیتر است (شکل ۵-۲۸).

کاهش آهن به دلیل گسترش رسوبات کربناته در ایستگاه‌های ابتدائی (Ch1 تا Ch5) در آب و رسوب رودخانه است. غلظت آهن در آب و رسوب از ایستگاه Ch5 به بعد در نمونه‌های آب و رسوب به طور همزمان افزایش پیدا می‌کند (شکل‌های ۵-۲۸ و ۵-۲۹) این موضوع بیانگر تأثیر تغییر رسوبات کربناته به آواری در سازندهای منطقه بر پراکنش آهن در آب و رسوب رودخانه می‌باشد. میانگین غلظت آهن در واریزه‌های سازند شمشک در منطقه، ۳۲۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در میانگین واریزه‌های سازند لار،



شکل (۵-۲۸): غلظت عنصر آهن در نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه دامغانرود



شکل (۵-۲۹): غلظت عنصر آهن در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

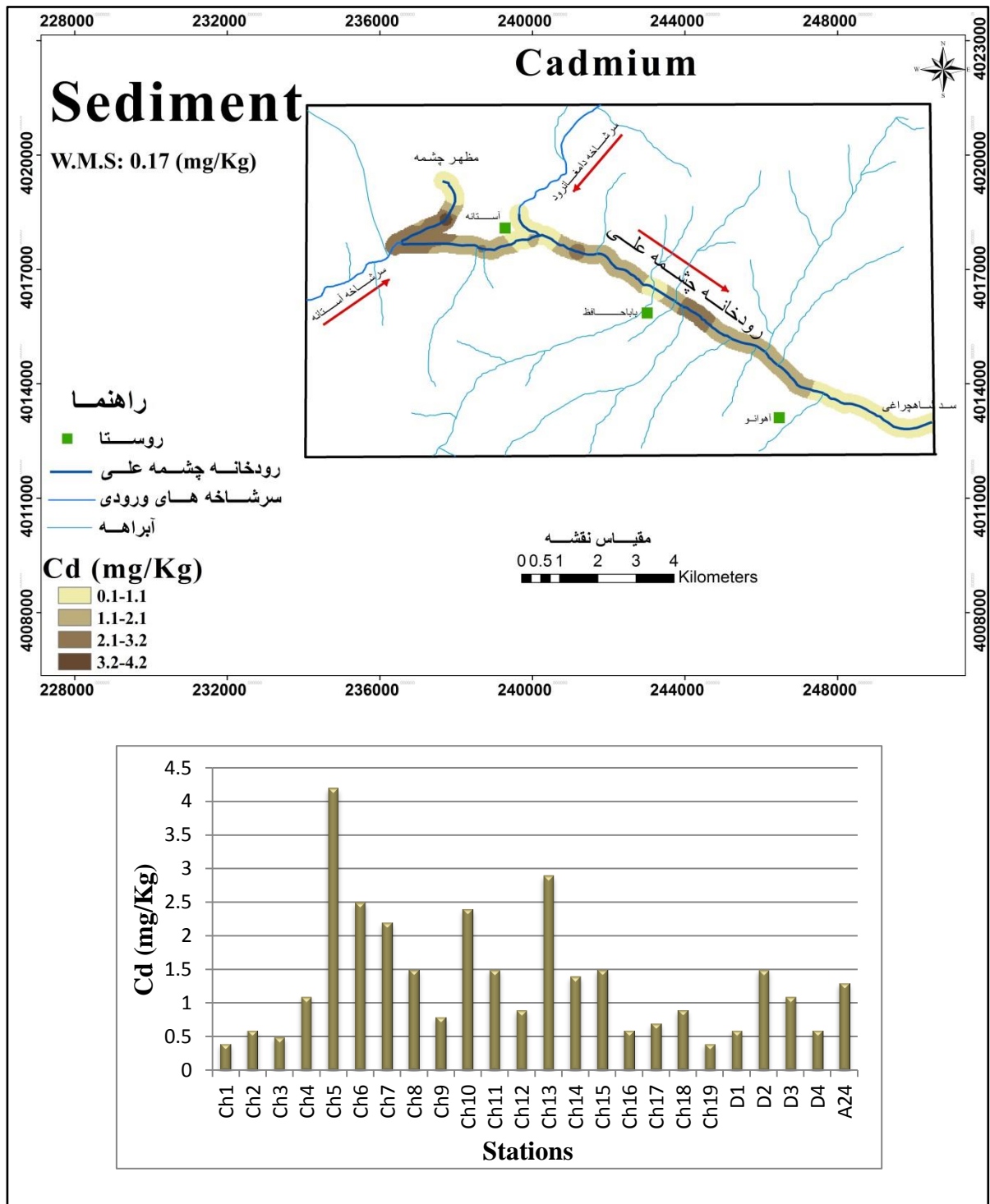
۱۹۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شده است. این امر نیز بالا بودن میزان آهن در رسوبات آواری را تأیید می کند (رحیمی، ۱۳۹۰).

کمترین تمرکز آهن در نمونه های رسوب در ایستگاه Ch1 (مظهر چشمه) معادل ۱۴۱۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم و بیشترین تمرکز در ایستگاه Ch6 معادل ۴۹۴۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین شد (شکل ۵-۲۸). تمرکز آهن در ایستگاه Ch6 و ایستگاه سرشاخه آستانه از میانگین رسوبات جهانی (۴۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) تجاوز می کند. ایستگاه Ch6 در مجاورت سازند شمشک قرار گرفته است. روند پراکنش فلزات کروم، نیکل، روی و مس روند مشابهی را با آهن نشان می دهند.

۵-۷-۷- کادمیوم

کادمیوم یک فلز سمی می باشد و پتانسیل بالایی برای ایجاد نواقص ژنتیکی در بدن موجودات زنده دارد (Toppi and Gabrielli, 1999). براساس نمودار pH-Eh کادمیوم در pH های قلیایی تحرک کمی دارد و در pH های پایین متحرک می باشد (شکل ۵-۱۶) به همین علت با توجه به میانگین pH منطقه (۸/۴۶)، در نمونه های آب کادمیوم مشاهده نشد و در تمامی ایستگاه ها مقادیر آن صفر می باشد و این امر موجب انباشته شدن کادمیوم در رسوبات می گردد.

میانگین غلظت کادمیوم در رسوبات جهانی، ۰/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین شده است (Bowen, 1979). میانگین غلظت کادمیوم در رسوب رودخانه چشمه علی ۱/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد. میانگین غلظت این عنصر در رسوبات دامغانرود ۰/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم و ایستگاه آستانه ۱/۳ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد (شکل ۵-۳۰). بنابراین غلظت این عنصر در تمامی نمونه های رسوب رودخانه چشمه علی و سرشاخه های آن از میانگین رسوبات جهانی (۰/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم) تجاوز می کند.



شکل (۵-۳۰): غلظت عنصر کادمیوم در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

غلظت کادمیوم در واریزه‌های سازند لار و دلیچای و واریزه‌های سازند شمشک در منطقه به ترتیب ۰/۳ و

۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (رحیمی، ۱۳۹۰). بالا بودن کادمیوم در سازند لار را می‌توان به تمایل بالای این فلز به جذب شدن توسط کربنات‌ها نسبت داد (Massolo et al., 2012). همچنین در تحقیقی که بر روی رودخانه Pearl در چین انجام شد نتایج مشابهی بدست آمد، که نشان می‌دهد تمرکز بالای بی‌کربنات در ناحیه کارستی ممکن است با تشکیل فرمول $CdCO_3$ در شرایط pH طبیعی همراه باشد (Li et al., 2007).

کمترین تمرکز کادمیوم ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در Ch1 (مظهر چشمه) و بیشترین در ایستگاه Ch5 ۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین گردید. وجود کادمیوم در رسوبات ایستگاه مظهر چشمه (Ch1)، تأثیر سازندهای لار و دلیچای را بر غلظت این عنصر در رسوبات روشن می‌سازد. به علاوه افزایش کادمیوم را می‌توان به منابع رواناب‌های کشاورزی، فاضلاب خانگی و آلودگی خاک در نتیجه استفاده از حشره‌کش‌ها در منطقه نیز مرتبط دانست (Wong et al., 2002). بنا بر مطالب فوق منشأ احتمالی کادمیوم در رودخانه را می‌توان زمین‌زاد و بشرزاد دانست.

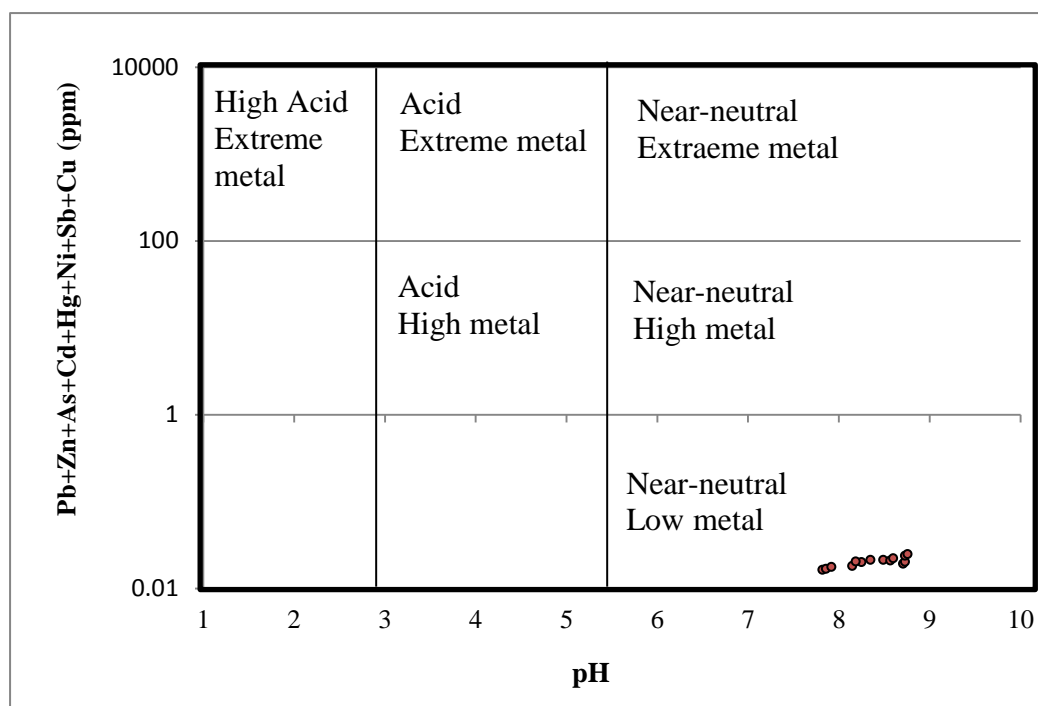
۵-۷-۸- بار فلزی منابع آب

برای بدست آوردن رابطه pH با غلظت فلزات حل شده در آب از نمودار فیکلین و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد (Ficklin et al., 1992). در این نمودار مجموع فلزات اندازه‌گیری شده در آب بر روی نمودار عمودی قرار می‌گیرد و pH آب نیز در نمودار افقی رسم می‌گردد. با توجه به pH آب منطقه و مقادیر فلزات در آب، نمونه‌های آب در محدوده بار فلزی کم و طبیعی قرار می‌گیرند (شکل ۵-۱).

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

به منظور پی بردن به وضعیت آلودگی رسوبات بستر رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی از شاخص‌های ژئوشیمیایی زمین‌انباشت، فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، بار آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی

استفاده گردید.



شکل (۵-۳۱): رابطه بار فلزی و pH در نمونه آب منطقه براساس نمودار فیکلین و همکاران (۱۹۹۲)

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

فاکتور غنی‌شدگی براساس نسبت غلظت یک فلز به غلظت آن فلز، در پوسته زمین تعیین می‌گردد و برای ارزیابی اثر بشرزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول ۵-۱۱ رده‌بندی میزان غنی‌شدگی خاک براساس فاکتور غنی‌شدگی آورده شده است (Abraham and Parker, 2008). فاکتور غنی‌شدگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{[(M_c)/(M_r)]_s}{[(M_c)/(M_r)]_b} \quad \text{رابطه ۵-۳}$$

EF: فاکتور غنی‌شدگی، M_c : غلظت عنصر مورد نظر، M_r : غلظت عنصر رفرنس

s: نمونه مورد مطالعه b: بک‌گراند (پوسته)

با توجه به منشأ زمین‌زاد و تغییرات کم غلظت آلومنیوم در رسوبات منطقه مورد مطالعه، این عنصر به عنوان عنصر مبنا در نظر گرفته شد. با استفاده از رابطه (۳-۵) میزان فاکتور غنی‌شدگی برای تمامی نمونه‌های رسوب محاسبه گردید (جدول ۵-۱۲).

جدول (۵-۱۱): رده‌بندی غنی‌شدگی براساس فاکتور غنی‌شدگی (Acevedo-Figueroa et al., 2006)

فاکتور غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی
$EF < 1$	بدون غنی‌شدگی
$EF < 3$	غنی‌شدگی اندک
$EF = 3-5$	غنی‌شدگی متوسط
$EF = 5-10$	غنی‌شدگی قابل توجه
$EF = 10-25$	غنی‌شدگی شدید
$EF = 25-50$	غنی‌شدگی خیلی شدید
$EF > 50$	غنی‌شدگی بی‌نهایت بالا

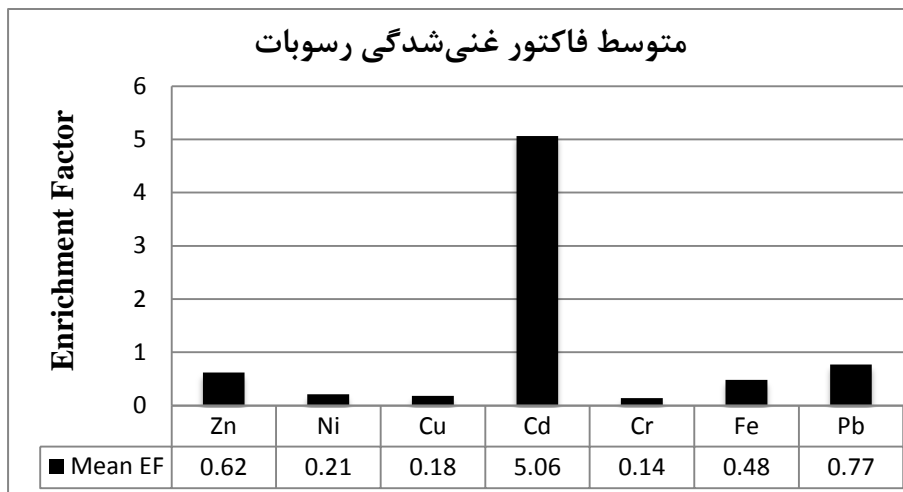
میانگین فاکتور غنی‌شدگی رسوبات برای عنصر کادمیوم در رودخانه چشمه‌علی ۵/۰۶ می‌باشد و رسوبات نسبت به این عنصر غنی‌شدگی قابل توجهی را نشان می‌دهند (شکل ۵-۳۲). نتایج نشان می‌دهند که فاکتور غنی‌شدگی عناصر نیکل، روی، مس و کروم در تمامی ایستگاه پایین‌تر از یک می‌باشد و رسوبات نسبت به این عناصر در رده بدون غنی‌شدگی قرار می‌گیرند. روند تغییرات فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوب در شکل (۵-۳۳) نشان داده شده است.

عنصر کادمیوم در ایستگاه Ch5 فاکتور غنی‌شدگی شدید را نشان می‌دهد. این ایستگاه در معرض فعالیت‌های کشاورزی گسترده و رواناب‌های حاصل از کشاورزی قرار دارد. ایستگاه‌های Ch6، Ch7، Ch10، Ch11، Ch13، Ch15، D2 و D3 به دلیل حضور سازندهای کربناته (لار و دلیچای) و شمشک و فعالیت‌های بشرزاد حاشیه رودخانه نسبت به کادمیوم در رده غنی‌شدگی قابل توجه قرار دارند و سایر

ایستگاه‌ها در رده غنی‌شدگی اندک قرار می‌گیرند. عنصر سرب در ایستگاه‌های Ch5، Ch11، Ch18، D1 و D3 غنی‌شدگی اندکی را نشان می‌دهد. این ایستگاه‌ها تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و حمل‌ونقل قرار دارند. رسوبات در بقیه ایستگاه‌ها نسبت به سرب در رده فاقد غنی‌شدگی قرار می‌گیرند و فاکتور غنی‌شدگی کمتر از یک را نشان می‌دهند.

جدول (۵-۱۲): مقادیر فاکتور غنی‌شدگی رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

Stations	EF						
	Zn	Ni	Cu	Cd	Cr	Fe	Pb
Ch1	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۱۰	۱/۶۴	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۴۹
Ch2	۰/۴۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۲/۴۶	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۶۲
Ch3	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۱۱	۲/۰۵	۰/۱۰	۰/۳۳	۰/۴۹
Ch4	۰/۴۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۴/۵۱	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۵۳
Ch5	۰/۴۲	۰/۰۹	۰/۱۴	۱۲/۳۰	۰/۰۹	۰/۲۷	۱/۰۵
Ch6	۰/۶۰	۰/۲۲	۰/۲۰	۷/۸۸	۰/۱۳	۰/۷۶	۰/۸۵
Ch7	۰/۷۶	۰/۲۹	۰/۲۱	۹/۰۲	۰/۱۹	۰/۷۳	۰/۷۸
Ch8	۰/۵۱	۰/۲۴	۰/۱۸	۴/۷۳	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۶۰
Ch9	۰/۶۶	۰/۲۵	۰/۲۲	۲/۹۸	۰/۱۸	۰/۴۷	۰/۶۰
Ch10	۰/۶۸	۰/۲۸	۰/۲۲	۸/۹۵	۰/۲۰	۰/۴۹	۰/۷۱
Ch11	۰/۷۴	۰/۲۱	۰/۱۹	۶/۱۵	۰/۱۵	۰/۵۷	۱/۰۳
Ch12	۰/۷۸	۰/۲۷	۰/۲۳	۳/۳۵	۰/۱۶	۰/۶۸	۰/۶۷
Ch13	۰/۶۰	۰/۲۲	۰/۱۸	۹/۱۵	۰/۱۵	۰/۴۷	۰/۸۵
Ch14	۰/۵۶	۰/۲۲	۰/۱۶	۴/۷۸	۰/۱۳	۰/۵۱	۰/۷۹
Ch15	۰/۶۲	۰/۲۳	۰/۱۷	۵/۵۹	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۷۸
Ch16	۰/۷۹	۰/۲۰	۰/۱۹	۲/۴۶	۰/۱۴	۰/۴۹	۰/۹۰
Ch17	۰/۸۲	۰/۲۶	۰/۲۴	۲/۸۷	۰/۱۸	۰/۴۲	۰/۹۸
Ch18	۰/۷۹	۰/۳۹	۰/۲۵	۳/۶۹	۰/۱۹	۰/۴۱	۱/۱۹
Ch19	۰/۷۰	۰/۱۹	۰/۱۵	۱/۶۴	۰/۱۲	۰/۴۸	۰/۷۹
Mean Ch	۰/۶۲	۰/۲۱	۰/۱۸	۵/۰۶	۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۷۷
D1	۰/۸۸	۰/۳۰	۰/۳۴	۲/۷۳	۰/۲۰	۰/۸۵	۱/۰۰
D2	۰/۹۹	۰/۲۸	۰/۲۴	۶/۱۵	۰/۱۹	۰/۶۲	۰/۸۶
D3	۰/۸۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۵/۰۱	۰/۱۶	۰/۷۵	۱/۱۸
D4	۰/۹۲	۰/۲۸	۰/۲۷	۲/۴۶	۰/۲۱	۰/۶۰	۰/۷۸
Mean D	۰/۹۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۴/۰۹	۰/۱۹	۰/۷۱	۰/۹۶
A24	۰/۵۳	۰/۲۲	۰/۱۷	۳/۸۱	۰/۱۵	۰/۶۰	۰/۵۹



شکل (۵-۳۲): متوسط فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی

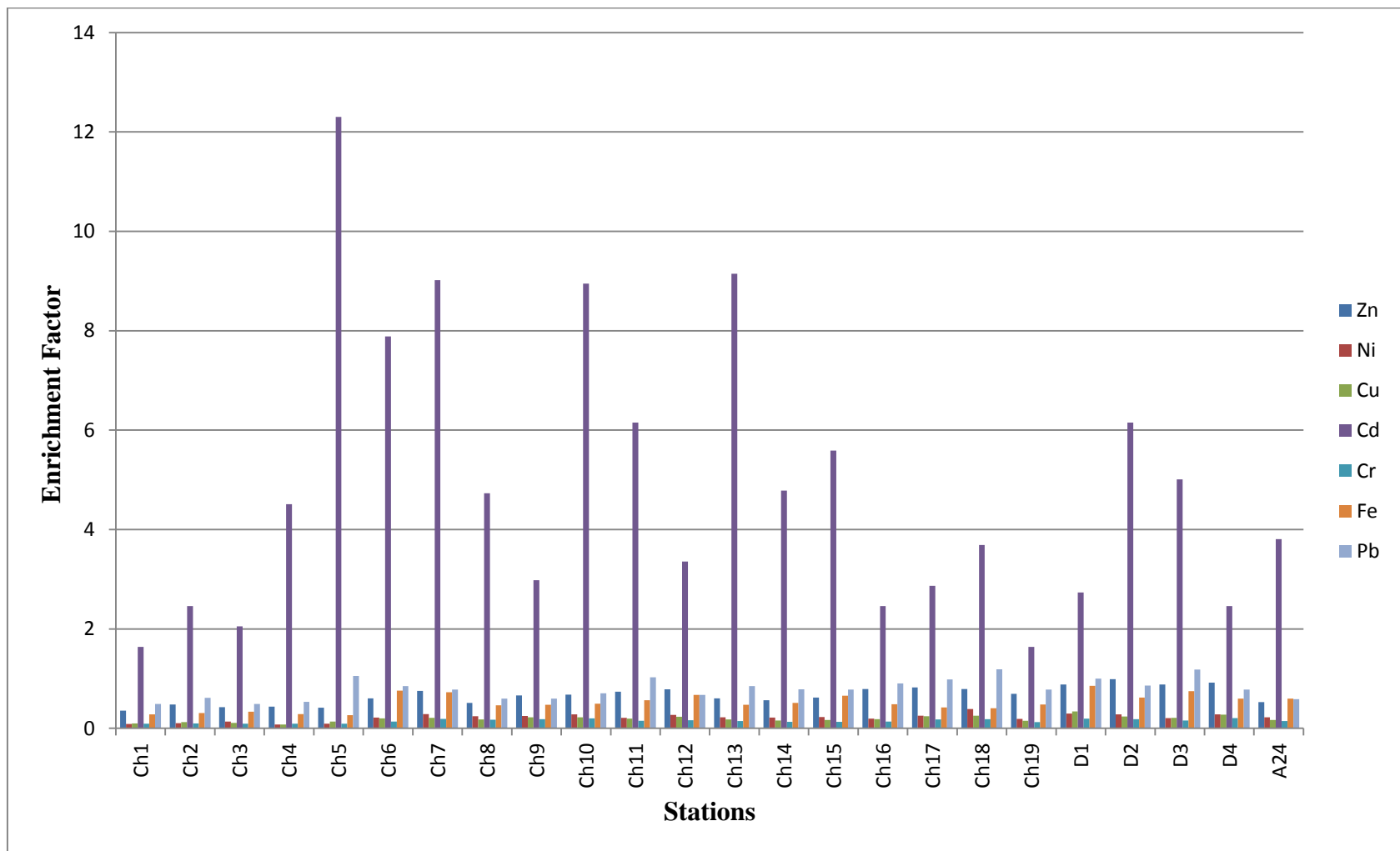
۵-۸-۲- شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index)

شاخص زمین‌انباشت که در ابتدا توسط مولر (۱۹۷۹) معرفی شد و جهت ارزیابی پتانسیل آلودگی و تخمین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات استفاده می‌گردد. شاخص زمین‌انباشت با استفاده از رابطه ۴-۵ محاسبه می‌گردد:

$$I_{geo} = \frac{\log_2(C_n)}{1/5(B_n)} \quad \text{رابطه ۴-۵}$$

در این رابطه C_n تمرکز فلز n و B_n تمرکز فلز مورد نظر در بک گراند ژئوشیمیایی (میانگین شیل) می‌باشد. فاکتور ۱/۵ ضریب تصحیح برای به حداقل رسانیدن تنوع لیتولوژیکی در منطقه می‌باشد. رده‌بندی شاخص زمین‌انباشت در بررسی آلودگی رسوب در جدول ۵-۱۳ آورده شده است.

مقایسه مقادیر بدست آمده در جدول ۵-۱۳ با مقادیر محاسبه شده شاخص زمین‌انباشت برای رسوبات منطقه در جدول ۵-۱۴ معلوم می‌سازد که مقادیر شاخص زمین‌انباشت عنصر کادمیوم به جز ایستگاه ورودی سد و مظهر چشمه بالاتر از صفر می‌باشد و در ایستگاه Ch5 آلودگی شدید در رسوبات را نشان می‌دهد. این ایستگاه تحت تأثیر فعالیت کشاورزی و رواناب‌های شسته شده از زمین‌های اطراف می‌باشد.

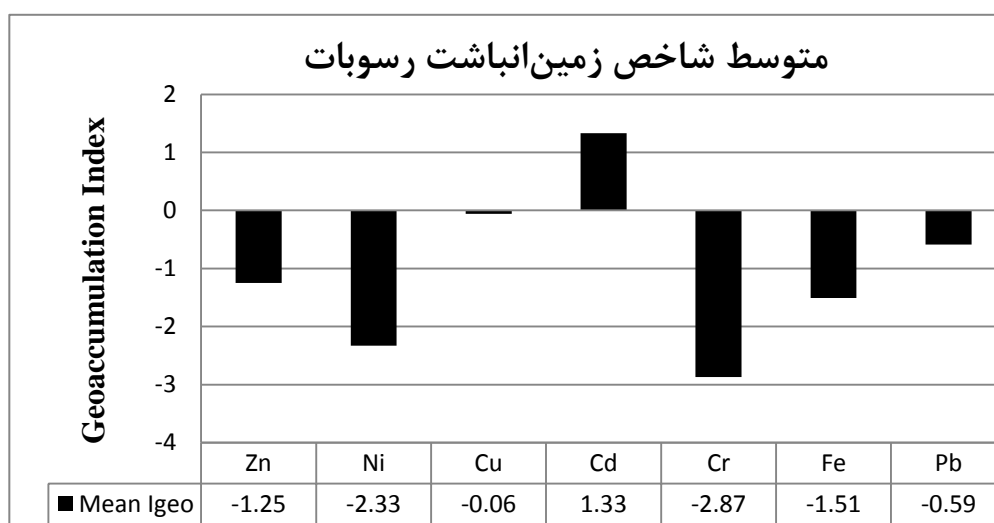


شکل (۵-۳۳): تغییرات فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه ورودی به آن

جدول (۵-۱۳): رده بندی شاخص زمین انباشت در ارزیابی آلودگی رسوب (Muller, 1979)

رده آلودگی	محدود آلودگی	شدت آلودگی
1	$I_{geo} \leq 0$	فاقد آلودگی
2	$0 < I_{geo} < 1$	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
3	$1 < I_{geo} < 2$	آلودگی متوسط
4	$2 < I_{geo} < 3$	آلودگی متوسط تا شدید
5	$3 < I_{geo} < 4$	آلودگی شدید
6	$4 < I_{geo} < 5$	آلودگی شدید تا بی نهایت
7	$5 < I_{geo}$	آلودگی بی نهایت

میانگین شاخص زمین انباشت عنصر کادمیوم بالاتر از صفر (۱/۳۳) می باشد و رسوبات نسبت به این عنصر در رده غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار می گیرند. رسوبات نسبت به سایر عناصر فاقد آلودگی و شاخص زمین انباشت برای این عناصر دارای میانگین کمتر از صفر می باشد. میانگین شاخص زمین انباشت در شکل (۵-۳۴) نشان داده شده است.



شکل (۵-۳۴): متوسط شاخص زمین انباشت در رسوبات رودخانه چشمه علی

عنصر سرب نیز به جز ایستگاهها Ch5 در تمامی ایستگاه مقادیر شاخص زمین انباشت کمتر از صفر را

نمایش می‌دهد و ایستگاه Ch5 غیرآلوده تا آلودگی متوسط را نسبت به سرب نشان می‌دهد. این ایستگاه در بین باغات قرار گرفته است و در معرض انواع رواناب کشاورزی می‌باشد. مقادیر شاخص زمین‌انباشت برای عناصر روی، نیکل، مس، آهن در تمامی نمونه‌های رسوب برداشت شده کمتر از صفر می‌باشند. در واقع رسوبات منطقه نسبت به این عناصر در رده غیرآلوده قرار می‌گیرند (شکل ۵-۳۵).

جدول (۵-۱۴): مقادیر شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

Stations	Igeo						
	Fe	Ni	Zn	Cr	Pb	Cd	Cu
Ch1	-۲/۳۳	-۳/۵۸	-۲/۱۲	-۳/۵۴	-۱/۳۲	-۰/۱۷	-۳/۵۲
Ch2	-۲/۲۱	-۳/۳۵	-۱/۷۰	-۳/۴۶	-۱/۰۰	۰/۴۲	-۳/۱۵
Ch3	-۲/۰۸	-۲/۹۲	-۱/۸۸	-۳/۵۳	-۱/۳۲	۰/۱۵	-۳/۳۳
Ch4	-۲/۲۹	-۳/۷۵	-۱/۸۴	-۳/۵۴	-۱/۲۱	۱/۲۹	-۳/۸۱
Ch5	-۱/۹۲	-۳/۰۲	-۱/۴۲	-۳/۱۱	۰/۲۶	۳/۲۲	-۲/۵۴
Ch6	-۰/۵۲	-۱/۹۰	-۱/۰۰	-۲/۶۶	-۰/۱۵	۲/۴۷	-۲/۰۹
Ch7	-۰/۹۶	-۱/۸۷	-۱/۰۵	-۲/۵۲	-۰/۶۶	۲/۲۹	-۲/۴۰
Ch8	-۱/۲۴	-۱/۷۳	-۱/۲۲	-۲/۲۹	-۰/۶۶	۱/۷۴	-۲/۲۴
Ch9	-۱/۴۵	-۱/۹۳	-۱/۱۰	-۲/۴۴	-۰/۹۱	۰/۸۳	-۲/۱۹
Ch10	-۱/۳۸	-۱/۷۴	-۱/۰۶	-۲/۳۲	-۰/۶۶	۲/۴۲	-۲/۱۸
Ch11	-۱/۳۲	-۲/۳۱	-۱/۰۷	-۲/۸۷	-۰/۲۶	۱/۷۴	-۲/۵۲
Ch12	-۰/۹۳	-۱/۸۰	-۰/۸۵	-۲/۶۳	-۰/۷۴	۱/۰۰	-۲/۱۱
Ch13	-۱/۲۰	-۱/۸۶	-۰/۹۹	-۲/۵۰	-۰/۱۵	۲/۶۹	-۲/۲۵
Ch14	-۱/۲۱	-۱/۹۹	-۱/۲۰	-۲/۸۰	-۰/۳۸	۱/۶۴	-۲/۵۳
Ch15	-۰/۹۷	-۲/۰۸	-۱/۱۹	-۲/۹۶	-۰/۵۱	۱/۷۴	-۲/۵۹
Ch16	-۱/۵۴	-۲/۴۲	-۰/۹۸	-۳/۰۲	-۰/۴۵	۰/۴۲	-۲/۵۸
Ch17	-۱/۷۵	-۲/۰۳	۰/۹۲	-۲/۶۲	-۰/۳۲	۰/۶۴	-۲/۱۸
Ch18	-۱/۸۰	-۱/۴۴	-۰/۹۸	-۲/۵۷	-۰/۰۵	۱/۰۰	-۲/۱۳
Ch19	-۱/۵۶	-۲/۴۶	-۱/۱۶	-۳/۱۵	-۰/۶۶	-۰/۱۷	-۲/۸۶
Mean Ch	-۱/۵۱	-۲/۳۳	-۱/۲۵	-۲/۸۷	-۰/۵۹	۱/۳۳	-۰/۶۰
D1	-۰/۸۸	-۱/۹۷	-۰/۹۷	-۲/۶۵	-۰/۴۵	۰/۴۲	-۱/۸۴
D2	-۱/۱۹	-۱/۹۰	-۰/۶۵	-۲/۵۷	-۰/۵۱	۱/۷۴	-۲/۲۰
D3	-۱/۰۷	-۲/۴۹	۰/۹۷	-۲/۹۸	-۰/۲۱	۱/۲۹	-۲/۵۵
D4	-۱/۲۴	-۱/۸۹	-۰/۷۶	-۲/۴۳	-۰/۶۶	۰/۴۲	-۲/۰۲
Mean D	-۱/۰۹	-۲/۰۶	-۰/۸۴	-۲/۶۶	-۰/۴۶	۰/۹۶	-۰/۵۰
A24	-۰/۷۶	-۱/۷۶	-۱/۰۸	-۲/۴۰	-۰/۵۸	۱/۵۳	-۲/۲۳

۵-۸-۳- فاکتور آلودگی (Contamination Factor)

فاکتور آلودگی از نسبت غلظت فلز مورد بررسی به غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) محاسبه می‌شود (Hakanson, 1980). این فاکتور برای نشان دادن میزان آلودگی رسوبات استفاده می‌گردد. فاکتور آلودگی با استفاده از رابطه ۵-۵ بدست می‌آید:

$$CF = C_0 / C_n \quad \text{رابطه ۵-۵}$$

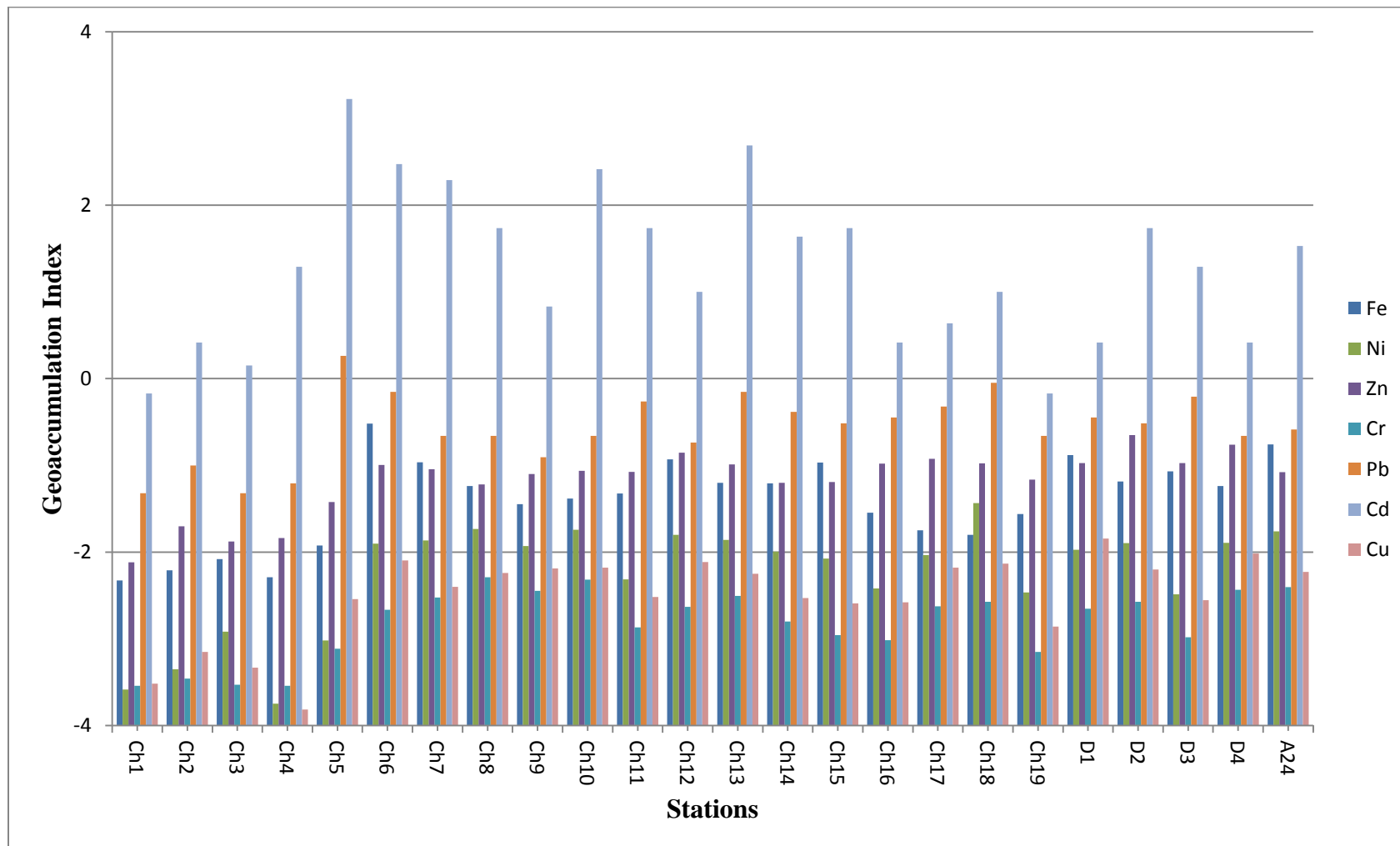
در این رابطه CF فاکتور آلودگی C_0 غلظت فلز مورد بررسی و C_n غلظت فلز مورد بررسی در ماده مرجع (میانگین شیل جهانی) می‌باشد. در جدول (۵-۱۵) رده‌بندی میزان آلودگی براساس فاکتور آلودگی آورده شده است.

جدول (۵-۱۵): رده‌بندی آلودگی براساس فاکتور آلودگی (Hakanson, 1980)

مقدار فاکتور آلودگی	وضیعت آلودگی رسوب
$CF < 1$	آلودگی پایین
$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط
$3 \leq CF < 6$	آلودگی قابل توجه
$CF \geq 6$	آلودگی بسیار بالا

فاکتور آلودگی برای تمامی نمونه‌های رسوب محاسبه گردید و نتایج در جدول ۵-۱۸ و شکل‌های ۵-۳۶ و ۵-۳۷ آورده شده است. براساس فاکتور آلودگی، ایستگاه Ch6 نسبت به عنصر آهن در ایستگاه Ch6 آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. این ایستگاه پایین‌دست سرشاخه آستانه و در بستری از رسوبات آبرفتی عهدحاضر قرار گرفته است و تحت تأثیر رسوبات سرشاخه آستانه و سازندهای حاشیه رودخانه (سازند شمشک) می‌باشد. رسوبات نسبت به فلزات روی، کروم و مس فاکتور آلودگی کمتر از یک را نشان می‌دهند و در رده آلودگی پایین می‌باشند.

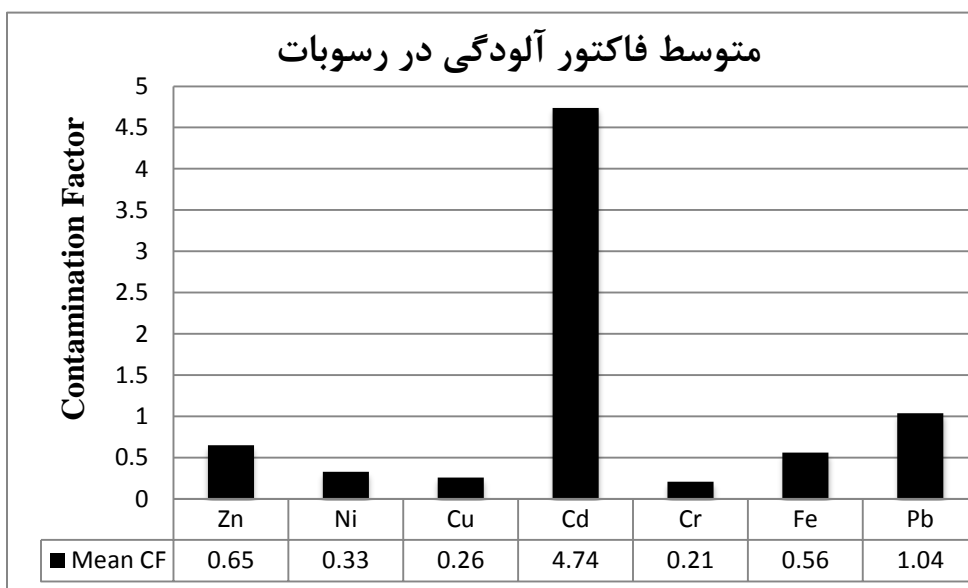
میانگین فاکتور آلودگی فلز کادمیوم (۴/۷۴) بالاتر از میانگین فاکتور آلودگی نسبت به سایر عناصر در



شکل (۵-۳۵): تغییرات شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

رسوبات بستر رودخانه است. ایستگاه‌های Ch5، Ch6، Ch7، Ch10، Ch11 و D2 در رده آلودگی بسیار بالا نسبت به کادمیوم قرار می‌گیرند. این ایستگاه‌ها تحت تأثیر فعالیت‌های بشرزاد قرار دارند. میزان فاکتور آلودگی عنصر سرب بین ۰/۶۰ تا ۱/۸۰ به ترتیب در ایستگاه‌های Ch1 و Ch5 متغیر می‌باشد. رسوبات نسبت به این عنصر در رده آلودگی پایین تا متوسط قرار می‌گیرند.

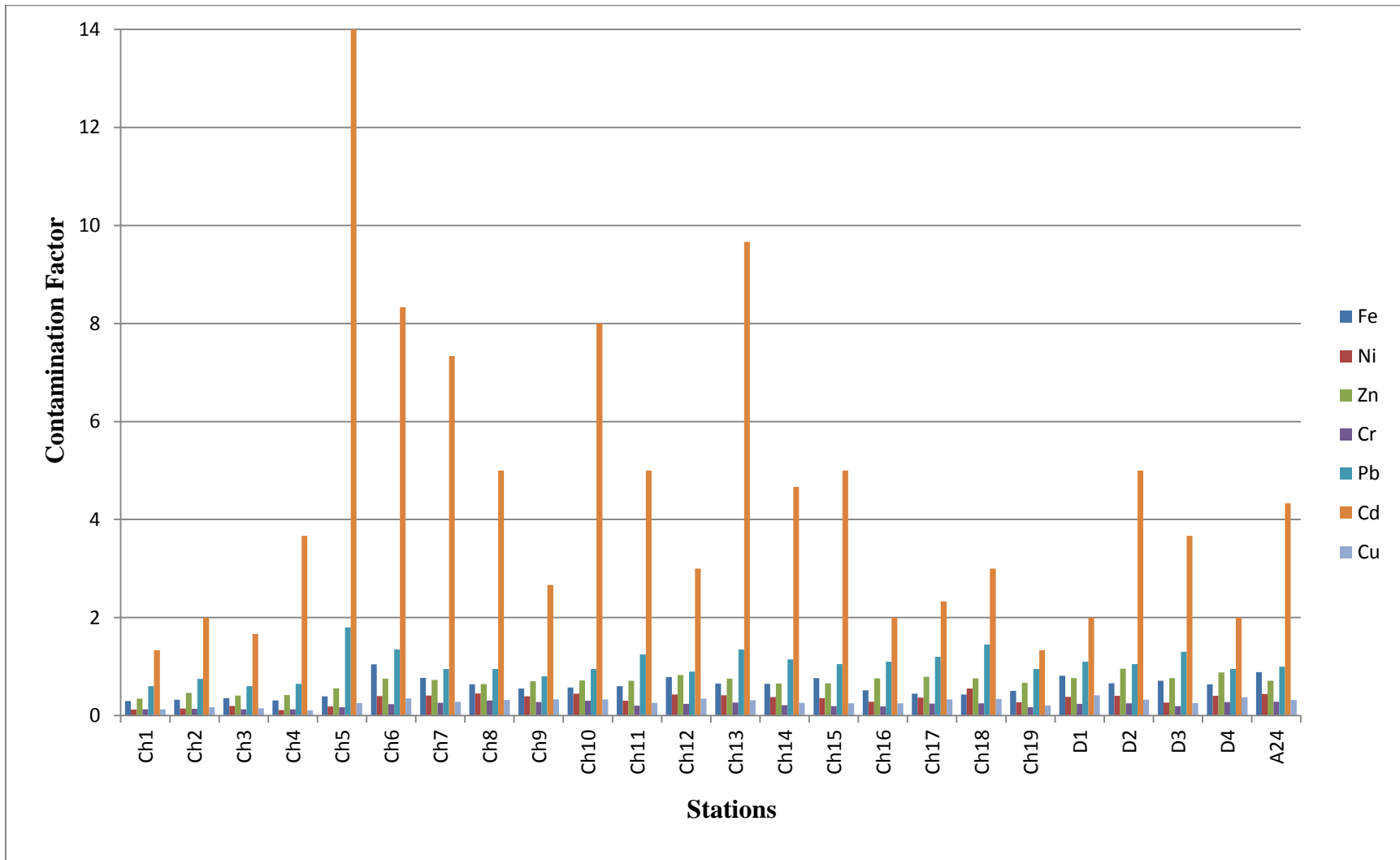
متوسط فاکتور آلودگی برای نمونه‌های رسوب در شکل ۵-۳۶ نشان داده شده است. کادمیوم دارای بالاترین میانگین فاکتور آلودگی در رسوبات بستر رودخانه می‌باشد. میانگین فاکتور آلودگی برای عناصر کادمیوم و سرب از یک تجاوز می‌کند و رسوبات نسبت به این عناصر به ترتیب در رده آلودگی قابل توجه و آلودگی متوسط قرار می‌گیرند.



شکل (۵-۳۶): متوسط فاکتور آلودگی در رسوبات رودخانه چشمه‌علی

۵-۸-۴- درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Contamination Degree)

درجه آلودگی هر نمونه از مجموع فاکتورهای آلودگی بدست آمده برای عناصر مورد نظر در آن نمونه بدست می‌آید و برای بیان میزان آلودگی در رسوبات به کار می‌رود (Hakanson, 1980). درجه آلودگی با



شکل (۳۷-۵): تغییرات فاکتور آلودگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی آن

استفاده از رابطه ۵-۶ محاسبه گردید.

$$Cd = \sum CF \quad \text{رابطه ۵-۶:}$$

در این فرمول CF و Cd به ترتیب فاکتور آلودگی و درجه آلودگی است. البته فرمول هاگنسون دارای محدودیت‌های می‌باشد و به همین دلیل امروزه از شاخص درجه آلودگی اصلاح شده استفاده می‌شود که در رابطه ۵-۷ آورده شده است (قاسم‌زاده ۱۳۹۰ Cited in Abraham, 2005).

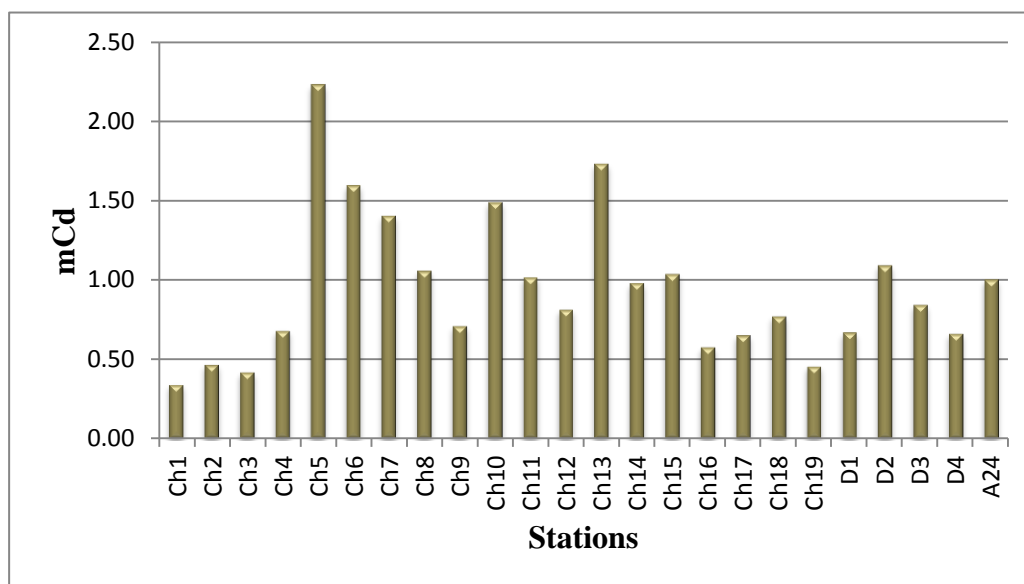
$$mCd = \sum_{i=0}^n CF/n \quad \text{رابطه ۵-۷:}$$

در این رابطه mCd درجه آلودگی اصلاح شده، n تعداد عناصر آنالیز شده و CF فاکتور آلودگی می‌باشند. ارزیابی کیفیت رسوب براساس مقادیر mCd در جدول ۵-۱۶ آورده شده است. براساس رابطه (۵-۷) درجه آلودگی اصلاح شده برای نمونه‌های رسوب منطقه برای عناصر آهن، مس، کروم، نیکل، روی، کادمیوم و سرب محاسبه گردید و مقادیر آن در جدول ۵-۱۸ آورده شد.

جدول (۵-۱۶): رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح شده (قاسم‌زاده ۱۳۹۰ Cited in Abraham, 2005)

مقادیر mCd	کیفیت رسوب
$mCd < 1/5$	غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک
$1/5 \leq mCd < 2$	آلودگی اندک
$2 \leq mCd < 4$	آلودگی متوسط
$4 \leq mCd < 8$	آلودگی زیاد
$8 \leq mCd < 16$	آلودگی بسیار زیاد
$16 \leq mCd < 32$	آلودگی فوق العاده زیاد
$mCd \geq 32$	آلودگی بی‌نهایت زیاد

براساس درجه آلودگی اصلاح شده، نمونه رسوب در ایستگاه Ch5 در رده آلودگی متوسط قرار می‌گیرد و نمونه‌های رسوب در ایستگاه‌های Ch6 و Ch13 دارای آلودگی اندک می‌باشند. در سایر ایستگاه‌ها مقدار درجه آلودگی اصلاح شده کمتر از ۱/۵ است و رسوبات در رده غیرآلوده تا آلودگی اندک قرار می‌گیرد. روند تغییرات درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب در شکل ۵-۳۸ نشان داده شده است.



شکل (۵-۳۸): تغییرات درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

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

شاخص بار آلودگی توسط تام لینسون در سال ۱۹۸۰ ارائه شد. این شاخص برای درک وضعیت آلودگی فلزات سنگین در رسوب و خاک ارائه شده است. این شاخص را با توجه به فاکتور آلودگی فلزهای موجود (رابطه ۵-۸) محاسبه می‌شود (Tomlinson et al., 1980):

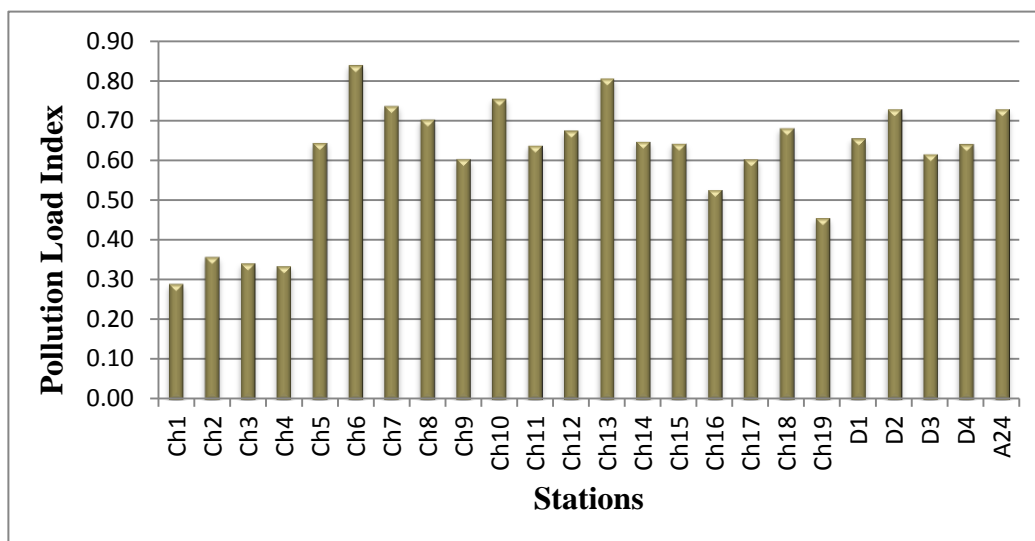
$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad \text{رابطه ۵-۸}$$

در این فرمول n تعداد فلزهای موجود، CF_1 فاکتور آلودگی فلز اول، CF_2 فاکتور آلودگی فلز دوم، CF_n فاکتور آلودگی فلز nام در نظر گرفته می‌شود.

جدول (۵-۱۷): رده‌بندی آلودگی رسوبات براساس مقادیر شاخص بار آلودگی (Tomlinson et al., 1980)

میزان آلودگی رسوبات	شاخص بار آلودگی PLI
رسوبات غیرآلوده	$PLI < 1$
رسوبات آلوده	$PLI \geq 1$

مقادیر شاخص بار آلودگی هر ایستگاه برای فلزات کادمیوم، کروم، نیکل، سرب، مس، روی و آهن محاسبه و در جدول ۵-۱۸ شکل ۵-۳۹ آورده شده است. محاسبه شاخص بار آلودگی این مطلب را روشن ساخت که تمامی ایستگاه‌ها دارای بار آلودگی کمتر از یک می‌باشد و براساس این شاخص رسوبات در رده غیرآلوده قرار می‌گیرند. ۴ ایستگاه اول دارای پایین‌ترین شاخص بار آلودگی در منطقه می‌باشند. این ایستگاه‌ها تحت تأثیر سازندهای کربناته با تمرکز کمتر فلزات قرار دارند.



شکل (۵-۳۹): تغییرات شاخص بار آلودگی در نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

۵-۸-۶- فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی

فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk Factor) هر عنصر برای ارزیابی پتانسیل

ریسک اکولوژیکی رسوبات توسط Hakanson در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. این فاکتور با استفاده از رابطه

جدول (۵-۱۸): مقادیر فاکتور آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن

Stations	PLI	mCd	CF						
			Fe	Ni	Zn	Cr	Pb	Cd	Cu
Ch1	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۱۳	۰/۶۰	۱/۳۳	۰/۱۳
Ch2	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۱۴	۰/۷۵	۲/۰۰	۰/۱۷
Ch3	۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۴۱	۰/۱۳	۰/۶۰	۱/۶۷	۰/۱۵
Ch4	۰/۳۳	۰/۶۸	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۶۵	۳/۶۷	۰/۱۱
Ch5	۰/۶۴	۲/۲۳	۰/۴۰	۰/۱۹	۰/۵۶	۰/۱۷	۱/۸۰	۱۴/۰۰	۰/۲۶
Ch6	۰/۸۴	۱/۶۰	۱/۰۵	۰/۴۰	۰/۷۵	۰/۲۴	۱/۳۵	۸/۳۳	۰/۳۵
Ch7	۰/۷۴	۱/۴۰	۰/۷۷	۰/۴۱	۰/۷۳	۰/۲۶	۰/۹۵	۷/۳۳	۰/۲۸
Ch8	۰/۷۰	۱/۰۶	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۳۱	۰/۹۵	۵/۰۰	۰/۳۲
Ch9	۰/۶۰	۰/۷۱	۰/۵۵	۰/۳۹	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۸۰	۲/۶۷	۰/۳۳
Ch10	۰/۷۶	۱/۴۹	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۷۲	۰/۳۰	۰/۹۵	۸/۰۰	۰/۳۳
Ch11	۰/۶۴	۱/۰۲	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۷۱	۰/۲۱	۱/۲۵	۵/۰۰	۰/۲۶
Ch12	۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۴۳	۰/۸۳	۰/۲۴	۰/۹۰	۳/۰۰	۰/۳۵
Ch13	۰/۸۱	۱/۷۳	۰/۶۵	۰/۴۱	۰/۷۶	۰/۲۶	۱/۳۵	۹/۶۷	۰/۳۲
Ch14	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۶۵	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۲۲	۱/۱۵	۴/۶۷	۰/۲۶
Ch15	۰/۶۴	۱/۰۴	۰/۷۷	۰/۳۶	۰/۶۶	۰/۱۹	۱/۰۵	۵/۰۰	۰/۲۵
Ch16	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۲۸	۰/۷۶	۰/۱۹	۱/۱۰	۲/۰۰	۰/۲۵
Ch17	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۷۹	۰/۲۴	۱/۲۰	۲/۳۳	۰/۳۳
Ch18	۰/۶۸	۰/۷۷	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۷۶	۰/۲۵	۱/۴۵	۳/۰۰	۰/۳۴
Ch19	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۶۷	۰/۱۷	۰/۹۵	۱/۳۳	۰/۲۱
Mean Ch	۰/۵۹	۰/۹۷	۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۲۱	۱/۰۴	۴/۷۴	۰/۲۶
D1	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۸۱	۰/۳۸	۰/۷۶	۰/۲۴	۱/۱۰	۲/۰۰	۰/۴۲
D2	۰/۷۳	۱/۰۹	۰/۶۶	۰/۴۰	۰/۹۵	۰/۲۵	۱/۰۵	۵/۰۰	۰/۳۳
D3	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۷۶	۰/۱۹	۱/۳۰	۳/۶۷	۰/۲۶
D4	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۲۸	۰/۹۵	۲/۰۰	۰/۳۷
Mean D	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۳۶	۰/۸۲	۰/۲۴	۱/۱۰	۳/۱۴	۰/۳۴
A24	۰/۷۳	۱/۰۰	۰/۸۹	۰/۴۴	۰/۷۱	۰/۲۸	۱/۰۰	۴/۳۳	۰/۳۲

۵-۹ محاسبه می‌گردد (Hakanson, 1980):

$$E_r^i = CF \times T_r^i$$

رابطه ۵-۹:

T_r^i : فاکتور پاسخ سمیت از یک عنصر

E_r^i : فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی

CF: فاکتور آلودگی

برای هر فلز یک پاسخ سمیت وجود دارد که این مقدار برای جیوه، کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، نیکل، کروم و روی به ترتیب ۴۰، ۳۰، ۱۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ می باشد (Hakanson, 1980).

شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk Index) هر نمونه از مجموع فاکتور پتانسیل ریسک برای عناصر مختلف محاسبه شده در آن نمونه اکولوژیکی حاصل می شود و برای ارزیابی میزان ریسک اکولوژیکی استفاده می گردد. این شاخص با استفاده از رابطه ۵-۱۰ محاسبه گردید (Hakanson, 1980):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad \text{رابطه ۵-۱۰}$$

در این رابطه E_r^i پتانسیل ریسک اکولوژیکی و RI شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی می باشند. رده بندی میزان ریسک اکولوژیکی رسوبات با در نظر گرفتن میزان شاخص و فاکتور پتانسیل اکولوژیکی در جدول ۵-۱۹ آورده شده است.

جدول (۵-۱۹): رده بندی ریسک اکولوژیکی براساس فاکتور و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Hakanson, 1980)

میزان ریسک	میزان RI	میزان E_r^i	رده
پایین	RI < 150	$E_r^i < 40$	1
متوسط	150 ≤ RI < 300	40 ≤ E_r^i < 80	2
قابل ملاحظه	300 ≤ RI < 600	80 ≤ E_r^i < 160	3
خیلی بالا	RI ≥ 600	160 ≤ E_r^i < 320	4
خطرناک	-	$E_r^i \geq 320$	5

براساس نتایج محاسبه فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی در رسوبات منطقه (جدول ۵-۲۰) مشخص می گردد که رسوبات نسبت به عنصر کادمیوم در تمامی ایستگاهها دارای ریسک اکولوژیکی متوسط تا

خطرناک می‌باشد و کادمیوم به عنوان عنصری با بزرگترین ریسک اکولوژیکی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود. رسوبات نسبت به عناصر مس، نیکل، روی، کروم و سرب ریسک اکولوژیکی پایینی دارند و در تمامی ایستگاه‌ها میزان فاکتور ریسک اکولوژیکی کمتر از ۴۰ را نشان می‌دهند. مجموع فاکتورهای ریسک اکولوژیکی در هر ایستگاه شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی را بدست می‌دهد (جدول ۵-۲۰).

نتایج نشان می‌دهند که ایستگاه Ch5 و Ch13 دارای شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی در رده قابل ملاحظه می‌باشد. این ایستگاه‌ها به ترتیب تحت تأثیر رواناب‌های کشاورزی و کارخانه ماسه‌شوئی و فاضلاب روستای باباحافظ می‌باشد. ایستگاه‌های Ch6، Ch7، Ch8، Ch10، Ch11، Ch14، Ch15 و D2 دارای شاخص ریسک اکولوژیکی در رده متوسط می‌باشند.

۵-۹- راهنمای کیفیت رسوبات (Sediment Quality Guidelines)

راهنمای کیفیت رسوبات به عنوان یک ابزار مفید برای تعیین کیفیت رسوبات رودخانه‌ای، دریایی، دهانه‌ای استفاده می‌گردد و تأثیرات سوء حضور مواد شیمیایی بر موجودات کفزی در منابع آبی را بررسی می‌نماید (Long et al., 2006). در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تأثیر آلودگی رسوبات بر موجودات زنده در رودخانه از راهنمای کیفیت رسوبات استفاده گردید. غلظت فلزات سنگین در رسوبات با غلظت آستانه تأثیر (Threshold Effect Concentration) یا TEC، غلظت اثر احتمالی تأثیر (Concentration Probable Effect) یا PEC مقایسه گردید (Wisconsin Department of Natural Resources, 2003) با توجه به غلظت عناصر در ایستگاه‌های نمونه‌برداری (جدول ۵-۱۰) و همچنین میانگین مقادیر غلظت فلزات و مقایسه آنها با مقادیر TEC و PEC (جدول ۵-۲۱) نشان داد که میانگین غلظت فلز کادمیوم در رسوبات چشمه‌علی از سطح TEC تجاوز می‌کند، اما کمتر از مقدار PEC می‌باشد. میزان نیکل به جز ایستگاه اول و ایستگاه Ch16، Ch11 و Ch19 در سایر ایستگاه‌ها از حد TEC تجاوز می‌کند. عنصر

جدول (۵-۲۰): مقادیر فاکتور پتانسیل و شاخص ریسک اکوتیکی نمونه‌های رسوب رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های

ورودی به آن

Stations	E_r^i					RI
	Zn	Cr	Pb	Cd	Cu	
Ch1	۰/۳۵	۰/۲۶	۳/۰۰	۴۰	۰/۶۶	۴۴/۸۸
Ch2	۰/۴۶	۰/۲۷	۳/۷۵	۶۰	۰/۸۴	۶۶/۰۶
Ch3	۰/۴۱	۰/۲۶	۳/۰۰	۵۰	۰/۷۴	۵۵/۴۱
Ch4	۰/۴۲	۰/۲۶	۳/۲۵	۱۱۰	۰/۵۳	۱۱۵/۰۲
Ch5	۰/۵۶	۰/۳۵	۹/۰۰	۴۲۰	۱/۲۹	۴۳۲/۱۲
Ch6	۰/۷۵	۰/۴۷	۴/۷۵	۲۵۰	۱/۷۶	۲۶۱/۷۴
Ch7	۰/۷۳	۰/۵۲	۴/۷۵	۲۲۰	۱/۴۲	۲۲۹/۴۸
Ch8	۰/۶۴	۰/۶۱	۴/۷۵	۱۵۰	۱/۵۹	۱۵۹/۸۵
Ch9	۰/۷۰	۰/۵۵	۴/۰۰	۸۰	۱/۶۴	۸۸/۸۷
Ch10	۰/۷۲	۰/۶۰	۴/۷۵	۲۴۰	۱/۶۶	۲۴۹/۹۷
Ch11	۰/۷۱	۰/۴۱	۶/۲۵	۱۵۰	۱/۳۱	۱۶۰/۱۹
Ch12	۰/۸۳	۰/۴۸	۴/۵۰	۹۰	۱/۷۳	۹۹/۷۰
Ch13	۰/۷۶	۰/۵۳	۶/۷۵	۲۹۰	۱/۵۸	۳۰۱/۶۸
Ch14	۰/۶۵	۰/۴۳	۵/۷۵	۱۴۰	۱/۳۰	۱۵۰/۰۲
Ch15	۰/۶۶	۰/۳۹	۵/۲۵	۱۵۰	۱/۲۴	۱۵۹/۳۲
Ch16	۰/۷۶	۰/۳۷	۵/۵۰	۶۰	۱/۲۶	۶۹/۲۹
Ch17	۰/۷۹	۰/۴۹	۶/۰۰	۷۰	۱/۶۶	۸۰/۷۶
Ch18	۰/۷۶	۰/۵۰	۷/۲۵	۹۰	۱/۷۱	۱۰۳/۰۰
Ch19	۰/۶۷	۰/۳۴	۴/۷۵	۴۰	۱/۰۳	۴۸/۱۵
Mean Ch	۰/۶۵	۰/۴۳	۵/۲۱	۱۴۲	۱/۳۱	۱۵۱/۳۴
D1	۰/۷۶	۰/۴۸	۵/۵۰	۶۰	۲/۰۹	۷۰/۷۴
D2	۰/۹۵	۰/۵۰	۵/۲۵	۱۵۰	۱/۶۳	۱۶۰/۳۶
D3	۰/۷۶	۰/۳۸	۶/۵۰	۱۱۰	۱/۲۸	۱۲۰/۲۶
D4	۰/۸۸	۰/۵۶	۴/۷۵	۶۰	۱/۸۶	۷۰/۰۷
Mean D	۰/۸۴	۰/۴۸	۵/۵۰	۹۵	۱/۷۱	۱۰۵/۳۶
A24	۰/۷۱	۰/۵۷	۵/۰۰	۱۳۰	۱/۶۰	۱۴۰/۰۹

سرب به استثنای ایستگاه Ch5 مقادیری پایین‌تر از حد غلظت آستانه را نشان می‌دهد. غلظت‌های سه عنصر مس، کروم و روی در تمامی ایستگاه‌ها پایین‌تر از TEC اندازه‌گیری شد و رسوبات بستر رودخانه از نظر این عناصر در وضعیت مساعدی می‌باشد. به طور کلی می‌توان اینگونه جمع‌بندی نمود که عنصر کادمیوم

در رسوبات بستر وضعیت نامطلوبی را ایجاد نموده است و غلظت آن در بسیاری از ایستگاه‌ها از غلظت آستانه تأثیر بالاتر می‌باشد (جدول ۵-۲۱).

جدول (۵-۲۱): مقایسه مقادیر TEC و PEC با میانگین غلظت فلزات در رسوبات رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

	Ni	Zn	Cr	Pb	Cd	Cu
TEC	۲۲/۷۰	۱۲۱/۰۰	۴۳/۴۰	۳۵/۸۰	۰/۹۹	۳۱/۶۰
PEC	۴۸/۶۰	۴۵۹/۰۰	۱۱۱/۰۰	۱۲۸/۰۰	۴/۹۸	۱۴۹/۰۰
Mean Ch	۲۲/۲۸	۶۱/۶۴	۱۹/۱۸	۲۰/۸۴	۱/۴۲	۱۱/۶۸
Mean D	۲۴/۷۷	۷۹/۹۶	۲۱/۷۵	۲۲/۰۰	۰/۹۵	۱۵/۴۲
A24	۳۰/۱۰	۶۷/۴۸	۲۵/۵۰	۲۰/۰۰	۱/۳۰	۱۴/۴۰

۵-۱۰- آنالیز مؤلفه اصلی یا PCA (Principal Component Analysis)

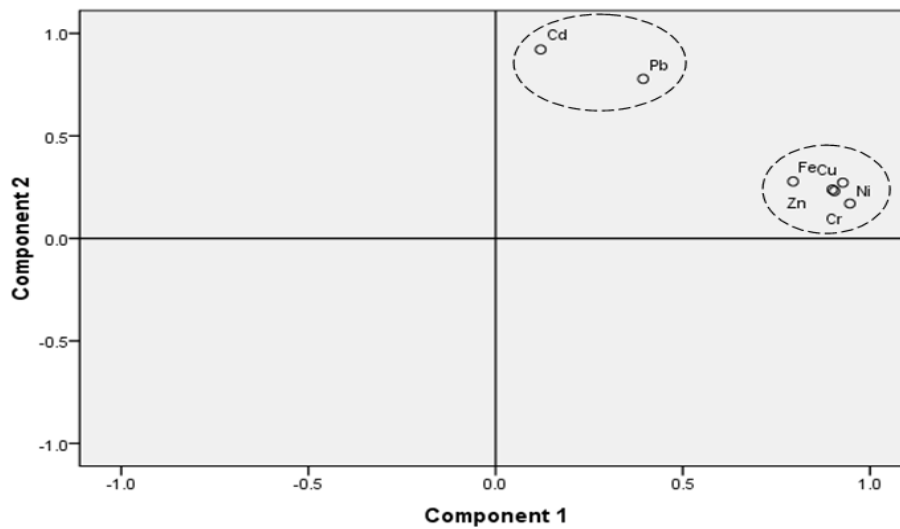
آنالیز مؤلفه اصلی یک تکنیک آنالیز خطی می‌باشد. این تکنیک آماری برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها استفاده می‌گردد و سعی می‌کند رابطه موجود بین منشأ داده‌ها را نیز حفظ کند و اغلب در نمایش داده‌ها و کارهای مقایسه‌ای بین داده‌ها به کار می‌رود. این روش یک مجموعه از متغیرها که به نام مؤلفه اصلی PC_s نامیده می‌شود را به عنوان ترکیب خطی از متغیرهای اولیه می‌سازد (Lu et al., 2007). نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی در رسوبات در جدول ۵-۲۲ و شکل ۵-۴۱ آورده شده است.

با توجه به نتایج آنالیز مؤلفه اصلی عناصر کروم، نیکل، روی، آهن و مس در یک مؤلفه قرار می‌گیرند و بیشترین میزان بارگذاری مثبت در مؤلفه اول معادل ۵۹/۷۷ می‌باشد. این امر نشان از وابستگی این عناصر با عنصر آهن و تأثیر سازندهای تخریبی منطقه (شمشک و کرج) بر روند پراکنش این عناصر در رسوبات رودخانه می‌باشند. در مؤلفه دوم سرب و کادمیوم در یک گروه قرار می‌گیرند. ۲۴/۵۷ از واریانس را تشکیل می‌دهند. این امر ناشی از منشأ دوگانه این دو عنصر می‌باشند. زیرا این عناصر دارای منشأ زمین‌زاد و انسان‌زاد در رسوبات منطقه می‌باشند.

جدول (۵-۲۲): چگونگی جایگیری عناصر در مؤلفه اصلی در آنالیز PCA

عناصر	Component 1	Component 2
Cu	۰/۹۲۷	۰/۲۷۲
Cd	۰/۱۲۰	۰/۹۲۲
Cr	۰/۹۰۵	۰/۲۳۱
Zn	۰/۸۹۹	۰/۲۳۸
Fe	۰/۷۹۵	۰/۲۷۸
Ni	۰/۹۴۶	۰/۱۷۰
Pb	۰/۳۹۴	۰/۷۷۸

Component Plot in Rotated Space



شکل (۵-۴۱): نمودار آنالیز مؤلفه اصلی در نمونه‌های رسوب منطقه

نتیجہ گیری و پیشہ ماہ

۶-۱- مقدمه

رودخانه‌ها از جمله منابع آب شیرین در روی زمین می‌باشند. این منابع به دلیل ورود پساب‌های کشاورزی، صنعتی و فاضلاب خانگی در معرض آلاینده‌های گوناگون قرار گرفته‌اند. فلزات سنگین یکی از این آلاینده‌ها می‌باشند که به درون محیط آبی وارد می‌شوند. منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، رودخانه چشمه‌علی از محل مظهر چشمه تا سد شاهچراغی واقع در شهرستان دامغان می‌باشد. این تحقیق به منظور ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب و تعیین تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه و عوامل بشرزاد بر کیفیت آب و رسوبات رودخانه چشمه‌علی صورت گرفت. پس از انجام مطالعات اولیه و بررسی منطقه، ۲۴ ایستگاه در طول مسیر رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن تعیین گردید. پارامترهای فیزیکوشیمیایی پس از آماده‌سازی نمونه‌های آب و رسوب اندازه‌گیری شد. پراکندگی و توزیع فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند مواد آلی و درصد کربنات کلسیم، EC و pH با استفاده از نرم افزار GIS بر روی مسیر رودخانه نشان داده شد. همچنین از نرم افزارهای AqQA، Chemistry و Phreeqc برای تعیین تیپ آب و شاخص اشباع استفاده شد. در ادامه به منظور بررسی کیفیت رسوبات بستر رودخانه از شاخص‌های ژئوشیمیایی، زمین‌انباشت، فاکتور غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی و بار آلودگی استفاده گردید. با استفاده از پتانسیل ریسک اکولوژیکی، ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین تعیین شد. برای تجزیه و تحلیل روابط بین غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده همبستگی و آنالیز مؤلفه اصلی بر روی اطلاعات بدست آمده انجام گرفت. در ادامه خلاصه نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر آورده شده است.

۶-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی متعلق به دوران‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک رخمون دارند. سازندهای الیکا، شمشک، دلیچای، لار، آهک کرتاسه، سازند کرج، رسوبات نئوژن و کواترنری در

منطقه رخنمون دارند. سازند شمشک در منطقه حاوی لایه‌های ماسه‌سنگ، زغال و شیل سیاه و سازند دلیچای و لار دارای لایه‌های آهکی می‌باشد. سازند الیکا در منطقه دارای جنس دولومیتی است.

رودخانه چشمه‌علی از چشمه‌ای به همین نام سرچشمه می‌گیرد و سرشاخه‌های آستانه و دامغانرود به این رودخانه می‌ریزد. ارتفاع حوضه آبریز چشمه‌علی به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد و در نهایت به کویر حاج‌علی‌قلی دامغان منتهی می‌گردد. رودخانه چشمه‌علی در مسیر حرکت خود تحت تأثیر فاضلاب سه روستای آستانه، باباحافظ و آهوانو قرار دارد. همچنین رواناب‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی حاشیه رودخانه به درون آن تخلیه می‌شوند.

۳-۶- ارزیابی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و رسوبات منطقه

pH آب و رسوب منطقه در محدوده قلیایی قرار می‌گیرد و روند تغییرات تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند. pH در نمونه‌های آب چشمه‌علی بین ۷/۸۲ تا ۸/۹۶ و در نمونه‌های رسوب چشمه‌علی بین ۷/۶۳ تا ۸/۴۴ تغییر می‌کند. pH نمونه‌های آب و رسوب به طور هماهنگ به سمت پایین‌دست افزایش نشان می‌دهند که این موضوع را می‌توان به سیستم بسته کارستی چشمه و سنگهای کربناته منطقه مرتبط دانست.

میانگین EC نمونه‌های آب رودخانه چشمه‌علی ۷۲۸/۲۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و EC نمونه‌های رسوب ۱۲۳/۹۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. به دلیل حضور سنگهای کربناته در منطقه و عدم حضور گسترده سازندهای تبخیری، هدایت الکتریکی در آب و رسوب پایین می‌باشد. هدایت الکتریکی آب و رسوب به طور هماهنگ از بالادست به سمت پایین‌دست به علت الحاق سرشاخه دامغانرود و انحلال سازندهای حاوی ژیپس افزایش می‌یابد.

کاتیون اصلی غالب در نمونه‌های آب منطقه کلسیم می‌باشد. این یون از انحلال سنگهای کربناته و سولفات در منطقه منشأ می‌گیرد. یون منیزیم در مقایسه با کلسیم مقادیر پایین‌تری را نشان می‌دهد و

بین ۶/۷۲ تا ۲۱/۶ میلی گرم بر لیتر تغییر می کند. کاتیون پتاسیم در آب به علت حضور سنگهای کربناته و نوع رسوبات بستر (گراول ماسه‌ای) صفر می باشد. سدیم در آب رودخانه از محل مظهر چشمه به سمت پایین دست روند افزایشی را به دلیل انحلال هالیت‌ها و سیلیکات‌ها نشان می دهد.

یون بی کربنات یون غالب در بین آنیون‌ها است. این یون در اثر انحلال سنگهای کربناته اعم از آهکی و دولومیتی و سولفات‌ها وارد آب می گردد. یون سولفات نیز به دلیل افزایش حضور رسوبات حاوی ژئوپس به سمت پایین دست افزایش می یابد و میانگین این یون در رودخانه چشمه علی معادل ۶۱/۱۵ میلی گرم بر لیتر می باشد. همچنین سرشاخه دامغانرود با میانگین سولفات ۸۸ میلی گرم بر لیتر در افزایش سولفات رودخانه چشمه علی تأثیر بسزایی دارد. کلر با توجه به همبستگی مثبت با یون سدیم (۰/۷۴۴)، احتمالاً از انحلال هالیت در منطقه ایجاد شده است و از محل مظهر چشمه به سمت پایین دست روند افزایشی را نشان می دهد.

یون فسفات از فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی منشأ می گیرد و دارای میانگین ۰/۱۸ میلی گرم بر لیتر در رودخانه چشمه علی می باشد و در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه اول از حد مجاز استاندارد تجاوز می کند. در واقع رودخانه به فسفات آلوده می باشد. غلظت نترات در رودخانه چشمه علی و سرشاخه دامغانرود به ترتیب میانگین ۰/۹۸ و ۰/۶۲ میلی گرم بر لیتر را نشان می دهند.

براساس نمودار پایپر تمامی نمونه‌های برداشت شده آب از منطقه دارای تیپ و رخساره بی کربنات-کلسیک می باشند که با لیتولوژی منطقه مطابقت دارد.

نمونه‌های آب منطقه براساس نمودار شولر از نظر آشامیدن در محدوده خوب تا قابل قبول قرار می گیرد. براساس نمودار ویلکاکس، ۵۶/۵۲ درصد از نمونه‌های آب در کلاس C_2S_1 (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) و ۴۳/۴۸ درصد در کلاس C_3S_1 (شور- قابل استفاده برای کشاورزی) قرار می گیرند.

نمودار گیبس در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب در منطقه انحلال و هوازدگی سنگها می‌باشد. براساس شاخص اشباع، نمونه‌های آب نسبت به کانیهای اندریت، آراگونیت، ژپس، کلسیت و دولومیت به حالت فوق اشباع رسیده است و نسبت به هالیت در حالت تحت اشباع قرار دارد. با توجه به گسترش سنگهای کربناته این امر قابل توجیه می‌باشد.

بافت رسوبات به جز در ۳ ایستگاه Ch8، Ch9، Ch10 در تمامی ایستگاه‌ها به دلیل رخنمون واحدهای آهکی و تخریبی در منطقه گراول ماسه‌ای می‌باشد. ایستگاه‌های Ch8، Ch9، Ch10 به ترتیب ماسه گلی، گراول ماسه‌ای گلی و ماسه گلی گراولی می‌باشند. دلیل این امر احتمالاً وجود زمین‌های کشاورزی و جریان گرفتن رودخانه در فاصله دورتری از ارتفاعات در درون دشت با جریان آرام در این سه ایستگاه می‌باشد.

مواد آلی به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی و رشد طبیعی درختان بین مقادیر ۱/۲۱ تا ۴/۴٪ در رسوبات رودخانه چشمه‌علی تغییر می‌کند. درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های ایستگاه‌های ابتدائی به دلیل حضور سازندهای کربناته بیشتر می‌باشند و با رخنمون سازند شمشک و کرج از درصد کربنات کلسیم رسوبات کاسته می‌گردد.

۶-۴- ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات منطقه

نیکل

غلظت نیکل در نمونه‌های آب تمامی ایستگاه‌ها از حد مجاز استاندارد بهداشت جهانی (WHO, 2011) پایین‌تر می‌باشد. میانگین نیکل نمونه‌های رسوب چشمه‌علی ۲۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و از غلظت میانگین این عنصر در رسوبات جهانی پایین‌تر می‌باشد. غلظت نیکل رسوبات در ایستگاه‌های ابتدائی به دلیل رخنمون سازندهای کربناته کمتر می‌باشد و با تغییر سازند کربناته به آواری، میزان نیکل رسوبات

افزایش می‌یابد. افزایش نیکل در ایستگاه Ch18 (ایستگاه زیر پل) به دلیل عبور وسایل نقلیه و تأثیر عوامل بشرزاد می‌باشد.

روی

غلظت روی در نمونه‌های آب از حد مجاز استاندارد بهداشت جهانی (WHO, 2011) پایین‌تر می‌باشد و روند نسبتاً یکسانی را در نمونه‌های آب نشان می‌دهد. غلظت روی در نمونه‌های رسوب پایین‌تر از غلظت میانگین رسوبات جهانی بوده و با تغییر از رسوبات کربناته به آواری افزایش پیدا می‌کند. این عنصر همبستگی بالایی با نیکل (۰/۸۴۴)، کروم (۰/۸۰۶)، مس (۰/۸۸۶)، آهن (۰/۷۴۳) و سرب (۰/۶۱۷) نشان می‌دهد این امر تأیید کننده منشأ مشترک این عناصر می‌باشد.

سرب

سرب در نمونه‌های آب منطقه به دلیل pH قلیایی ردیابی نگردید. میانگین سرب در نمونه‌های / رسوب ۲۰/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین گردید غلظت سرب در رسوبات به استثنای چند ایستگاه (Ch1، Ch2، Ch3، Ch4، Ch9 و Ch12) در سایر ایستگاه‌ها از میانگین استاندارد جهانی تجاوز می‌کند. منشأ سرب با توجه به لایه زغالدار شمشک و وجود گسترده زمین‌های کشاورزی، هر دو عامل زمین‌زاد و بشرزاد تشخیص داده شد.

کادمیوم

کادمیوم در نمونه‌های آب منطقه ردیابی نگردید. غلظت این عنصر در تمامی نمونه‌های رسوب برداشت شده از غلظت میانگین این عنصر در رسوبات جهانی بالاتر می‌باشد. غلظت بالای این عنصر در رسوبات را می‌توان با فعالیت‌های بشرزاد و تأثیر سازندهای منطقه اعم از کربناته و آواری مرتبط دانست.

مس

عنصر مس به دلیل pH قلیایی منطقه غلظت پایینی را در نمونه‌های آب نشان می‌دهد و روند تغییرات غلظت آن در آب و رسوب به دلیل pH قلیایی منطقه یکسان نمی‌باشد. غلظت مس در نمونه‌های رسوب از غلظت میانگین این عنصر در رسوبات جهانی پایین‌تر می‌باشد و کمترین غلظت را در ایستگاه ابتدائی (مظهر چشمه) و بیشترین غلظت را در ایستگاه دوازدهم (پایین دست زمین کشاورزی) نشان می‌دهد. با توجه به روند تغییرات مس می‌توان نتیجه گرفت با تغییر جنس رسوبات از کربناته به آواری غلظت مس در رسوب افزایش می‌یابد.

کروم

غلظت کروم در آب منطقه از حد مجاز استاندارد بهداشت جهانی (WHO, 2011) پایین‌تر می‌باشد. غلظت کروم در آب و رسوب رودخانه چشمه‌علی به طور هماهنگ در ایستگاه ششم به دلیل تغییر رسوبات از کربناته به آواری افزایش می‌یابد. همبستگی مثبت آهن و کروم (۰/۷۰۶) در رسوبات به نقش اکسید آهن در نگهداشت این فلز اشاره دارد. در واقع کروم بیشتر از سازندهای آواری منطقه و لایه زغالدار شمشک منشأ می‌گیرد. غلظت کروم در رسوبات از غلظت میانگین این عنصر در رسوبات جهانی تجاوز نمی‌کند.

آهن

غلظت آهن در نمونه‌های آب و رسوب در ایستگاه‌های ابتدائی به دلیل رخنمون سازند کربناته کمتر می‌باشد. غلظت آهن در آب منطقه پایین‌تر از حد مجاز استاندارد جهانی آب آشامیدنی (WHO, 2011) می‌باشد. بنابراین احتمالاً منشأ آهن از سازندهای تخریبی منطقه خصوصاً سازندهای شمشک و کرج می‌باشد. غلظت آهن رسوب به جز ایستگاه ششم (پایین دست زمین کشاورزی) و سرشاخه آستانه در سایر ایستگاه‌ها از غلظت متوسط این عنصر در رسوبات جهانی پایین‌تر می‌باشد.

۶-۵- شاخص زمین‌انباشت

براساس مقادیر شاخص زمین‌انباشت برای رسوبات رودخانه چشمه‌علی و سرشاخه‌های ورودی به آن، رسوبات منطقه نسبت به عنصر کادمیوم در رده فاقد آلودگی تا آلودگی قوی قرار می‌گیرند. ایستگاه Ch1 (مظهر چشمه) و D1 (رودخانه دامغانرود و پایین‌دست روستای آستانه) در رده فاقد آلودگی و ایستگاه Ch5 (زمین کشاورزی) در رده آلودگی قوی قرار می‌گیرند. عنصر سرب نیز به جز ایستگاه Ch5 (زمین کشاورزی) در تمامی ایستگاه، مقادیر شاخص زمین‌انباشت کمتر از صفر را نشان می‌دهد و ایستگاه Ch5 نسبت به سرب غیرآلوده تا آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. این ایستگاه در بین باغات قرار گرفته است و در معرض انواع رواناب کشاورزی می‌باشد.

رسوبات نسبت به عناصر روی، نیکل، کروم، آهن و مس همگی براساس طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشت، در رده فاقد آلودگی می‌باشند.

۶-۶- فاکتور آلودگی

براساس فاکتور آلودگی، رسوبات نسبت به عناصر مس، کروم، روی، نیکل و آهن در رده فاقد آلودگی جای می‌گیرند. رسوبات نسبت به عنصر سرب در برخی ایستگاه‌ها (Ch5، Ch6، Ch11، Ch14، Ch15، Ch16، Ch17، Ch18، A24، D1، D2 و D3) در رده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند و در سایر ایستگاه‌ها در رده فاقد آلودگی قرار دارند.

براساس فاکتور آلودگی رسوبات نسبت به عنصر کادمیوم در رده آلودگی متوسط تا آلودگی بسیار بالا قرار می‌گیرند و ایستگاه‌های Ch5، Ch6، Ch7، Ch10، Ch11 و D2 در رده آلودگی بسیار بالا می‌باشند. رسوبات نسبت به عنصر آهن در ایستگاه Ch6 در رده آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها در رده فاقد آلودگی قرار می‌گیرند. ایستگاه Ch6 در محل تبدیل رسوبات کربناته به آواری واقع شده است.

۶-۷- درجه آلودگی اصلاح شده

براساس درجه آلودگی اصلاح شده، نمونه رسوب در ایستگاه Ch5 (زمین کشاورزی) در رده آلودگی متوسط قرار می‌گیرد و نمونه‌های رسوب در ایستگاه‌های Ch6 و Ch13 دارای آلودگی اندک می‌باشند. در سایر ایستگاه‌ها مقدار درجه آلودگی اصلاح شده کمتر از ۱/۵ است و رسوبات نسبت به عناصر مورد بررسی در رده غیرآلوده تا آلودگی اندک قرار می‌گیرد.

۶-۸- فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی

رسوبات با توجه به فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیکی نسبت به کادمیوم در رده ریسک متوسط قرار می‌گیرند. در واقع این فلز نسبت به فلزات دیگر آنالیز شده بزرگترین ریسک اکولوژیکی در منطقه را ایجاد می‌کند. رسوبات نسبت به عناصر مس، نیکل، روی، کروم و سرب پتانسیل ریسک اکولوژیکی پایینی را نشان می‌دهند.

رسوبات در ایستگاه‌های Ch5 و Ch13 با توجه به شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی در رده ریسک اکولوژیکی قابل ملاحظه قرار می‌گیرند. این ایستگاه‌ها علاوه بر تأثیرات زمین‌شناسی منطقه از فعالیت کشاورزی و کارخانه ماسه‌شوئی نیز تأثیر می‌گیرند. رسوبات در ایستگاه‌های Ch6، Ch7، Ch8، Ch10، Ch11، Ch14، Ch15 و D2 نسبت به فلزات مورد بررسی دارای شاخص ریسک اکولوژیکی متوسط می‌باشند و سایر ایستگاه‌ها در رده ریسک پایین قرار می‌گیرند.

۶-۹- بار آلودگی

براساس شاخص بار آلودگی، رسوبات تمامی ایستگاه‌ها در رده غیرآلوده قرار می‌گیرند و بار آلودگی رسوبات منطقه بین ۰/۲۹ تا ۰/۸۴ تغییر می‌کند.

۶-۱۰- راهنمای کیفیت رسوبات (SQGs)

غلظت فلزات آنالیز شده در رسوبات با مقادیر PEC و TEC مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که غلظت نیکل به جز ۵ ایستگاه اول و ایستگاه‌های Ch11، Ch16 و Ch19 در سایر ایستگاه‌ها از مقدار TEC تجاوز می‌کند. عناصر مس، کروم و روی در تمامی ایستگاه‌ها، غلظت پایین‌تر از TEC را نشان می‌دهند. غلظت عنصر کادمیوم در همه نمونه‌های رسوب از سطح TEC تجاوز می‌کند و به همین دلیل نیازمند به توجه بیشتری است. عنصر سرب به جز ایستگاه Ch5 در سایر ایستگاه‌ها مقادیر پایین‌تر از TEC را نشان می‌دهد.

۵-۱۱- آنالیز مؤلفه اصلی (PCA)

براساس نتایج آنالیز مؤلفه اصلی، عناصر نیکل، کروم، مس، روی و آهن به دلیل تأثیر گرفتن بیشتر سازندهای تخریبی و منشأ مشترک (بیشتر زمین‌زاد) رابطه نزدیکی را نشان می‌دهند. عناصر کادمیوم و سرب به دلیل منشأ دوگانه زمین‌زاد و بشرزاد در گروه دوم قرار می‌گیرند.

۶-۱۲- پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

انجام تحقیقات آتی در منطقه پیشنهاد می‌گردد:

- انجام استخراج متوالی بر روی نمونه‌های رسوب برداشت شده از بستر رودخانه جهت تعیین غلظت فلزات در هر یک از فازهای رسوب و در نتیجه تعیین ریسک آزادسازی فلزات به درون محیط آب.
- ارزیابی و مطالعه کیفیت آب و رسوبات سد شاهچراغی.
- بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاهان، آبزیان و ماهی‌های رودخانه چشمه‌علی.
- ارزیابی و بررسی ارتباط تراکم جلبک در مسیر رودخانه چشمه‌علی با کیفیت آب (به طور مثال با غلظت فسفات).

منابع

- استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، (۱۳۸۸) "آب آشامیدنی - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی" تجدید نظر پنجم، ص ۱-۲۶.
- آقناباتی س. ع، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۵۸۶.
- بابائی ه، خداپرست ح، میرزاجانی ع، و نیک سرشت ک، (۱۳۸۸)، "بررسی آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین در آب رودخانه گاماسیاب (استان همدان)"، همایش ملی انسان، محیط زیست و توسعه پایدار، ص ۱۰، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.
- بربریان م، قرشی م، طالبیان م، و شجاع طاهری ج، (۱۳۷۵) "پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر گسلش در گستره سمنان"، گزارش شماره ۶۳ سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۲۶۶.
- پوی س. ه، روو د. ر، چبانوگلاس ج، (۱۳۸۲) "مهندسی محیط زیست" جلد اول، ترجمه (کی‌نژاد م. ع، ابراهیمی س)، چاپ سوم، انتشارات سهند، دانشگاه تبریز، ص ۵۴۵.
- خارا ح. املی س. مظلومی ح. نظامی ش. زلفی‌نژاد ک. خداپرست ح. حسن ج. اکبرزاده ا. محمدی س. قلی‌پور س. احمدنژاد م. احمدزاده ت. قلی‌پور ز. و تقی‌زاده م، (۱۳۷۸) "بررسی و اندازه‌گیری فصلی سموم کشاورزی (هینوازن، ماچتی و دیازینون) در آب رودخانه اشک (شرق گیلان)" **مجله علوم زیستی واحد لاهیجان**، شماره اول، سال دوم: ص ۲۹-۴۳.
- خزایی س، فرقانی ا، و خالدیان م، (۱۳۸۹)، "بررسی آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی و مس) در آب و رسوب رودخانه زرچوب رشت"، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، ص ۶، دانشگاه صنعت و برق (شهید عباسپور)، تهران.
- خسرو تهرانی خ، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران" چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه پیام نور، قم، ص ۳۲۷.
- درویش‌زاده ع، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم)" چاپ اول، انتشارات امیرکبیر، تهران، ص ۴۳۴.
- رحیمی م، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد: "ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در منابع آب و خاک در اثر معدنکاری

زغال در مجموعه معدنی طرزه (مجموعه تونل مادر)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رضایی توابع ک، ملکیان آ، و افضلی ع، (۱۳۸۹)، "مطالعه هیدروبیولوژی و تعیین وضعیت ساپروبی رودخانه چشمه علی دامغان"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع ایران، ص ۸۲-۹۲، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

شکری، م، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "بررسی توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژیکی GIS و RS" دانشگاه شاهرود، شاهرود.

علوی م، و صالحی راد ر، (۱۹۷۵) "نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ دامغان" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قاسم زاده ح، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی رودخانه کشکان (از اتصال سرشاخه مادیانرود)، استان لرستان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قاسمی ح. و جمشیدی خ، (۱۳۹۰) "ژئوشیمی، سنگ شناسی و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگهای بازی قلیایی در قاعده سازند شمشک، زون البرز شرقی" **مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران**، شماره ۴، سال نوزدهم: ص ۶۹۹-۷۱۴.

کرباسی ع، و بیاتی آیدا، (۱۳۸۵)، "ژئوشیمی رسوبات رودخانه سفارود"، سومین همایش ملی بحرانهای زیست محیطی و راهکارهای بهبود آنها، ص ۸، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات مرکز اهواز.

کرمی غ، (۱۳۸۳)، طرح پژوهشی: "بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی چشمه علی دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کریمی ح، (۱۳۷۴)، "بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین در مسیر رودخانه گداز خوش، استان ایلام"، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۶، دانشگاه شیراز.

مغزی س، سعیدی م، و جمشیدی ا، (۱۳۹۰)، "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص های آلودگی رسوب"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ص ۸، دانشگاه سمنان.

مقدسی ص، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه ارشد: "پترولوژی، پتروژنز و جایگاه چینه‌نگاری سنگهای آتشفشانی ژوراسیک در زون البرز شرقی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مهندسین مشاور طرح آبریز، (۱۳۸۷) "مطالعات نیمه تفضیلی آب زیرزمینی دشت دامغان" گزارش دوم، وزرات نیرو (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان).

میسون ب، و مر ک، (۱۳۸۶) "اصول ژئوشیمی" ترجمه (مر، ف، شرفی، ع)، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه شیراز، ص ۵۷۲.

هاشمی نسب م، قاسمپور شیرازی م، کریمی م، و قربانی م، (۱۳۹۱)، "توزیع ژئوشیمیایی عناصر آلاینده در رسوبات رودخانه کر در جنوب شهر مرودشت"، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، ص ۸، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

وحید دستجردی م، شاه منصوری م، و شنبه‌زاده س، (۱۳۷۹)، "بررسی تجمع فلزات سنگین در ذرات معلق بالادست و پائین‌دست زاینده‌رود"، سومین همایش ملی بهداشت محیط، ص ۹۳-۱۰۱، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان.

Reference

- Abdallah M. A. M. (2007) "Speciation of Trace Metals in Coastal Sediments of El-Mex Bay South Mediterranean Sea-west of Alexandria (Egypt)" **Environmental Monitoring and Assessment.**, 132, pp 111–123.
- Abraham G. M. S., (2005), PhD. thesis, "**Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand**", University of Auckland, Auckland, New Zealand, pp. 361.
- Abraham G. M. S. and Parker R. G. (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.**, 136, pp 227–238.
- Acevedo-Figueroa D. Jimenez B. D. and Rodríguez- Sierra C. J. (2006) "Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico" **Environmental Pollution.**, 141, pp 336–342.
- Alavi M. (1996) "Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz mountain system in Northern Iran" **Geodynamic.**, 21(1), pp 1-33.
- Alomary A. A. and Belhadj S. (2007) "Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure" **Environmental Monitoring and Assessment.**, 135, pp 265–280.
- Atkinson C. A. Jolley D. F. and Simpson S. L. (2007) "Effect of overlying water pH, dissolved oxygen, salinity and sediment disturbances on metal release and sequestration from metal contaminated marine sediments" **Chemosphere.**, 69, pp 1428–1437.
- Avila-Perez P. Zarazua G. Carapia-Morales L. Tejeda S. Diaz-Delgado C. and Barcelo-Quintal I. (2007) "Evaluation of heavy metal and elemental composition of particles in suspended matter of the Upper Course of the Lerma River" **Radioanalytical and Nuclear Chemistry.**, 273, pp 625-633.
- Axtmann E. and Luoma S. (1991) "Large scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River USA" **Applied Geochemistry.**, 6, pp 75–88.
- Banerjee A. D. (2003) "Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India" **Environmental Pollution.**, 123, pp 95–105.

- Batley G. E. (1989), “**Analytical methods and problems**”, CRC Press, Boca Raton, pp. 360.
- Beijer K. and Jernelöv A. (1986). General aspects of and specific data on ecological effects of metals, pp 253–268, In: “**Handbook on the Toxicology of Metals**”, Friberg L. Nordberg G. F. and Vouk V. (eds). Academic Press. London.
- Berzas Nevado J. J. Rodríguez Martín-Doimeadios R. C. Guzmán Bernardo F. J. Jiménez Moreno M. Ortega Tardío S. Sánchez-Herrera Fornieles M. M. Martín-Nieto Ríos S. and Doncel Pérez A. (2009) “Integrated pollution evaluation of the Tagus River in Central Spain” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 156, pp 461-477.
- Bott A. W. (1995) “Voltammetric Determination of Trace Concentrations of metals in the Environment” **Current Separations.**, 14(1), pp 24-30.
- Bowen H. J. M. (1979), “**Environmental Chemistry of the Elements**”, Academic Press, New York, pp. 348.
- Bradl H. (2005), “**Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation**”, Vol. 6, Interface Science and Technology, pp. 269.
- Calmano W. Hong J. and Förstner U. (1993) “Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential” **Water Science and Technology.**, 28(8–9), pp 53–58.
- Castañeda V. B. Cuevas A. R. Martínez C. R. Miranda M. V. and Benavides L. M. (2010) “Distribution and partitioning of iron, zinc, and arsenic in surface sediments in the Grande River mouth to Cuitzeo Lake, Mexico” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 166, pp 331-346.
- Chapman D. (1996), “**Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota Sediments and Water in Environmental Monitoring**”, 2nd ed. London: E & FN Spon, pp. 609.
- Chen J. S. Wang F. Y. Li X. D. and Song J. J. (2000) “Geographical variations of trace elements of the major rivers in eastern China” **Environmental Geology.**, 39(12), pp 1334–1340.
- Dalai B. and Ishiga H. (2013) “Geochemical evaluation of present-day Tuul River sediments, Ulaanbaatar basin, Mongolia” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 185. pp 2869-2881.
- Dollar N. L. Souch C. J. Filippelli G. M. and Mastalerz M. (2001) “Chemical fractionation of metals in wetland sediments: Indiana Dunes National Lakeshore” **Environmental Science and Technology.**, 35, pp 3608–3615.

- Drever J. I. (1997), **“The geochemistry of natural waters”**, 3rd edn. Prentice-Hall, Upper Saddle River, pp. 436.
- Eby G. N. (2004), **“Principles of environmental chemistry”**, University of Massachusetts Lowell, Thomson, pp. 514.
- Eggleton J. and Thomas K. V. (2004) “A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events” **Environment International.**, 30, pp 973–980.
- Elango L. Kannan R. and Senthil K. (2003) “Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram District, Tamil Nadu, India” **Environmental Geosciences.**, 10 (4), pp 157–166.
- Environment Canada (1990), **“Sediment Contamination”**, Ottawa, Canada.
- Evans G. W. (1973) “Copper homeostasis in the mammalian system” **Physiological Reviews.**, 53, pp 535–570 .
- Ficklin W. H. Plumlee G. S. Smith K. S. and Mchugh J. B. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. pp 381-384, In: **“Water-rock interaction”**, Kharaka Y. K. and Maest A. S. (eds), Balkema, Rotterdam, Vol. 7.
- Filgueiras A. V. Lavilla L. and Bendicho C. (2004) “Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study” **Science of the Total Environment.**, 330, pp 115-129.
- Folk R. L. (1954) “The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature” **Geology.**, 62, pp 344-359.
- Forstner U. and Wittman G. T. W. (1983), **“Metal pollution in the aquatic environment”** Vol. 18, Springer-Verlag, Berlin. pp. 194.
- Freeze R. A. and Cherry J. A. (1979), **“Groundwater”**, Englewood Cliffs, Prentice Hall, pp. 604.
- Garrels R. M. (1976) “A Survey of Low Temperature Water Mineral Relations, in Interpretation of Environmental Isotope and Hydrogeochemical Data in Groundwater Hydrology: Vienna” **International Atomic Energy Agency.**, 27, pp 65–84.
- Garrels R. M. Mackenzie F. T. and Hunt C. (1975), **“Chemical cycles and the global environment: assessing human influences”**, Los Altos, California, William Kaufmann, Inc.

- Gibbs R. J. (1970) "Mechanisms controlling world water chemistry" **Science.**, 170, pp 1088-1090.
- Gibbs R. J. (1973) "Mechanisms of trace metal transport in rivers" **Science.**, 180, pp 71-73.
- Giusti L. and Taylor Y. (2007) "Natural and anthropogenic contamination of the Fratta-Gorzone river (Veneto, Italy)" **Environmental Monitoring and Assessment.**, 134, pp 211-231.
- Gomez-Ariza J. L. Giraldez I. Sanchez-Rodas D. and Morales E. (1999) "Metal read sorption and redistribution during the analytical fractionation of trace elements in oxic estuarine sediments" **Analytica Chimica Acta.**, 399, pp 295–307.
- Hakanson L. (1980) "An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach" **Water Research.**, 14, pp 975–1001.
- Hansen J. C. and Strawn D. G. (2003) "Kinetics of phosphorus release from manure-amended alkaline soil" **Soil Science.**, 168 (12), pp 869–879.
- Homady M. Hussein H. Jiries A. Mahasneh A. Al-Nasir F. and Khleifat K. (2002) "Survey of some heavy metals in sediments from vehicular service stations in Jordan and their effects on social aggression in prepubertal male mice" **Environmental Research.**, 89, pp 43–49.
- Hounslow A. (1995), "**Water Quality Data: Analysis and Interpretation**", CRC-Press, 1st edition, pp. 416.
- Howari F. M. and Banat K. M. (2002) "Hydrochemical Characteristics of Jordan and Yarmouk River Waters: Effect of Natural and Human Activities" **Hydrology and Hydromechanics.**, 50(1), pp 50-61.
- Irabien M. J. and Velasco F. (1999) "Heavy metals in Oka river sediments (Urdabai National Biosphere Reserve, northern Spain): lithogenic and anthropogenic effects" **Environmental Geology.**, 37(1–2), pp 54–63.
- Issa Y. M. Elewa A. A. Rizk M. S., and Hassouna A. F. A. (1996) "Distribution of some heavy metals in Qaroun lake and river Nile, Egypt, Menofiya" **Agricultural Research.**, 21 (5), pp 733–746.
- Jeevanandam M. Kannan R. Srinivasalu S. and Rammohan V. (2007) "Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment of Lower Part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore District, South India" **Environmental Monitoring and Assessment.**, 132, pp 263-274.

- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. B. (2007), “**Trace Elements from Soil to Human**”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 561.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H. (2001), “**Trace elements in soil and plants**”, 3rd ed, CRC Press, Boca Raton, pp. 413.
- Karbassi A. R. Monavari S. M. Nabi Bidhendi Gh. R. Nouri J. and Nematpour K. (2008) “Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 147, pp 107-116.
- Karnath K. R. (1987), “**Groundwater assessment, development and management**”, New Delhi: Tata McGraw Hill, pp. 720.
- Kikuchi T. Furuichi T. Hai H. T. and Tanaka S. (2009) “Assessment of Heavy Metal Pollution in River Water of Hanoi, Vietnam Using Multivariate Analyses” **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.**, 83. pp 575-582.
- Krishna Kumar S. Rammohan V. Dajkumar Sahayam J. and Jeevanandam M. (2009) “Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India **Environmental Monitoring and Assessment.**, 159, pp 341-351.
- Kumar R. N. Solanki R. and Nirmal Kumar J. I. (2013) “Seasonal variation in heavy metal contamination in water and sediments of river Sabarmati and Kharicut canal at Ahmedabad, Gujarat” **Environmental Monitoring and Assessment**, 185, pp 359-368.
- Kumar Singh C. Rina K. Prakash Singh R. and Mukherjee S. (2013) “Geochemical characterization and heavy metal contamination of groundwater in Satluj River Basin” **Environmental Earth Sciences.**, 125, pp 52-68.
- Lee P. K. and Touray J. (1998) “Characteristics of a polluted artificial soil located along a motorway and effects of acidification on the leaching behavior of heavy metals (Pb, Zn, Cd)” **Water Research.**, 32 (11), pp 3425– 3435.
- Li Q. S. Wu Z. F. Chu B. Zhang N. and Cai S. S. (2007) “Heavy metals in coastal wetland sediments of the Pearl River Estuary, China” **Environmental Pollution.**, 149, pp 158–164.
- Li X. D. Shen Z. G. Wai O. W. H. and Li Y. S. (2001) “Chemical forms of Pb, Zn and Cu in the sediment profiles of the Pearl River Estuary” **Marine Pollution Bulletin.**, 42, pp 215–223.
- Li Y. L. Liu J. L. Cao Z. G. Lin C. and Yang Z. F. (2010) “Spatial distribution and health risk of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in the water of

- Luanhe River Basin, China” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 163, pp 1-13.
- Lin C. He M. Liu X. Guo W. and Liu S. (2012) “Contamination and ecological risk assessment of toxic trace elements in the Xi River, an urban river of Shenyang city, China” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 185, pp 4321-4332.
- Liu J. Li Y. Zhang Cao J. Cao Z. and Domagalski J. (2009) “Ecological risk of heavy metals in sediments of the Luan River source water” **Ecotoxicology.**, 18. pp 748-758.
- Liu L. Li F. Xiong D. and Song C. (2006) “Heavy metal contamination and their distribution in different size fractions of the surficial sediment of Haihe River, China” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 50, pp 431-438.
- Lohani M. B. Singh A. Rupainwar D. C. and Dhar D. N. (2008) “Seasonal variations of heavy metal contamination in river Gomti of Lucknow city region” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 147. pp 253-263.
- Long E. R. Ingersoll C. G. and MacDonald D. D. (2006) “Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review” **Environmental Science and Technology.**, 40, pp 1726–1736.
- Longjiang M. Qiang F. Duowen M. Ke H. and Jinghong Y. (2011) “Contamination assessment of heavy metal in surface sediments of the Wuding River, northern China” **Radioanalytical and Nuclear Chemistry.**, 290, pp 409-414.
- Lu X. Q. Wang L. Liu H. D. Wang R. and Chen J. (2007) “Studies on the interaction between antibiotics and DNA” **Talanta.**, 73, pp 444–450.
- Lyons P. C. Curtis A. P. Bostick N. H. Fletcher J. D. Dulong F. T. Brown F. W. Brown Z. A. Krasnow M. R. and Romankiw L. W. (1989) “Chemistry and origin of minor and trace elements in vitrinite concentrates from a rank series from the eastern United States, England, and Australia” **International Coal Geology.**, 13, pp 481-527.
- Makepeace D. K. Smith D. W. and Stanley S. J. (1995) “Urban stormwater quality: summary of contamination data” **CRC Critical Reviews in Environmental Science Technology.**, 25(2), pp 93–139.
- Mandal A. and Haiduk A. (2011) “Hydrochemical characteristics of groundwater in the Kingston Basin, Kingston, Jamaica” **Environmental Earth Sciences.**, 63, pp 415–424.
- Martin J. M. and Whitfield M. (1983). The significance of the river input of chemical elements to the ocean, In: “**Trace Metals in Sea Water**”, Wong C. S. Boyle E. Bruland K. W. Burton J. D. and Goldberg E. D. (eds), Plenum Press, New York.

- Massolo S. Bignasca A. Sarkar S. K. Chatterjee M. Bhattacharya B. D. and Alam A. (2012) “Geochemical fractionation of trace elements in sediments of Hugli River (Ganges) and Sundarban wetland (West Bengal, India)” **Environmental Monitoring and Assessment**, 184, pp 7561-7577.
- May H. M. and Nordstrom D. K. (1991). Assessing the solubilities and reaction kinetics of aluminous minerals in soils, pp 125–148, In: “**Soil Acidity**”, Ulrich B. and Sumner M. E. (eds), Berlin Springer Verlag.
- Meyback M. (1987) “Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads” **American Science.**, 287, pp 401–428.
- Montuori P. Lama P. Aurino S. Naviglio D. and Triassi M. (2013) “Metals loads into the Mediterranean Sea: estimate of Sarno River inputs and ecological risk” **Ecotoxicology**, 22, pp 295-307.
- Muller G. (1979) “Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins Veranderungen seit 1971” **Umschau.**, 79(24), pp 778–783.
- Mulligan C. N. Yong R. N. and Gibbs B. F. (2001) “An evaluation of technologies for the removal of heavy metals from sediments” **Hazard Mater.**, 85, pp 145–163.
- Nagarajan R. Rajmohan N. Mahendran U. and Senthamilkumar S. (2010) “Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 171, pp 289-308.
- Nasehi F. Hassani A. H. Monavvari M. Karbassi A. R. and Khorasani N. (2013) “Evaluating the metallic pollution of riverine water and sediments: a case study of Aras River” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 185, pp 197-203.
- Nriagu J. O. (1989) “A Global Assessment of Natural Sources of Atmospheric Trace Metals” **Nature.**, 338, pp 47–49.
- Olivares-Rieumont S. de la Rosa D. Lima L. Graham D. W. Alessandro K. D. Borroto J. and et al. (2005) “Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments—Havana City, Cuba” **Water Research.**, 39, pp 3945–3953.
- Qin F. and Chen W. (2007) “Lead and Copper Levels in Tea Samples Marketed in Beijing, China” **Bulletin Environmental Contamination Toxicology.**, 78, pp 128–131.
- Ramesh K. and Elango L. (2012) “Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 184, pp 3887–3899.

- Reza R. and Singh G. (2010) "Heavy metal contamination and its indexing approach for river water" **International Environmental Science and Technology**, 7(4), pp 785–792.
- Rowell D. L. (1994), "**Soil science: methods and applications**", Longman Scientific and Technical, pp. 350.
- Saeedi M. Hosseinzadeh M. and Rajabzadeh M. (2011) "Competitive heavy metals adsorption on natural bed sediments of Jajrood River, Iran" **Environmental Earth Sciences**, 62, pp 519-527.
- Salati S. and Moore M. (2010) "Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment Shiraz, Southwest Iran" **Environmental Monitoring and Assessment**, 164, pp 677-689.
- Sarin M. M. Krishnaswamy S. Dilli K. Somayajulu B. L. K. and Moore W. S. (1989) "Major-ion chemistry of the Ganga- Brahmaputra river system: Weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal" **Geochimica Et Cosmochimica acta**, 53, pp 997–1009.
- Schwarzenbach R. P. Escher B. I. Fenner K. Hofstetter T. B. Johnson C. A. von Gunten U. and Wehrli B. (2006) "The challenge of micropollutants in aquatic systems" **Science**, 313, pp 1072–1077.
- Sharpley A. N. and Rekolainen S. (1997). Phosphorus in agriculture and its environmental implications, pp 1–55, In: "**Phosphorus loss from soil to water**", Tunney H. Carton O. T. Brookes P. C. and Johnston A. E. (eds), CAB Int, Wallingford.
- Sinaj S. Stamm C. Toor G. S. Condron L. M. Hendry T. Di. H. J. Cameron K. C. and Frossard E. (2002) "Phosphorus exchangeability and leaching losses from two Grassland soils" **Environmental Quality**, 31, pp 319–330.
- Stocklin J. (1968) "Structural history and tectonics of Iran, A review" **American Association of petroleum Geologists Bulletin**, 52, pp 1229-1258.
- Suleymanov B. Ahmedov M. Safarova K. and Steinnes E. (2010) "Metals in Main Rivers of Azerbaijan: Influence of Transboundary Pollution" **Water Air and Soil Pollution**, 213, pp 301-310.
- Szymanowska A. Samecka-Cymerman A. and Kempers A. J. (1999) "Heavy metals in three lakes in West Poland" **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 43(1), pp 21-29.
- Taghinia H. A. Basavarajappa H. T. and Qaid S. A. M. (2010) "Heavy metal pollution in Kabini River sediment" **Environmental Research**, 4, pp 629-636.
- 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, pp. 419.

- Todd D. K. and Mays L. W. (2005), “**Ground water hydrology**” 3rd ed, John Wiley and Sons, New York, pp. 636.
- Tomlinson D. C. Wilson J.G. Harris C. R. and Jeffrey D. W. (1980) “Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of pollution index” **Helgol Meeresunters.**, 33, pp 566–569.
- Toppi L. S. and Gabbrielli R. (1999) “Response to cadmium in higher plants” **Environmental and Experimental Botany.**, 41, pp 105- 130.
- Trivedy R. K. and Geol P. K. (1984), “**Chemical and biological methods for water pollution studies. Karad**”, Environ Publications, pp. 215.
- Uauy R. Olivares M. and Gonzalez M. (1998) “Essentiality of copper in humans” **American Journal of Clinical Nutrition.**, 67 (5), pp 952S–959S.
- USEPA. (1992), “**National water inventory**”, Report to US Congress.
- USEPA, (2006), “**Urban storm water preliminary data summary water**”, epa.Gov/scitech/.../ 2006. 10. 31. guide. storm. water. usw b. pdf.
- Varol M. (2011) “Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques” **Journal of Hazardous Materials.**, 195, pp 355-364.
- Vermeulen J. B. (1992), “**A guide to the use of pesticides and fungicides in the Republic of South Africa**”, Department of Agricultural Development, Pretoria. pp. 271
- Villalobos-Castañeda B. Alfaro-Cuevas R. Cortés-Martínez R. Martínez-Miranda V. and Márquez-Benavides L. (2010) “Distribution and partitioning of iron, zinc, and arsenic in surface sediments in the Grande River mouth to Cuitzeo Lake, Mexico” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 166, pp 331-346.
- Wakida F. T. Lara-Ruiz D. Temores-Pena J. Rodriguez-Ventura J. G. Diaz C. and Garcia-Flores E. (2008) “Heavy metals in sediments of the Tecate River, Mexico” **Environmental Geology.**, 54, pp 637-642.
- Walker B. R. Jolly L. D. and Cook P. G. (1991) “A new chloride leaching approach to the estimation of diffuserecharge following a change in land use” **Hydrology.**, 128, pp 49–67.
- Wang D. He Y. Liang J. Liu P. and Zhuang P. (2013) “Distribution and source analysis of

aluminum in rivers near Xi'an City, China” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 185, pp 1041-1053.

Wang L. Wang Y. Xu C. An Z. and Wang Z. (2011) “Analysis and evaluation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang” **Environmental Monitoring and Assessment**, 173, pp 301-313.

Wang Y. Yang Z. Shen Z. Tang Z. Niu J. and Gao F. (2011) “Assessment of heavy metals in sediments from a typical catchment of the Yangtze River, China” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 172. pp 407-417.

Wen X. H. Wu Y. Q. Wu J. (2008) “Hydrochemical characteristics of groundwater in the Zhangye Basin, Northwester China” **Environmental Geology.**, 55, pp 1713–1724.

Whitton B. A. (1975), “**River Ecology: studies in ecology**” Vol. 2, Blackwell scientific Publication, University of California Press, pp. 725.

WHO (2011), “**Guidelines for Drinking Water Quality**”, World Health Organization, 4rd ed, pp. 564.

Wilcox L. V. (1955), “**Classification and Use of Irrigation Waters**”, US Department of Agriculture, Issue 969, Washington D. C. USA. pp. 19.

Wisconsin Department of Natural Resources, (2003) “**Contaminated Sediment Standing Team**”, WT-732, Washington, D.C.

Wong C. S. C. Li X. D. Zhang G. Qi S. H. and Min Y. S. (2002) “Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China” **Environmental Pollution.**, 119, pp 33–44.

Wu Z. He M. Lin C. and Fan Y. (2011) “Distribution and speciation of four heavy metals (Cd, Cr, Mn and Ni) in the surficial sediments from estuary in daliiao river and yingkou bay” **Environmental Earth Sciences**, 63. pp 163-175.

Yap C. K. and Pang B. H. (2011) “Assessment of Cu, Pb, and Zn contamination in sediment of north western Peninsular Malaysia by using sediment quality values and different geochemical indices” **Environmental Monitoring and Assessment.**, 183, pp 23-39.

Yi Q. Dou X. D. Huang Q. R. and Zhao X. Q. (2012) “Pollution Characteristics of Pb, Zn, As, Cd in the Bijiang River” **Procedia Environmental Sciences.**, 13, pp 43-52.

Zhao Y. Marriott S. Rogers J. and Iwugo K. (1999) “A preliminary study of heavy metal distribution on the floodplain of the River Severn, UK by a single flood vent” **Science of the Total Environment.**, 243/244, pp 219–231.

Abstract

Cheshmeh Ali River is located in the northwest part of Damghan and it is one of main sources of fresh water in Semnan province. The aim of this study was to evaluate the concentration of heavy metals (Fe, Cd, Cr, Ni, Cu, and Pb) in water and surface sediment extending from Cheshmeh Ali Spring to Shahid Shahcheraghi Dam. In this regard, after study of literature, geology, and land use in the area, 24 stations were selected along Cheshmeh Ali River and its tributaries. The water samples, after filtering and acidification, were sent for analysis to the chemical laboratory of Semnan Environmental Protection Agency. Sediments chemical parameters such as pH, EC, organic matter contents, particles size, and percentage of calcium carbonate were measured after preparation. Further statistical analysis, correlation and principal component analysis (PCA) was performed to evaluate the relationship between the data obtained. In order to accurately assess metals variation trends along the river as well as preparing iso-concentration contours, GIS techniques were employed. Hydrochemical softwares were used to determine the type, facies, and suitability of water for agriculture and drinking purposes. Geo-accumulation Index (Igeo), Enrichment Factor (EF) and the Modified Contamination Degree (mCD) were used to assess sediment contamination. According to the results, the pH of water and sediment were in the alkaline range. Water Conductivity values changes from 493 to 1183 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The water type was bicarbonate and its facies was calcic. According to the Wilcox diagram, in Cheshmeh Ali River and Damghanrood branch, water ranges suitable to useful for agriculture and is located in C_2S_1 and C_3S_1 class. Based on the Scholler diagram, the water is in good to acceptable range for drinking. Saturation index show that water samples are supersaturated with respect to aragonite, calcite, dolomite, gypsum and anhydrite. Based on sediment size analysis, dominant bed sediments of Cheshmeh Ali are, sandy gravel. Organic matter content varies from %1.21 to %4.4 due to farming and river bank trees. The highest percentage of calcium carbonate is observed in upstream stations due to limestone formations outcrop. The results of the heavy metal analysis showed that none of the studied metals in the water samples exceeded the standard limit for drinking water (WHO, 2011). Concentrations of nickel, chromium, copper and zinc were lower than the global average sediment. Lead concentrations in %76 of the samples exceeded the global average for sediments. Based on the correlation coefficient and the principal component analysis, chromium, copper, zinc, nickel and iron are mainly geogenic while lead and cadmium have both anthropogenic and geogenic origins. Enrichment Factor with respect to lead in sediments was in the range of unenriched to low enriched class while cadmium is classified in the range of unenriched to severe enrichment. Enrichment factors for iron, copper, zinc, nickel and chromium show that these metals are classified as unenriched class. Based on the potential ecological risk, cadmium is the largest regional ecological risks.

Keywords: River, Cheshmeh Ali, Heavy metal, Water, Sediment, Contamination.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Department of Hydrology and Environmental Geology

MS thesis

**Assessment of heavy metals concentration in water and
superficial sediments of Cheshmeh- Ali River Damghan (From
Cheshmeh- Ali to Shahid Shahecheraghi Dam), Semnan
Province**

Roghayeh Bordbar Haredasht

Supervisor
Dr. B. Dahrazma

Advisor
Dr. A. Taheri

January 2014