

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی

عنوان

بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و آلودگی رودخانه چهل‌چای،

استان گلستان

نقی شاملو

استاد راهنما

دکتر افشین قشلاقی

استاد مشاور

مهندس عبدالرضا کابلی

بهمن ۱۳۹۳



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای نقی شاملو رشته زمین شناسی. گرایش زیست محیطی. تحت عنوان بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و آلودگی رودخانه چهل‌چای، استان گلستان که در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u> - امتیاز: <u>۱۸۱</u>)
--------------------------------	------------------------------------	--

۲۷- بسیار خوب (۱۸۱ - ۱۸/۹۹) ✓

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	افشین قشلاقی	۱- استاد راهنما
	کارشناسی ارشد	عبدالرضا کابلی	۲- استاد مشاور
	استادیار	مسعود علی پورانی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	غلامحسین کرمی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	هادی جعفری	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده:

امضاء

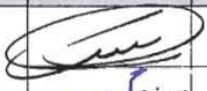

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین
گروه : آب و زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای نقی شاملو
تحت عنوان: بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و آلودگی رودخانه چهل چای، استان گلستان

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۱ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	مهندس عبدالرضا کابلی		دکتر افشین قشلاقی
	—		

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر سعید علی پورامل		دکتر غلامحسین کرمی
			دکتر هادی جعفری
			—
			—

تقدیم به دو وجود مقدس

آمان که ناتوان شدن تا من به توانایی برسم

مویشان سیدگشت تا رو سفید شوم

و عاشقانه سوختن تا گرما بخش وجود و روشنگر راهم باشند

روح پاک پدرم

و

مادرم

مشکر و قدر دانی:

پس از حمد و سپاس خداوند را که بزرگترین امید و یاور در بحبوحه زندگیست. بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگواری به جا آورم که اگر دست یاریکشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید. ابتدا از استاد گرانقدرم آقای دکتر اشین قشقی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم. از استاد مشاور عالی قدم آقای مهندس عبدالرضا کابلی که زحمت مشاوره این پایان نامه را متحمل شدند، صمیمانه مشکر می‌کنم. از مسئولین محترم دانشگاه و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به ویژه جناب آقای مهندس اسلامی و سرکار خانم خواستار کمال مشکر و قدر دانی را دارم. سپاس آخر را به مهربان‌ترین همراهان زندگی ام، مادرم و خانواده دلوزم و همسر مهربانم تقدیم می‌کنم که وجودشان همواره بایه آرامش من است.

تعهد نامه

اینجانب نقی شاملو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود نویسنده پایان‌نامه تحت عنوان بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و آلودگی رودخانه چهل‌چای، استان گلستان، راهنمایی دکتر افشین قشلاقی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

۱۳۹۳، ۱۲، ۵

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان‌نامه وجود داشته باشد.

چکیده:

رودخانه چهل‌چای یکی از سرشاخه‌های رودخانه گرگانرود است. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی کیفیت هیدروشیمیایی آب، غلظت عناصر سنگین (Cu، Pb، Mn و Cr) و آلودگی بیولوژیکی این رودخانه است. در این مطالعه پس از بازدید صحرایی از منطقه و جمع‌آوری اطلاعات اولیه، ۱۶ ایستگاه نمونه-برداری در طول رودخانه انتخاب گردید. نتایج این بررسی نشان داد که، pH نمونه‌های آب مورد مطالعه از ۶/۹-۷/۹۸ تغییر می‌کند و در محدوده خنثی تا قلیایی قرار دارد. غلظت یون‌های اصلی در طول رودخانه چهل‌چای تغییرات زیادی را نشان می‌دهند و در بالادست رودخانه بیشتر تحت تأثیر لیتولوژی غالب در منطقه، که عمدتاً ترکیبات آهکی و دولومیتی سازندهای روته، خوش بیلاق و چمن‌بید است، قرار گرفته و در پایین دست رودخانه نیز به علت عبور از محدوده شهری شهر مینودشت، متأثر از فعالیت‌های انسانزاد (فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری) است. تیپ غالب آب رودخانه بی‌کربناته کلسیک بوده و به لحاظ سختی، ۲۵٪ نمونه‌ها در رده سخت و ۷۵٪ نمونه‌ها در رده بسیار سخت قرار می‌گیرند. آب رودخانه همچنین براساس نمودار ویلکاکس برای اهداف کشاورزی مناسب است. محاسبه شاخص اشباع‌شدگی برای نمونه‌های آب مورد مطالعه نشان داد که، اکثر نمونه‌ها نسبت به کانیهای کلسیت، آراگونیت و دولومیت فوق اشباع و نسبت به کانیهای سولفات‌ه انیدریت، ژیپس و هالیت در حالت تحت اشباع قرار دارند. مطالعات بیولوژیکی آب رودخانه نیز نشان داد که همه نمونه‌های مورد مطالعه (به جز ایستگاه S1) نسبت به پارامترهای BOD و COD آلودگی نشان می‌دهند. بر اساس مطالعات میکروبی نیز مشخص شد که تمام نمونه‌ها دارای درجاتی از آلودگی میکروبی هستند. بر طبق محاسبه شاخص‌های کیفیت NSFQI و OWQI آشکار شد که همه نمونه‌ها در رده بد و خیلی بد قرار دارند. همچنین آب رودخانه چهل‌چای نسبت به فلزات سرب، منگنز، کروم و مس دارای غلظتی پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO بوده که عمدتاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانزاد قرار دارند.

کلمات کلیدی: رودخانه چهل‌چای، هیدروشیمی، آلودگی، فلزی و بیولوژیک

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

- بررسی ویژگی‌های کیفی و هیدروشیمیایی آب رودخانه چهل‌چای، حوضه رودخانه گرگانرود، استان گلستان، هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، آذر ۹۳
- ارزیابی پارامترهای بیولوژیکی و آلودگی میکروبی در رودخانه چهل‌چای، استان گلستان، اولین همایش ملی جغرافیا، گردشگری و توسعه پایدار، تهران، بهمن ۹۳

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	۱-۱- مقدمه و بیان مسأله.....
۲	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۳	۳-۱- اهداف تحقیق.....
۳	۴-۱- روش انجام تحقیق.....
۴	۵-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۴	۶-۱- راه‌های ارتباطی به محدوده مورد مطالعه.....
۵	۷-۱- حوضه آبریز چهل‌چای.....
۶	۸-۱- اقلیم منطقه مورد مطالعه.....
۷	۹-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۷	۱۰-۱- چینه‌شناسی منطقه.....
۹	۱-۱۰-۱- سازند روته.....
۹	۲-۱۰-۱- سازند خوش‌بیلاق.....
۱۰	۳-۱۰-۱- سازند کشف‌رود.....
۱۱	۴-۱۰-۱- سازند چمن‌بید.....
۱۲	۵-۱۰-۱- سازند پادها.....
۱۲	۶-۱۰-۱- سازند لالون.....
۱۳	۷-۱۰-۱- سازند مزدوران.....
۱۴	۸-۱۰-۱- سازند میلا.....

۱۱-۱- نهشته‌های کواترنری ۱۴

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه..... ۱۶

۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه ۱۶

۲-۲-۱- عوامل طبیعی..... ۱۶

۲-۲-۲- عوامل غیرطبیعی (انسانزاد) ۱۸

۲-۲-۲-۱- فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری..... ۱۸

۲-۲-۲-۲- پساب‌ها یا رواناب‌های کشاورزی ۲۰

۲-۲-۲-۳- پساب‌های صنعتی ۲۱

۳-۲- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه ۲۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۱-۳- مقدمه..... ۲۶

۲-۳- تعیین موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۲۶

۳-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها..... ۲۸

۴-۳- اندازه‌گیری خواص نمونه‌های آب در محل..... ۳۰

۵-۳- اندازه‌گیری‌های انجام شده در آزمایشگاه ۳۰

۱-۵-۳- کدورت (Turbidity) ۳۰

۲-۵-۳- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها..... ۳۰

۳-۵-۳- غلظت فلزات سنگین ۳۰

۴-۵-۳- پارامترهای بیولوژیکی ۳۰

۱-۴-۵-۳- BOD_5^{20} ۳۱

۲-۴-۵-۳- اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) ۳۱

- ۳۱ اکسیژن حل شده (DO) ۳-۴-۵-۳
- ۳۲ باکتریهای کلی فرم کل و کلی فرمهای مدفوعی ۴-۴-۵-۳
- ۳۲ روش آماری تحلیل داده‌ها ۶-۳
- ۳۳ ضریب همبستگی ۱-۶-۳
- ۳۳ نرم افزارهای مورد استفاده ۷-۳

فصل چهارم: بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای و عوامل موثر بر آن

- ۳۶ مقدمه ۱-۴
- ۳۶ بررسی تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی در آب رودخانه چهل چای ۲-۴
- ۳۶ تغییرات دما ۳-۴
- ۳۸ کدورت (Turbidity) ۴-۴
- ۳۹ تغییرات PH نمونه‌های آب ۵-۴
- ۴۰ تغییرات هدایت الکتریکی (EC) ۶-۴
- ۴۲ غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های آب ۷-۴
- ۴۲ کاتیون‌ها ۱-۷-۴
- ۴۶ آنیون‌ها ۲-۷-۴
- ۵۰ فرایندهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب رودخانه ۸-۴
- ۵۱ مدل گیس ۱-۸-۴
- ۵۱ شاخص اشباع شدگی (Saturation Index) ۲-۸-۴
- ۵۳ تیپ و رخساره هیدروشیمیایی نمونه‌های آب رودخانه چهل چای ۳-۸-۴
- ۵۳ نمودار پایپر ۱-۳-۸-۴
- ۵۴ نمودار استیف ۲-۳-۸-۴
- ۵۷ ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل چای از نظر استفاده در اهداف کشاورزی ۹-۴

- ۵۹۱-۹-۴ درصد سدیم
- ۶۰۱۰-۴ سختی کل (TH)
- ۶۲۱۱-۴ تحلیل آماری داده‌ها
- ۶۲۱-۱۱-۴ تحلیل همبستگی
- ۶۳۱۲-۴ بررسی غلظت برخی از فلزات سنگین در نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای
- ۶۷۱۳-۴ شاخصهای آلودگی فلزی
- ۶۷۱-۱۳-۴ شاخص فلزی (MI)
- ۶۸۲-۱۳-۴ شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)
- ۶۹۱۴-۴ ارزیابی پارامترهای مربوط به آلودگی بیولوژیکی آب رودخانه چهل‌چای
- ۷۰۱-۱۴-۴ اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)
- ۷۱۲-۱۴-۴ اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD_5^{20})
- ۷۲۳-۱۴-۴ میزان اکسیژن حل‌شده (DO)
- ۷۳۴-۱۴-۴ کل باکتری‌های کلی‌فرمی و مدفوعی
- ۷۵۱۵-۴ ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل‌چای بر اساس شاخص‌های کیفیت آب (WQI)
- ۷۵۱-۱۵-۴ شاخص کیفی موسسه بهداشت ملی آمریکا (NSFWQI)
- ۷۹۲-۱۵-۴ شاخص کیفی اورگان (OWQI)

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۸۴۱-۵ ارزیابی کیفیت و آلودگی آب رودخانه چهل‌چای
- ۸۴۱-۱-۵ ارزیابی کیفیت و آلودگی آب رودخانه چهل‌چای
- ۸۵۲-۱-۵ ارزیابی آلودگی بیولوژیکی آب رودخانه چهل‌چای
- ۸۵۳-۱-۵ ارزیابی آلودگی فلزی در آب رودخانه چهل‌چای
- ۸۶۲-۵ پیشنهادها

منابع..... ٨٧

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به رودخانه مورد مطالعه..... ۵
- شکل (۲-۱): حوضه آبریز رودخانه چهل‌چای..... ۶
- شکل (۳-۱): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۸
- شکل (۱-۳): موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه..... ۲۷
- شکل (۲-۳): تصاویری از رودخانه چهل‌چای و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه..... ۲۹
- شکل (۱-۴): تغییرات دما در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۳۸
- شکل (۲-۴): تغییرات کدورت در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۳۹
- شکل (۳-۴): تغییرات pH در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۰
- شکل (۴-۴): تغییرات میزان هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۱
- شکل (۵-۴): تغییرات غلظت سدیم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۲
- شکل (۶-۴): تغییرات غلظت پتاسیم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۳
- شکل (۷-۴): تغییرات غلظت کلسیم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۴
- شکل (۸-۴): تغییرات غلظت منیزیم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۶
- شکل (۹-۴): تغییرات غلظت کلراید در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۷
- شکل (۱۰-۴): تغییرات غلظت بی‌کربنات در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۸
- شکل (۱۱-۴): تغییرات غلظت نیترات در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۴۹
- شکل (۱۲-۴): تغییرات غلظت سولفات در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای..... ۵۰
- شکل (۱۳-۴): نمودار گیبس (Gibbs, 1970) و موقعیت نمونه‌های آب مورد مطالعه بر روی آن..... ۵۱
- شکل (۱۴-۴): نمودار پایپر نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای..... ۵۳
- شکل (۱۵-۴): نمودار استیف نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای..... ۵۵
- شکل (۱۶-۴): تعیین کیفیت آب برای کشاورزی با کمک دیاگرام ویلکاکس..... ۵۸

- شکل (۴-۱۷): تغییرات میزان سختی کل در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۶۱
- شکل (۴-۱۸): تغییرات غلظت فلز منگنز در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۶۵
- شکل (۴-۱۹): تغییرات غلظت فلز کروم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۶۶
- شکل (۴-۲۰): تغییرات غلظت فلز مس در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۶۷
- شکل (۴-۲۱): تغییرات شاخص فلزی در طول رودخانه چهل‌چای ۶۸
- شکل (۴-۲۲): تغییرات شاخص آلودگی فلزات سنگین در طول رودخانه چهل‌چای ۶۹
- شکل (۴-۲۳): تغییرات میزان COD در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۷۱
- شکل (۴-۲۴): تغییرات میزان BOD در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۷۲
- شکل (۴-۲۵): تغییرات میزان DO در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۷۳
- شکل (۴-۲۶): نمونه‌ای از نرم افزار محاسبه زیر شاخص‌ها ۷۷
- شکل (۴-۲۷): تغییرات شاخص NSFQI محاسبه شده ۷۹
- شکل (۴-۲۸): تغییرات شاخص OWQI برای نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای ۸۱

فهرست جدول‌ها

- جدول (۳-۱): موقعیت جغرافیایی و محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب ۲۸
- جدول (۴-۱): جدول آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب ۳۷
- جدول (۴-۲): شاخص اشباع‌شدگی نمونه‌های آب مورد مطالعه نسبت به کانی‌های واکنش‌پذیر... ۵۲
- جدول (۴-۳): تغییرات تیپ و رخساره یون‌های اصلی در نمونه‌های آب مورد مطالعه..... ۵۴
- جدول (۴-۴): کیفیت آب رودخانه چهل‌چای از نظر استفاده در کشاورزی (آبیاری)..... ۵۹
- جدول (۴-۵): رده‌بندی آب آبیاری برحسب درصد سدیم ۶۰
- جدول (۴-۶): طبقه‌بندی آب براساس سختی ۶۰
- جدول (۴-۷): ضرایب همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی..... ۶۲
- جدول (۴-۸): غلظت برخی فلزات سنگین در نمونه‌های آب مورد مطالعه ۶۴
- جدول (۴-۹): مقادیر پارامترهای COD، BOD و DO در نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای..... ۷۰
- جدول (۴-۱۰): نتایج ارزیابی باکتریولوژیکی نمونه‌های مورد مطالعه (برحسب MPN/100ml)..... ۷۴
- جدول (۴-۱۱): فاکتور وزنی مربوط به پارامترهای کیفی شاخص FWQI ۷۶
- جدول (۴-۱۲): مقادیر پارامترهای استفاده شده در محاسبه شاخص NSFQ ۷۷
- جدول (۴-۱۳): محاسبه زیر شاخص I_{am} برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب..... ۷۸
- جدول (۴-۱۴): طبقه‌بندی کیفی آب براساس شاخص NSFQI ۷۸
- جدول (۴-۱۵): رتبه‌بندی براساس شاخص WQI..... ۸۰

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه و بیان مسأله

آب به عنوان یک منبع تجدیدپذیر از اهمیت زیادی در طبیعت و همچنین در زندگی انسان برخوردار است. در این میان آبهای سطحی (به ویژه رودخانه‌ها) نقش با اهمیت تری در توسعه تمدن‌های بشری ایفا کرده‌اند. حدود یک سوم آب آشامیدنی مورد نیاز جهان از منابع آبهای سطحی مانند رودخانه‌ها، کانال‌ها و دریاچه‌ها بدست می‌آید (Das and Acharya, 2003). امروزه به علت رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانزاد، عوامل آلوده کننده رودخانه‌ها نیز متعددتر و متنوع‌تر شده‌اند (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۸). آلودگی آبهای سطحی یک مشکل جهانی است که نه تنها باعث ایجاد مسائل زیست محیطی می‌شود بلکه مسائل اقتصادی را نیز در پی داشته و سلامت انسان و سایر موجودات را به خطر می‌اندازد (Yang and Wang, 2010). از طرف دیگر رودخانه‌ها به علت نقش آنها در حمل و نقل فاضلاب‌های شهری، صنعتی و زهکش‌های کشاورزی به راحتی تحت تأثیر آلودگی قرار می‌گیرند. رودخانه چهل‌چای در استان گلستان یکی از سرشاخه‌های رودخانه بزرگ گرگانرود است که در طول مسیر خود تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی قرار می‌گیرد. از طرفی زمین‌شناسی منطقه در طول مسیر رودخانه متنوع بوده که هریک از اینها می‌تواند بر هیدروشمی و آلودگی رودخانه اثر بگذارد. بنابراین با توجه به اهمیت این رودخانه در تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه، بررسی کیفیت آب این رودخانه و درجه آلودگی آن حائز اهمیت است.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

رودخانه‌ها از جمله منابع آب سطحی می‌باشند که از نظر اکولوژیکی و زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از طرف دیگر رودخانه‌ها در حقیقت منابع آب شیرین جهت استفاده در امور کشاورزی و شرب هستند. رودخانه چهل‌چای در استان گلستان یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه گرگانرود است که از آب آن در مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شود. در طول مسیر این رودخانه زمین‌های وسیع کشاورزی وجود دارد که احتمالاً رواناب‌های ناشی از آنها وارد کانال رودخانه می‌شود.

همچنین بخشی از مسیر این رودخانه از داخل مناطق شهری عبور می‌کند. از آنجا که پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری از منابع مهم آلودگی رودخانه‌ها به فلزات سنگین و آلاینده‌های میکروبی و نیز تغییر ویژگی‌های هیدروشیمیایی رودخانه‌ها می‌باشند، لذا انجام یک پژوهش بر روی کیفیت رودخانه چهل‌چای امری ضروری به نظر می‌رسید.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و آلودگی رودخانه چهل‌چای است. جهت رسیدن به این هدف، اهداف فرعی زیر نیز دنبال گردید:

- ۱- ارزیابی تأثیر ورود شاخه‌های فرعی بر روی کیفیت آب رودخانه.
- ۲- ارزیابی غلظت آلاینده‌های فلزی و میکروبی و تعیین شدت آلودگی ناشی از آنها.
- ۳- بررسی تأثیر عوامل طبیعی و انسان‌زاد بر ویژگی‌های کیفی آب رودخانه.
- ۴- اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های آب و ارتباط آن با زمین‌شناسی و عوامل تأثیرگذار انسان‌زاد.

۱-۴- روش انجام تحقیق

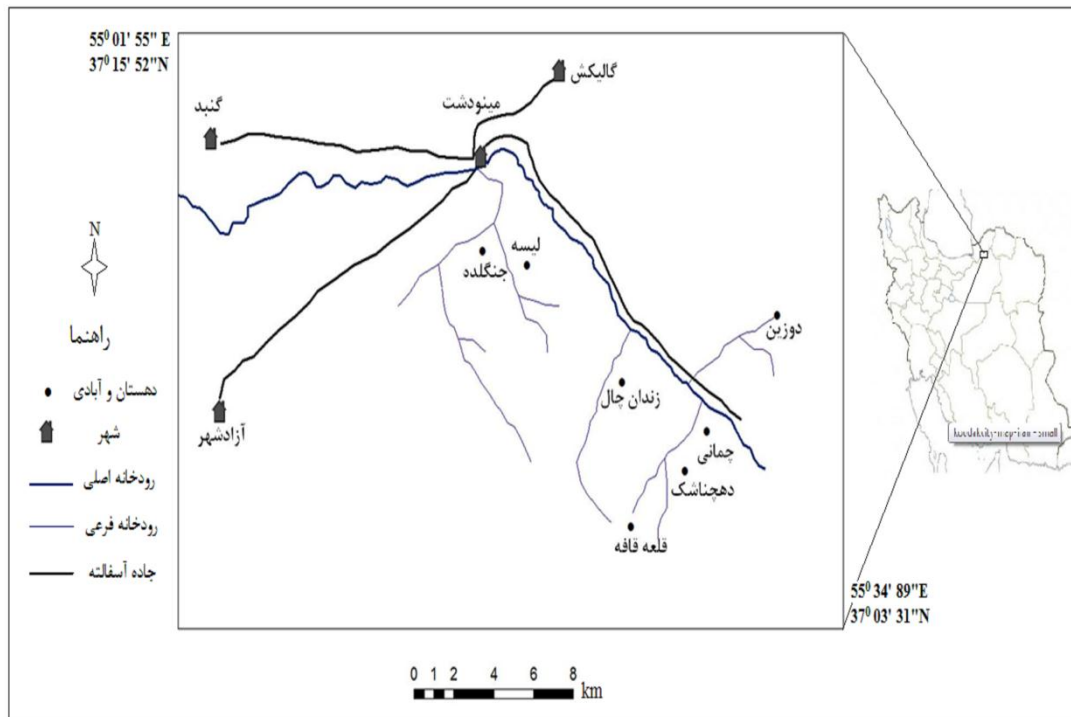
- ۱- بررسی کتابخانه‌ای و مروری بر مطالعات انجام شده در منطقه و جهان
- ۲- بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه
- ۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از آب رودخانه
- ۴- آنالیز شیمیایی و تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، فلزات سنگین و سایر پارامترهای کیفی آب
- ۵- تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده

۱-۵- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه چهل‌چای از رودخانه‌های جاری در حوضه گرگانرود می‌باشد. زیر حوضه این رودخانه بین حوضه‌های رودخانه‌های قلی‌تپه و نرماب قرار می‌گیرد. از نظر مختصات جغرافیایی، این حوضه بین $53^{\circ}25'53''$ تا $55^{\circ}17'44''$ طول شرقی و $36^{\circ}12'36''$ تا $37^{\circ}13'65''$ عرض شمالی قرار دارد. طول این رودخانه ۶۵ کیلومتر، شیب بستر کوهستانی آن $0/7$ و شیب بستر جلگه‌ای آن $0/5$ می‌باشد. آبدهی متوسط این رودخانه $2/17$ متر مکعب در ثانیه و آبدهی متوسط سالانه آن $2/21$ میلیون متر مکعب برآورد گردیده است (مهندسین مشاور کاوش پی، ۱۳۸۹). این رودخانه بعد از طی فاصله‌ی ۴۰ کیلومتر از محل منشأ، به شهرستان مینودشت رسیده و حدود ۲ کیلومتر از مسیر آن از محدوده این شهر عبور می‌یابد و در نهایت در پایین دست شهر گنبد کاووس وارد رودخانه گرگانرود می‌شود.

۱-۶- راه‌های ارتباطی به محدوده مورد مطالعه

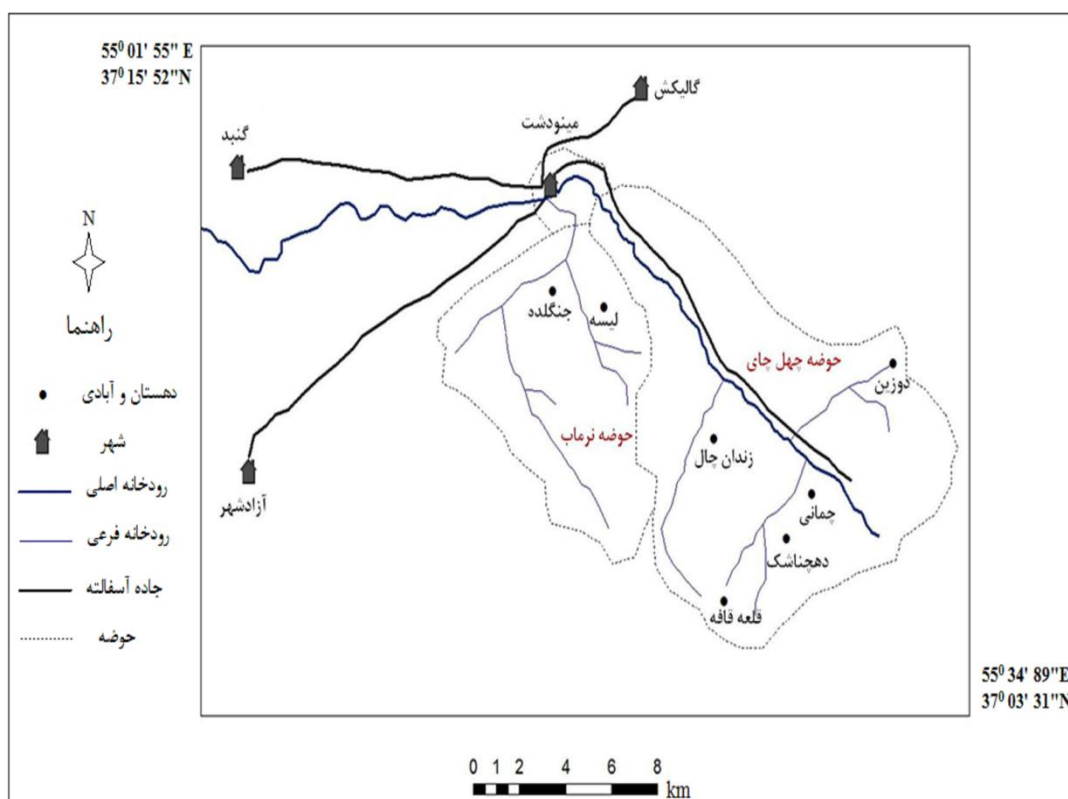
رودخانه چهل‌چای از داخل شهرستان مینودشت عبور می‌کند. دسترسی به منطقه مورد مطالعه از مرکز استان و از طریق جاده آسفalte گرگان- آزادشهر- مینودشت به مسافت ۱۱۸ کیلومتر، گرگان- گنبد- مینودشت به مسافت ۱۲۰ کیلومتر و از استان سمنان، از مسیر شاهرود- آزادشهر- مینودشت امکان پذیر می‌باشد. شکل (۱-۱) راه‌های ارتباطی و موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به رودخانه مورد مطالعه

۷-۱- حوضه آبریز چهل چای

این حوضه خود شامل دو زیر حوضه‌ی چهل چای و نرماب به ترتیب با مساحت ۲۵۰/۶ و ۱۹۸/۱ کیلومتر مربع است. رودخانه نرماب در ابتدای شهرستان مینودشت یا به عبارتی در زیر پل ورودی این شهرستان به رودخانه چهل چای ملحق می‌شود. مجموع این دو حوضه به علاوه ۲۶/۱ کیلومتر مربع اضافی چهل چای را تشکیل می‌دهد. روند حرکت این رودخانه جنوب خاوری به سمت شمال باختری است (شکل ۱-۲). حداکثر ارتفاع حوضه چهل چای ۲۵۴۱ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۰۹ متر است (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱).



شکل ۱-۲- حوضه آبریز رودخانه چهل چای

۸-۱- اقلیم منطقه مورد مطالعه

استان گلستان دارای آب و هوای معتدل و مرطوب از نوع مدیترانه‌ای است که در نواحی شمالی به علت نزدیکی به صحرای قره‌قوم بر خشکی آن افزوده می‌شود. به طور کلی عوامل اصلی تشکیل‌دهنده اقلیم استان شامل ارتفاع، دریا، جنگل و مراتع است. بارندگی در نقاط کوهستانی تا ارتفاعات متوسط منطقه مورد مطالعه (شرق و جنوب منطقه) به علت وزش بادهای سرد شمالی و مرطوب شمال‌غربی، بیشتر از نواحی کم ارتفاع و کوهپایه‌ای و جلگه‌ای است. این شرایط باعث ایجاد هوای معتدل و نیمه-مرطوب در این منطقه شده است. آب و هوای منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات معتدل کوهستانی و در نواحی کم ارتفاع جلگه‌ای معتدل نیمه مرطوب است. ریزش بارش‌ها و وجود خاک مناسب این منطقه یکی از دلایل اصلی رونق کشاورزی در این منطقه است. شرایط اقلیمی این منطقه به گونه‌ای است که تابستان‌های آن نسبتاً گرم و زمستان کمی سرد است. بیشترین و کمترین درجه حرارت، به ترتیب ۴۰ درجه بالای صفر و ۵ درجه زیر صفر گزارش شده است. میزان بارندگی سالیانه حدود ۸۴۰ میلی‌متر

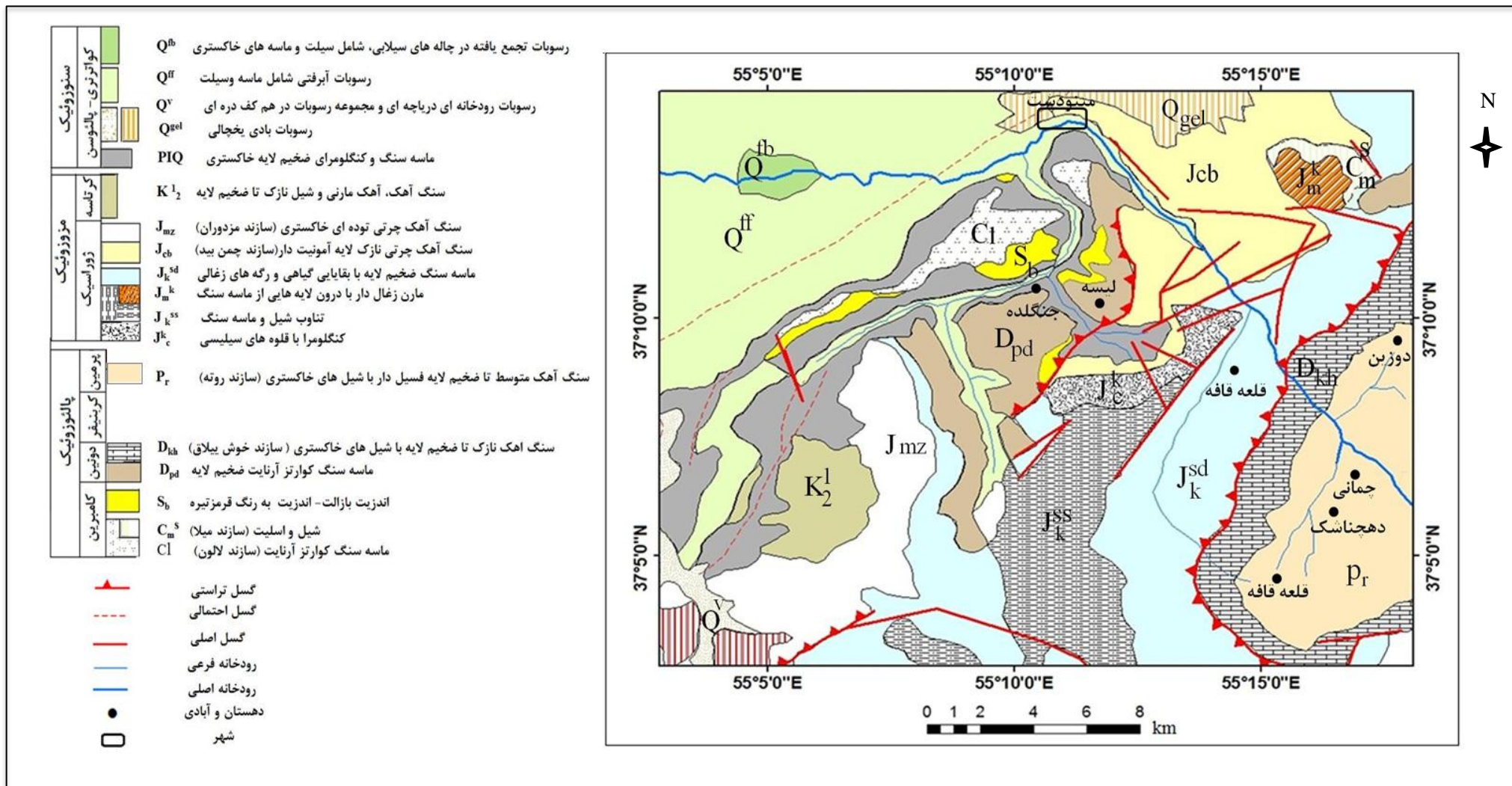
اندازه‌گیری شده است (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱). وجود این شرایط آب و هوایی باعث ایجاد پوشش گیاهی در بیشتر مناطق شده، در نتیجه رخنمون واحدهای سنگی در آن به ندرت قابل مشاهده است. و ضخامت قشر خاک تشکیل شده در اکثر نواحی زیاد است. همچنین پوشش گیاهی غالب حوضه در بخش شمالی، جنگلی و در بخش جنوب مرتعی و خشک است.

۱-۹- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده برخورد دو زون کپه‌داغ و البرز شرقی (بینالود) قرار دارد و دربردارنده واحدهای سنگی هر دو زون ساختاری مزبور است (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱). مطالعات انجام شده بر روی پهنه کپه‌داغ گویای این مطلب است که پاره‌ای از رخساره‌های سنگی کپه‌داغ در واقع ورقه‌های نابرجائی هستند که طی حرکت‌های آلی و در نتیجه گسلش راندگی به روی حاشیه شمالی البرز رانده شده‌اند. ویژگی‌های زمین‌شناختی و ساختاری پهنه کپه‌داغ نسبت به نواحی مجاور متفاوت است. مرز شمالی آن با فلات توران، منطبق بر گسل عشق‌آباد است که دارای روند ۳۱۰ درجه شمالی است (مهندسین مشاور کاوش‌پی، ۱۳۸۹). درباره مرز جنوبی آن دیدگاه‌های متفاوتی وجود دارد، ولی این مرز با رخنمون‌های ناپیوسته منشورهای بر افزایش تئیس کهن مشخص می‌شود. در محدوده مورد مطالعه تنوعی از واحدهای سنگی مربوط به دوران پالئوزوئیک تا کواترنر مشاهده می‌شود. در ادامه بحث، براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱-۳) شرح مختصری از ویژگی‌های واحدهای مزبور ارائه می‌گردد.

۱-۱۰- چینه‌شناسی منطقه

برای بررسی چینه‌شناسی منطقه، از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرستان گنبدکاووس، گزارش شرکت مهندسی مشاور کاوش‌پی (۱۳۸۹) و مهندسین مشاور آساراب (۱۳۹۱) استفاده گردید.



شکل ۱-۳- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ گنبد کاووس)

۱-۱۰-۱- سازند روته

سازند روته از نظر لیتولوژیکی از آهک خاکستری تا تیره با لایه‌های متناوب مارنی تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه نهشته‌های پرمین در غرب روستای صفی‌آباد مشاهده می‌گردد. در این محدوده نهشته‌های مزبور با همبری ناپیوسته و هم‌شیب بر روی سنگ آهک‌های کربونیفر جای می‌گیرد. این نهشته‌ها شامل سنگ آهک‌های خاکستری رنگ با لایه‌بندی مناسب است. ضخامت این رسوبات به دلیل وجود گسل‌های تراستی، قابل ارزیابی نیست. سن پرمین زیرین و میانی را به این سازند نسبت می‌دهند.

– واحد P_r

این واحد جزئی از سازند روته می‌باشد که از سنگ آهک متوسط تا ضخیم لایه فسیل‌دار به رنگ خاکستری تشکیل شده است.

۱-۱۰-۲- سازند خوش‌بیلاق

این سازند دارای تنوع رخساره زیادی می‌باشد. در بخش زیرین این سازند شامل کنگلومرای قاعده‌ای متشکل از اجزاء بازالتی، کوارتزیت و دولومیتی است که همراه با لایه‌های شیل، ماسه‌سنگ و لایه‌های نازک آهک قرار دارد. در بخش بالایی سری مذکور دولومیت و آهک دولومیتی ادامه پیدا کرده و سپس تبدیل به لایه‌های آهک تخریبی فسیل‌دار و شیل شده که حاوی مقدار زیادی فسیل هستند. روی آهک و شیل‌های مزبور را یک سری مارن و آهک مارنی می‌پوشاند که رنگ آنها بیشتر خاکستری و یا زرد مایل به خاکستری است. لایه‌های فوقانی یا ماسه‌سنگ کوارتزیتی و در بالا به تناوبی از آهک مارنی شدیداً فسیل‌دار و شیل‌های مارنی تبدیل می‌شوند. در بالاترین بخش آهک‌های سیاه‌رنگ، آهک‌های مارنی و مارن‌های شیلی سیاه‌رنگ و خاکستری ردیف رسوبی این سازند را تکمیل می‌کند. ردیف‌های رسوبی سازند مذکور در منطقه مینودشت از شمال به سمت جنوب کامل‌تر شده و بر ضخامت آن افزوده شود. در منطقه مینودشت آهک‌های زیست‌تخریبی حاوی خرده‌های سنگواره

تنتاکولیت و براکیوپود همراه با شیل‌های مارنی و لایه‌های نازک آهک ماسه‌ای رخنمون دارند. این لایه‌های آهکی ضخیم و سخت بوده و در سطح فرسایش آنها از خاک پوشیده شده است، که بر روی آنها کشاورزی انجام می‌شود. سن سنگهای تشکیل دهنده سازند خوش‌بیلاق (دونین- بالائی) تعیین شده است.

- واحد D_{kh}

این واحد جزئی از سازند خوش‌بیلاق می‌باشد که از سنگ آهک نازک تا ضخیم لایه فسیل‌دار با شیل-های خاکستری تشکیل شده است.

۱-۱۰-۳- سازند کشف‌رود

نام این سازند از رودخانه کشف‌رود واقع در جنوب شرقی کپه‌داغ گرفته شده است. این سازند از نظر لیتولوژی شامل شیل و شیل‌های سیلتی تیره‌رنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرا با فسیل‌های گیاهی است. سازند کشف‌رود در نقشه زمین‌شناسی گنبدکاووس به واحدهای J_m^k و J_c^k تفکیک شده است.

- واحد J_k^{ss}

این واحد از شیل‌های سبز رنگ تا خاکستری تیره با درون لایه‌هایی از ماسه‌سنگ تشکیل شده است. ماسه‌سنگهای درون لایه، از نوع گریوک و دانه درشت و دارای آثار و بقایای گیاهی است. درون لایه-های ماسه‌سنگی علاوه بر ساخت چینه‌بندی تدریجی، دارای چینه‌بندی چلیپایی نیز هستند.

- واحد J_k^{sd}

این واحد شامل ماسه‌سنگ ضخیم لایه با بقایای گیاهی و رگه‌های زغالی است که در کوه اجال‌یولی در شرق نوده با روند تقریباً شمالی- جنوبی رخنمون دارد.

– واحد J_c^k

واحد J_c^k از کنگلومرای قاعده‌ای به رنگ ظاهری سفید تشکیل شده است، که بر روی واحدهای سنگی قدیمی‌تر جای می‌گیرند. قطعات این کنگلومرا دارای گردشگی، جورشدگی و کرویت خوبی هستند. این کنگلومراها دارای سیمان متراکم و محکم بوده و اندازه قطعات تشکیل‌دهنده آن از ۳ تا ۰/۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند. این قطعات به طور عمده از سیلیس سفیدرنگ تشکیل شده است.

– واحد J_m^k

این واحد شامل مارن زغال‌دار به رنگ خاکستری تیره مایل به سبز با درون مایه‌هایی از ماسه‌سنگ است.

۱-۱۰-۴- سازند چمن‌بید

نام سازند چمن‌بید از دهکده چمن‌بید در کپه داغ غربی در ۶۰ کیلومتری غرب بجنورد گرفته شده و دارای ضخامت ۱۱۴۰ متر است. بیشترین گسترش و ضخامت سازند مزبور را می‌توان در حاشیه رودخانه چهل‌چای و روستای تخت مشاهده نمود. سازند چمن‌بید از نظرسنگ‌شناسی شامل آهک‌های متراکم ریزبلور با میان لایه‌های شیل مارنی و مارن‌های خاکستری روشن است. این سازند عمدتاً از آهک‌های خاکستری تیره تا تیره دانه‌ریز با میان لایه‌هایی از شیل و مارن با فسیل آمونیت فراوان تشکیل شده است. این سازند تا اندازه‌ای به سازند دلیچای مشابه است و بر روی سازند کشف‌رود و در زیر سازند مزدوران قرار دارد. ضخامت رسوبات این سازند از خاور به باختر به تدریج کم می‌شود به طوری که در باختر روستای تخت ضخامت آن به صفر می‌رسد. سن این سازند ژوراسیک میانی است (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱).

– واحد J_{cb}

این واحد جزئی از سازند چمن‌بید می‌باشد که از سنگ آهک چرتی نازک لایه تشکیل شده است.

۱-۱۰-۵- سازند پادها

رخنمون سازند مزبور در جنوب روستای محمد زمان خان و جنوب خاوری شهرستان مینودشت، حد فاصل بین رودخانه‌های چهل‌چای و نرماب مشاهده می‌گردد. سازند مزبور در قسمت زیرین متشکل از ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگهای کنگلومرایی و لایه‌های کنگلومرایی ناهمگن با دانه‌هایی از سنگهای ماگماتیک از نوع بازیک و کم و بیش اسیدی و ماسه‌سنگ است، در ادامه لایه‌های ضخیم ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی به رنگ قرمز و قرمز مایل به خاکستری همراه با میان لایه‌هایی از نازک لایه‌های شیلی به رنگ سبز و خاکستری قرار دارند که به طرف بالا بر ضخامت و فراوانی لایه‌های شیلی افزوده می‌شود. در بین این لایه‌ها، آهک دولومیتی کریستالیزه به رنگ خاکستری و زرد نیز قابل مشاهده است. سن این سازند به دونین پیشین نسبت داده شده است (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱).

- واحد D_{pd}

این واحد جزئی از سازند پادها می‌باشد که از ماسه‌سنگ کوارتز آرنایت ضخیم لایه به رنگ قرمز تا سفید تشکیل شده است.

۱-۱۰-۶- سازند لالون

این سازند یکی از گسترده‌ترین سازندهای کامبرین پیشین ایران است که تقریباً در همه جا ترکیب سنگ‌شناسی مشابه دارد. رخنمون این سازند در جنوب باختری شهرستان مینودشت، حاشیه رودخانه نرماب در پایین دست روستای آرام‌نرو به چشم می‌خورد. قسمت اعظم رخنمون این سازند به دلیل پوشش سطحی (از جنس لس) پنهان مانده است. این سازند عمدتاً از ماسه‌سنگ آרקوزی و قرمز تا گلی‌رنگ با سیمان سیلیسی تشکیل شده و میان لایه‌هایی از شیل و ماسه سنگ قرمز در آن دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که این ماسه‌سنگها نتیجه تخریب یک توده گرانیتی و رسوبات دگرگونی باشد. بخش فوقانی آن حدود ۵۰ متر ضخامت دارد و از کوارتزیت سفیدرنگ تشکیل شده که لایه کلیدی مناسبی جهت تشخیص این سازند است. رنگ عمومی سنگهای این سازند از صورتی تا قرمز تیره

تغییر می‌کند. این سازند از تخریب سنگهای آذرین اسیدی و دگرگونی قدیمی ایران که در این زمان در معرض هوازدگی و فرسایش بوده بوجود آمدند، زیرا در داخل آنها علاوه بر کوارتز، فلدسپات، میکا، گاهی گرونا، آپاتیت، زیرکن و روتیل و تورمالین دیده می‌شود (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱).

– واحد CI

این واحد جزئی از سازند لالون می‌باشد که از ماسه سنگ کوارتز آرنایت متوسط تا ضخیم لایه به رنگ قرمز تیره تشکیل شده است.

۱-۱۰-۷- سازند مزدوران

سازند مزدوران در حوضه رسوبی کپه‌داغ در شمال شرق ایران یکی از مخازن مهم هیدروکربوری است. مرز زیرین سازند مزدوران با سازند زیرین (کشف‌رود) و سازند فوقانی (شوریجه) از نوع فرسایشی می‌باشد. این سازند در حوضه رسوبی کپه‌داغ رخنمون وسیعی داشته و دارای ویژگی‌های سنگ‌شناسی متنوعی است. این سازند در شمال و خاور رودخانه چهل‌چای بیشترین ضخامت و گسترش را دارد. در سمت خاور رودخانه چهل‌چای این واحد ضخامتی در حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر را دارا است و از لحاظ ریخت‌شناسی به دلیل سخت بودن واحد مزبور ارتفاعاتی با شیب‌های دامنه‌ای به وجود آورده است. این واحد از نظر لیتولوژی متشکل از آهک ضخیم لایه یا توده‌ای به رنگ روشن، آهک دولومیتی متخلخل، و دولومیت است که ضخامت آن در مقطع نمونه حدود ۵۰۰ متر است، در بعضی از نقاط رخساره مشابه سازند شوریجه (ماسه‌سنگها و سنگهای قرمز تخریبی و سنگهای تخریبی و سنگهای تبخیری) جانشین آهک و دولومیت این سازند می‌شود. براساس فسیل‌های موجود، سن این سازند اکسفوردین کیمریجین تعیین شده است.

– واحد Jmz

این واحد جزئی از سازند مزدوران می‌باشد که از سنگ آهک توده‌ای به رنگ خاکستری تشکیل شده است.

۱-۱۰-۸- سازند میلا

رخنمون این سازند به صورت پراکنده در جنوب شهرستان مینودشت مشاهده می‌شود. سازند میلا به طور هم‌شیب روی سازند ماسه‌سنگی لالون قرار دارد و حد فاصل این دو سازند را کوارتزیت سفیدرنگ به ضخامت حدود ۲۰ متر به کوارتزیت رأسی تشکیل داده است. سن سازند میلا با توجه به فسیل-هایی که در آن پیدا شده کامبرین میانی تا اردوویسین زیرین تعیین کرده‌اند (مهندسین مشاور آساراب، ۱۳۹۱).

– واحد C_m^s

این واحد جزئی از سازند میلا می‌باشد که از شیل و اسلیت میکادار به رنگ خاکستری مایل به سبز تا خاکستری تیره تشکیل شده است.

۱-۱۱- نهشته های کواترنری

این نهشته‌ها شامل پادگانه‌های آبرفتی کهن و جوان، آبرفت‌های بستر رودخانه، خاک‌های برجای حاصل از فرسایش، لس، واریزه‌های دامنه‌ای و بلوک‌های نابرجا است. این آبرفت‌ها عمدتاً نفوذپذیری متوسط تا زیادی دارند. با این حال در بین این رسوبات (آبرفت‌های درشت‌دانه) عدسی‌های ریزدانه نیز وجود دارند که به دلیل وجود رس فضای خالی بین ذرات تشکیل دهنده آنها کاهش یافته و در نتیجه این لایه‌ها آبدهی زیادی ندارند.

– واحد Q^{ff}

این واحد شامل رسوبات آبرفتی است که از ماسه، سیلت و دیگر مواد آواری که توسط جویبارها فرسایش یافته و بریده شده‌اند، بوجود آمده‌اند.

فصل دوم:

مروری بر مطالعات پیشین

۱-۲- مقدمه

آبهای سطحی نقش بسیار مهمی در توسعه تمدن بشری ایفا می‌کنند. حدود یک سوم آب آشامیدنی مورد نیاز در سراسر جهان از منابع آبهای سطحی مانند رودخانه‌ها، کانال‌ها و دریاچه‌ها بدست می‌آید (Das and Acharya, 2003). در میان منابع آب سطحی، رودخانه‌ها یکی از مهمترین سیستم‌های طبیعی بوده که از لحاظ اکولوژیکی و زیست‌محیطی حائز اهمیت ویژه هستند. رودخانه‌ها به علت نقش آنها در حمل و نقل فاضلاب‌های شهری، صنعتی و تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی نسبت به آلودگی بسیار آسیب‌پذیر هستند (Hur et al., 2007). به طور کلی مسائلی چون رشد بی‌رویه و تراکم جمعیت، دفع نادرست فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی، استفاده گسترده از سموم مختلف دفع آفات گیاهی، کودهای شیمیایی و حیوانی در کشاورزی و سایر آلوده‌کننده‌ها، از دلایل اصلی آلودگی منابع آب سطحی به حساب می‌آیند. هدف از این فصل، مروری بر مطالعات گذشته صورت گرفته در زمینه آلودگی و عوامل مؤثر بر کیفیت آب رودخانه‌ها است. از این رو در این فصل، به بررسی منابع آلوده‌کننده رودخانه‌ها و مطالعات صورت گرفته درباره عوامل مؤثر بر ویژگی‌های کیفی آب رودخانه‌ها پرداخته شده است.

۲-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آب رودخانه

کیفیت آب یک رودخانه در هر نقطه نشان‌دهنده تأثیر دو عامل طبیعی و انسانزاد است که در زیر به طور مختصر به آن اشاره شده است:

۲-۲-۱- عوامل طبیعی

عوامل طبیعی مختلفی بر روی کیفیت آب رودخانه‌ها اثر می‌گذارند، که از مهمترین آنها می‌توان به زمین‌شناسی منطقه یا سنگ‌شناسی حوضه، برهم‌کنش آب با سنگ، ورودی‌های جوی (شرایط آب و هوایی) اشاره کرد. به طور کلی تأثیر عوامل طبیعی بر کیفیت و آلودگی آبهای طبیعی کمتر از منابع انسانزاد است (Mustapha et al., 2013). بیشتر مطالعاتی که بر روی نقش لیتولوژی و زمین‌شناسی

منطقه بر روی کیفیت آب رودخانه‌ها در سراسر جهان صورت گرفته است، بیانگر این مطلب است که انحلال کانیهای کربناته و تبخیری در مقایسه با کانیهای سیلیکاته نقش موثرتری را در شیمی آب رودخانه ایفا می‌کنند (حیدری‌زاد و محمدزاده، ۱۳۹۰). شرایط آب و هوایی نیز تأثیر زیادی بر روی کیفیت آبهای سطحی دارند. کم بودن میزان بارندگی، بالابودن درجه حرارت و شدت تبخیر، باعث بالا رفتن غلظت املاح موجود در آب شده و از طرفی باعث افت کیفیت آنها می‌شود. برهم‌کنش آب با سنگ یکی از فرآیندهای اصلی، مهم و موثر بر ترکیب شیمیایی آبهای سطحی است. طی این برهم‌کنش‌ها، ترکیبات موجود در سنگ در اثر فرآیند انحلال و تبادل یونی از سنگ خارج شده و وارد ترکیب آب می‌شود (Mustapha et al., 2013).

موشر و همکاران (Mosher et al., 2010) تأثیر زمین‌شناسی سنگ بستر بر کیفیت مواد آلی حل‌شده در رودخانه (Black Warrior River) در شهر آلاباما ایالات متحده آمریکا را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ۶ نمونه آب برداشت شد، که ۳ نمونه آن از جریان آب عبوری از سنگ بستر ماسه-سنگی و ۳ نمونه آب از جریان عبوری از سنگ بستر با ترکیب سنگ آهک برداشت گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که جریان‌های عبوری از سنگ بستر آهکی عمدتاً دارای غلظت‌های بالایی از کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات و کربن غیرآلی حل‌شده و دارای pH بالاتر است، درحالی‌که جریان‌های عبوری از بستر ماسه‌سنگی غلظت‌های بالایی از آلومینیوم و آهن را نشان می‌دهند.

ژیو و همکاران (Zhu et al., 2012) تأثیر عوامل آب و هوایی و زمین‌شناسی بر شیمی آب رودخانه‌ها در شمال منطقه شین جیانگ (Xinjiang) در کشور چین را مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که تغییرات مکانی گسترده‌ای در TDS نمونه‌های آب وجود دارد. نمودار پایپر ترسیم شده نشان داد که آب این رودخانه‌ها دارای ۴ تیپ Ca-HCO_3 ، Ca-NDA^1 ، Ca-SO_4 و Na-NDA است. آنها به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی افزایش غلظت این یون‌ها در آب، هوازدهی کربنات‌ها و سپس هوازدهی

1-Nont Dominant Anion

سیلیکات‌ها و انحلال تبخیری‌ها است. میزان بار حل‌شده به سمت پایین دست رودخانه در اثر تبخیر افزایش یافته است. این محققین تغییرات در شیمی آب رودخانه‌های حوضه شمالی شین‌جیانگ را به طور کلی به سنگ‌شناسی منطقه، توپوگرافی و نزولات جوی نسبت دادند.

غلامرضازاده و موسوی‌نسب (۱۳۹۳) ضمن بررسی کیفیت آب رودخانه قره آغاج در استان فارس به این نتیجه دست یافتند که فرآیند اصلی کنترل‌کننده شیمی آب این رودخانه، عمدتاً هوازدگی سنگ‌ها و برهم‌کنش آب با سنگ است.

از مطالب بالا می‌توان چنین نتیجه گرفت که ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی یک منطقه عوامل اصلی طبیعی موثر بر کیفیت آب رودخانه‌ها است. به عبارت دیگر هوازدگی سنگ‌های یک منطقه و واکنش آب با سنگ را می‌توان به عنوان فرآیندهای طبیعی کنترل‌کننده شیمی آب رودخانه‌ها در نظر گرفت.

۲-۲-۲- عوامل غیرطبیعی (انسانزاد)

از مهمترین منابع آلاینده انسانزاد تأثیرگذار بر کیفیت آب رودخانه‌ها می‌توان به فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری، رواناب‌های کشاورزی و پساب‌ها یا فاضلاب‌های صنعتی اشاره نمود.

۲-۲-۲-۱- فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری

رشد روز افزون جمعیت و افزایش مصرف آب در مناطق شهری باعث تولید حجم زیادی از فاضلاب‌های خانگی شده است. این نوع فاضلاب‌ها در اصل، فاضلاب مناطق مسکونی می‌باشند، که از آب مصرفی در منازل تولید می‌شوند. آلاینده‌های اصلی موجود در این نوع فاضلاب‌ها شامل مواد آلی، مواد آلی قابل تجزیه، عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها، ویروس‌ها، انگل‌ها و غیره) و برخی فلزات سنگین است (El-Sheeh, 2009). رواناب‌های شهری به عنوان یکی از عوامل انسانزاد، از منابع عمده آلودگی آبهای سطحی می‌باشند. منابع آلوده‌کننده آب که با رواناب‌های شهری حمل می‌شوند، ممکن است حاوی

آلاینده‌های بیولوژیکی، آلاینده‌های شیمیایی و سایر آلاینده‌ها باشند (پاک‌باز و پیرمادیان، ۱۳۹۱). فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری از جمله منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای هستند که از یک محل مشخص و با دبی قابل اندازه‌گیری وارد رودخانه‌ها می‌شوند (Mustapha et al., 2013). ورود این فاضلاب‌ها به داخل رودخانه‌ها اثرات عمده‌ای بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌ها خواهند گذاشت و باعث کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها می‌شوند.

اندرسون و همکاران (Andersen et al., 2004) با مطالعه بر روی رودخانه‌های شرق ایالات متحده به این نتیجه دست یافتند که فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری تأثیر قابل توجهی در شیمی آب رودخانه‌ها در پایین دست دارد. همچنین پارومیسون (۲۰۰۳) مشاهده کرد که افزایش غلظت آلودگی نیترات در این رودخانه‌ها در شرایط خشکسالی تحت تأثیر فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری می‌باشد، در حالی که که میزان آلودگی نیترات در مناطق جنگلی و روستایی بسیار کمتر است.

مغربی و همکاران در سال (۱۳۸۷) آلودگی میکروبی رودخانه جاجرود و نقش عوامل تولید کننده آن را مورد بررسی قرار دادند. این محققین با بررسی نسبت باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی به باکتری استرپتوکوک مدفوعی، مشخص کردند که تأثیر فاضلاب انسانی بر روی آلودگی میکروبی رودخانه جاجرود به مراتب بیشتر از فضولات حیوانی می‌باشد. به اعتقاد آنان عامل اصلی آلودگی میکروبی این رودخانه، نشت فاضلاب از چاه‌های جذبی کنار رودخانه، فضولات حیوانی و ورود کودهای حیوانی از طریق نهرها به داخل رودخانه است.

حمزه و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه بر روی تغییرات عناصر بالقوه سمی در آبهای سطحی و زیرزمینی شهر کرمان مشاهده کردند که غلظت عناصر سرب، مس، روی و کادمیوم در آبهای سطحی و زیرزمینی این شهر بالا است، که علت آن ورود رواناب‌های مناطق مسکونی، فاضلاب‌های خانگی و پساب‌های شهری به داخل منابع آب سطحی و زیرزمینی است.

ساتر و همکاران (Suthar et al., 2010) با مطالعات خود بر روی کیفیت آب رودخانه هیندون در غازی آباد کشور هند به این نتیجه رسیدند که آب این رودخانه برای مصارف خانگی مناسب نمی باشد. چراکه میزان BOD، COD و TDS آب این رودخانه چند برابر استانداردهای جهانی است، که علت آن تخلیه فاضلابهای شهری و روانابهای مناطق مسکونی است.

۲-۲-۲-۲-۲ پسابها یا روانابهای کشاورزی

از عوامل اصلی آلودگی آبهای سطحی، فعالیت‌های گسترده کشاورزی است. پسابهای کشاورزی از جمله منابع آلودگی غیرنقطه‌ای هستند. روانابهای کشاورزی عمدتاً حاوی سموم کشاورزی، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها مانند هیدروکربن‌های هالوژنه، DDT، ترکیبات فسفردار هستند. در این میان ترکیبات هالوژنه، بسیار خطرناک هستند و هنگامی که همراه با آب کشاورزی در لایه‌های زمین نفوذ نمایند یا به بیرون از محیط کشاورزی هدایت شوند، باعث ایجاد روانابهای کشاورزی فوق العاده خطرناک می‌شوند (بهمنی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین مصرف بالای کودهای نیتروژن‌دار و فسفردار در کشاورزی، باعث افزایش میزان نترات و فلزات سنگین در آب رودخانه‌ها می‌شود (شریفی، ۱۳۸۹).

جودوا و جانسکی (Judova and Jansky., 2005) کیفیت آب در مناطق روستایی و رودخانه اسلیانکا (Slapanka) در کشور چک را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتایج دست یافتند که کیفیت آب در مناطق روستایی بسیار کم و غلظت مواد مغذی نیتروژن و فسفر در آب این رودخانه بسیار بالا است که علت آن ورود روانابهای کشاورزی به داخل آب مورد استفاده در مناطق روستایی و رودخانه است.

سعد و همکاران (Saad et al., 2006) با مطالعه ترکیب شیمیایی و ایزوتوپی آبهای سطحی و زیرزمینی در حوضه رودخانه لیتانی (Litani) در کشور لبنان را به این نتیجه رسیدند که غلظت بالای نترات در حوضه آبریز این رودخانه، ناشی از روانابهای حاصل از فعالیت‌های کشاورزی است.

ساعتلو (۱۳۸۷)، رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه را به عنوان عوامل اصلی انتقال آلاینده به این دریاچه مورد مطالعه قرار داد. وی به این نتیجه دست یافت که غلظت عنصر آرسنیک در فصل بهار و تابستان در آب رودخانه‌ها در اثر استفاده بیش از حد سموم کشاورزی افزایش یافته است و از طرفی مصرف کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی، میزان اکسیژن حل‌شده در آب این رودخانه‌ها را کاهش داده و شرایط را برای زیست موجودات زنده دشوار کرده است.

لیو و همکاران (Liu et al., 2013) ضمن بررسی کیفیت رودخانه ژیانگ‌ژی (XiangXi) که یکی از شاخه‌های رودخانه یانگ تسه در کشور چین است و بهترین شیوع‌های مدیریتی منابع آلودگی غیرنقطه‌ای مانند کشاورزی را در این منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که با کاهش زمین‌های کشاورزی از طریق تبدیل آنها به جنگل و همچنین تغییر نوع کود مصرفی به میزان قابل ملاحظه‌ای از میزان بار آلودگی حاصل از زهکش‌های کشاورزی کاسته شده است.

۲-۲-۳- پساب‌های صنعتی

فاضلاب‌های صنعتی در اثر مصرف آب در فعالیتهای صنعتی و یا از منابع صنعتی و در طول مراحل مختلف تولید بوجود می‌آیند. در واقع منشأ این فاضلاب، آب مصرفی در صنایع و کارخانجاتی از قبیل رنگرزی، خنک‌کننده‌ها، فرآیندهای شستشو و غیره می‌باشد. برخی از این فاضلاب‌ها به علت دارا بودن ترکیبات سمی، شیمیایی و خطرناک می‌بایست تحت نظارت ویژه قرار گیرند. عمده این فاضلاب‌ها دارای ترکیباتی از قبیل فلزات سنگین و ترکیبات آلی شیمیایی سمی می‌باشند و اثرات مختلفی بر بار شیمیایی آب رودخانه‌ها می‌گذارند (Hur et al., 2007).

ساتر و همکاران (Suther et al., 2009) با ارزیابی آلودگی فلزی در آب و رسوبات رودخانه هیندون در کشور هند، به این نتایج دست یافتند که غلظت فلزاتی چون Mn، Pb و Zn در آب و رسوب این رودخانه تا حد زیادی افزایش یافته است که علت اصلی آن، ورود این فلزات به آب رودخانه هیندون در اثر تخلیه پساب‌های صنعتی و شهری است.

سایدا و همکاران (Sayed et al., 2010) تأثیر فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی را بر روی کیفیت آب رودخانه نیل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که تخلیه فاضلاب‌های صنایع نیشکر و نشاسته در اطراف شهر قاهره، بار میکروبی این رودخانه را ۵۰ تا ۱۸۰ درصد افزایش داده است، که این مقدار به سمت پایین دست رودخانه کاهش می‌یابد. از طرفی ورود این فاضلاب‌ها به داخل آب رودخانه باعث افزایش چشمگیری در BOD و COD آب نیز شده است.

از مطالعات انجام شده بر روی تأثیر فعالیت‌های انسانزاد بر روی کیفیت آب رودخانه‌ها در ایران و جهان که در بالا ذکر شد، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های انسانزاد مانند ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی به آبهای سطحی، باعث افت کیفیت آب رودخانه‌ها، افزایش غلظت فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی، افزایش مواد مغذی، ورود باکتری‌های کلی‌فرم و انگل‌ها (آلاینده‌های بیولوژیکی)، افزایش BOD و COD یا به عبارتی کاهش اکسیژن حل‌شده در آب رودخانه‌ها می‌شود. که همه این موارد به طور کلی سلامت موجودات زنده از جمله انسان را به خطر می‌اندازد. به دلیل اینکه رودخانه‌ها به عنوان اصلی‌ترین منابع تأمین نیازهای شهری، صنعتی و آبیاری بشمار می‌روند، پیشگیری و کنترل آلودگی رودخانه‌ها و کسب اطلاعات لازم در مورد کیفیت آب رودخانه‌ها برای مدیریت مناسب آنها، ضروری است.

۲-۳- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه

گوهردوست و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی وضعیت کیفی آب رودخانه چهل‌چای حوضه رودخانه گرگان‌رود با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) و استاندارد کیفیت آب ایران پرداختند. در این تحقیق با استفاده از مدل رگرسیونی روابط بین پارامترها و تغییرات آنها مورد بررسی قرار گرفت. کاتیون‌های سدیم، منیزیم، کلسیم و آنیون‌های سولفات، کلراید و بی‌کربنات و برخی از پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شدند. آنان به این نتایج دست یافتند که براساس محاسبه شاخص کیفیت آب،

کیفیت آب رودخانه ضعیف تا خوب است و می‌باید اقدامات لازم برای بهبود کیفیت آب آن صورت گیرد.

زارع گاریزی و همکاران (۱۳۹۱) روند تغییرات بلند مدت متغیرهای کیفی آب رودخانه چهل‌چای را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های ثبت شده کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در خروجی آبخیز رودخانه چهل‌چای در سالهای ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۷ استفاده شد. ۱۲ متغیر کیفی آب جهت مطالعه انتخاب شدند. در این مطالعه از روش آماری ناپارامتریک کندال استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان دهنده افزایش اغلب یون‌ها و در نتیجه تنزل کیفیت آب رودخانه چهل‌چای در طی چهار دهه اخیر است. متغیرهای EC، TDS، SAR، سدیم، پتاسیم، کلراید و سولفات روند افزایشی معناداری را نشان می‌دهند. ۴ متغیر بدون روند و تنها متغیر بی‌کربنات روند کاهشی معناداری را نشان می‌دهد. نتایج این بررسی نشان داد که این روند افزایشی متغیرها و افت کیفیت آب رودخانه ناشی از تغییر کاربری اراضی، فرسایش خاک و تأثیر فعالیت‌های انسانی و تبدیل ۲۵۳۷ هکتار از مناطق جنگلی به اراضی کشاورزی در طی چهار دهه گذشته است.

تیموری و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی کیفی و هیدروشیمیایی آب رودخانه چهل‌چای پرداخته‌اند. در این تحقیق ۱۴ نمونه آب از ایستگاه‌های تعیین شده در طول رودخانه برداشت شد. نتایج این مطالعه نشان داد که عناصر اندازه‌گیری شده در مقایسه با استانداردهای جهانی و موسسه استاندارد ایران، دارای غلظت‌های مناسبی هستند. رسم نمودارهای هیدروشیمیایی و محاسبه‌ی نسبت‌های یونی، تأثیر زمین‌شناسی منطقه را در ترکیب آب رودخانه تأیید می‌کند. در بررسی هیدروشیمیایی با استفاده از نمودار پایپر، تیپ غالب نمونه‌های آب رودخانه بی‌کربناته سدیک به دست آمد و ارزیابی نمونه‌های آب مورد مطالعه برای مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از نمودار شولر و استیف، بیانگر کیفیت مناسب آب برای این مصارف است.

فصل سوم:

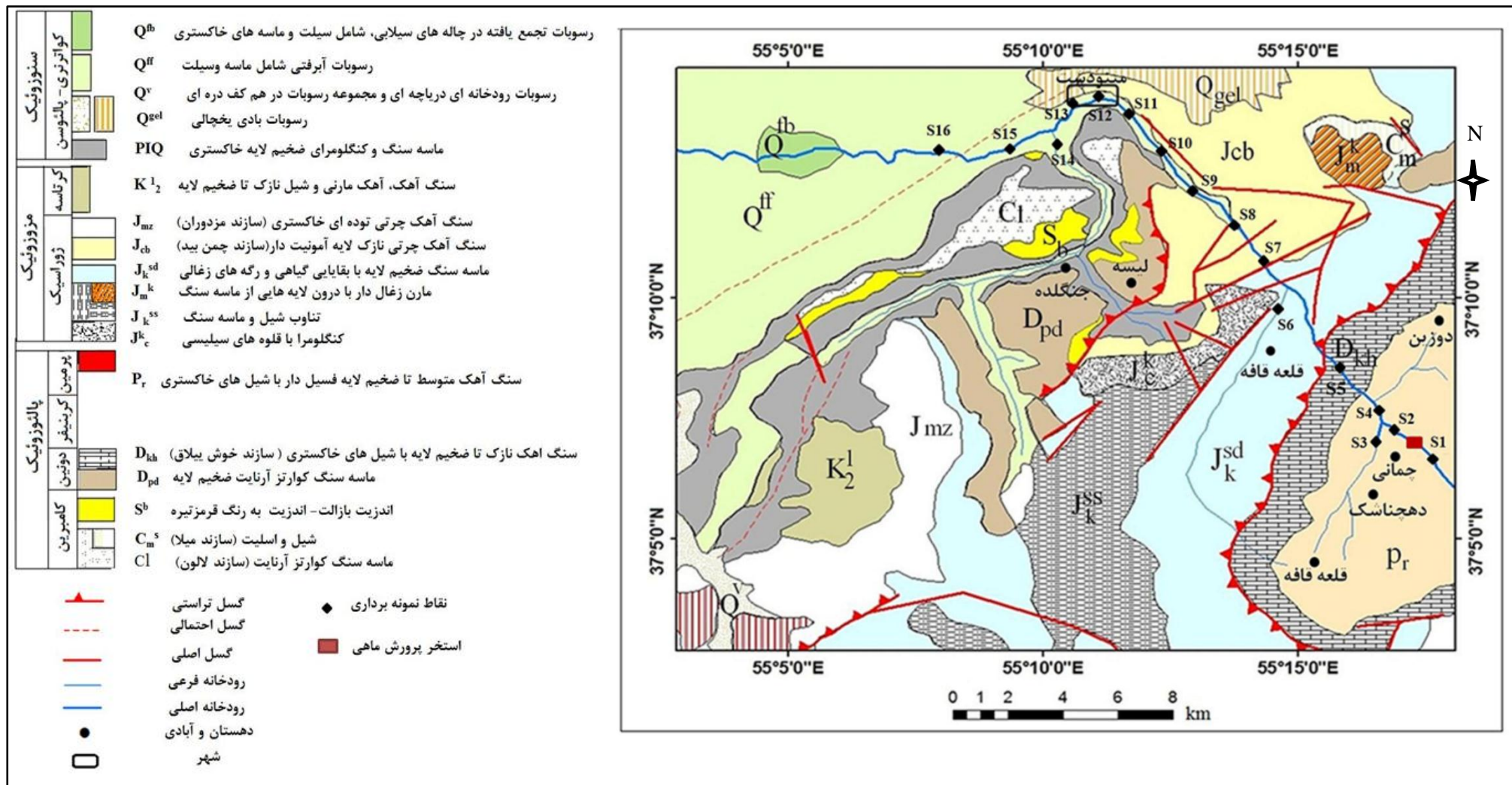
مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه

جمع‌آوری و کسب اطلاعات در مورد منطقه مورد مطالعه پیش نیاز مراحل بعدی مطالعه است. در این پژوهش نیز به منظور بررسی و مطالعه ویژگی‌های هیدروشمیایی و آلودگی رودخانه چهل‌چای پس از مطالعات اولیه و بازدید صحرایی و همچنین بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه، ایستگاه‌های نمونه‌برداری تعیین و نمونه‌برداری از آب رودخانه انجام شد. پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌های آنها برای تعیین غلظت آنیون و کاتیون اصلی و غلظت برخی فلزات سنگین و به آزمایشگاه آب منطقه‌ای استان گلستان ارسال گردیدند. در این فصل روش‌های به کار برده شده برای نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های آب و همچنین روش‌های تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از این آنالیزها به اختصار مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۲- تعیین موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه‌های نمونه‌برداری پس از مطالعات اولیه منطقه و بازدید صحرایی و با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های ماهواره‌ای، شرایط اقلیمی منطقه، توزیع منابع آلودگی و تمرکز مراکز مسکونی، کشاورزی و همچنین با توجه به ورود شاخه‌های فرعی به رودخانه و همچنین راه‌های دسترسی انتخاب گردیدند. نمونه‌برداری از ۱۶ ایستگاه در طول مسیر رودخانه انجام شد. از این تعداد ۳ نمونه از شاخه‌های فرعی از جمله نرماب، و بقیه نمونه‌ها در طول مسیر اصلی رودخانه و با توجه به وجود منابع آلودگی (طبیعی و انسان‌زاد) برداشت گردیدند. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS تعیین گردید. مشخصات و موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول (۳-۱) آورده شده و در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب

ایستگاه	نام و مشخصات ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
S1	قبل از استخر پرورش ماهی (نزدیک روستای چمانی)	۳۷° ۰۵' ۱۶/۳۰"N	۵۵° ۳۳' ۰۷/۵۱" E
S2	بعد استخر پرورش ماهی و قبل از ورود اولین شاخه فرعی	۳۷° ۰۵' ۲۷/۹۸" N	۵۵° ۳۲' ۳۳/۱۰" E
S3	اولین شاخه فرعی	۳۷° ۰۵' ۲۹/۳۵" N	۵۵° ۳۲' ۲۱/۷۴" E
S4	بعد از اتصال اولین شاخه فرعی	۳۷° ۰۵' ۳۷/۵۸" N	۵۵° ۳۲' ۱۶/۱۰" E
S5	در طول مسیر و قبل از ورود دومین شاخه فرعی	۳۷° ۰۶' ۴۰/۵۶" N	۵۵° ۳۰' ۳۹/۳۶" E
S6	شاخه فرعی دوم	۳۷° ۰۷' ۳۰/۳۲" N	۵۵° ۲۹' ۴۵/۵۷" E
S7	بعد از اتصال دومین شاخه فرعی	۳۷° ۰۷' ۵۰/۳۹" N	۵۵° ۲۹' ۲۳/۱۳" E
S8	در طول مسیر و قبل از زمین‌های کشاورزی	۳۷° ۱۳' ۵۰/۲۱" N	۵۵° ۲۱' ۳۹/۳۷" E
S9	در طول زمین‌های کشاورزی	۳۷° ۱۰' ۵۰/۹۸" N	۵۵° ۲۷' ۰۷/۳۵" E
S10	در طول زمین‌های کشاورزی	۳۷° ۱۱' ۰۴/۰۵" N	۵۵° ۲۶' ۲۸/۸۰" E
S11	قبل از شهر مینودشت	۳۷° ۱۳' ۵۳/۳۶" N	۵۵° ۲۳' ۴۵/۳۲" E
S12	ورود اولین فاضلاب (داخل شهر)	۳۷° ۱۳' ۴۵/۹۰" N	۵۵° ۲۲' ۵۷/۷۲" E
S13	ورود دومین فاضلاب (داخل شهر)	۳۷° ۱۳' ۱۹/۰۷" N	۵۵° ۲۱' ۲۲/۲۴" E
S14	رودخانه نرماب	۳۷° ۱۳' ۱۱/۴۰" N	۵۵° ۲۲' ۱۱/۵۸" E
S15	اتصال رودخانه نرماب به رودخانه چهل‌چای	۳۷° ۱۳' ۰۵/۶۴" N	۵۵° ۲۲' ۰۶/۰۳" E
S16	خارج از شهر	۳۷° ۱۳' ۱۷/۵۸" N	۵۵° ۲۱' ۱۰/۳۹" E

۳-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری و با توجه به اهداف مطالعه، عملیات نمونه‌برداری از آب به روش استاندارد صورت گرفت. در محل هر ایستگاه نمونه‌برداری، سه نمونه آب برداشت گردید. دو نمونه در ظروف پلی‌اتیلن با حجم‌های ۱/۵ لیتری برای آنالیز یون‌های اصلی و فلزات سنگین و یک نمونه نیز در ظرف استریل برای آنالیزهای میکروبی. ظروف نمونه‌برداری ابتدا توسط آب مورد نظر شستشو داده شده، سپس درب بطری در زیر آب باز و پس از پر شدن، بسته شد. شایان ذکر آنکه به نمونه‌هایی که

برای آنالیز فلزات سنگین در نظر گرفته شده بودند، به منظور جلوگیری از واکنش‌های شیمیایی و تثبیت یون‌ها و جلوگیری از ته‌نشینی فلزات سنگین چند قطره اسید نیتریک افزوده شد تا pH آنها به کمتر از ۳ برسد. در نهایت نمونه‌ها کدگذاری شده و به آزمایشگاه هیدروشیمی شرکت آب منطقه‌ای گلستان ارسال گردیدند. تصاویری از ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب رودخانه چهل‌چای در شکل (۳-۲) آورده شده است.



شکل ۳-۲- تصاویری از رودخانه چهل‌چای و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

۳-۴- اندازه‌گیری خواص نمونه‌های آب در محل

در محل نمونه‌برداری برخی ویژگی‌های نمونه‌های آب مانند pH، هدایت الکتریکی و دمای نمونه‌ها با کمک دستگاه Lutron مدل YK-2001CT و با دقت حدود ۰/۰۱ درصد اندازه‌گیری گردیدند.

۳-۵- اندازه‌گیری‌های انجام شده در آزمایشگاه

۳-۵-۱- کدورت (Turbidity)

کدورت نمونه‌های مورد مطالعه توسط دستگاه کدورت‌سنج و بر اساس واحد کدورت نفلوتری^۱ (NTU) اندازه‌گیری گردید. این روش بر اساس مقایسه شدت پراکندگی نور در یک نمونه در شرایط مشخص با شدت پراکندگی نور در یک محلول استاندارد در همان شرایط است (Thakur and Ojha, 2010). هرچه پراکندگی نور بیشتر باشد کدورت نمونه هم بیشتر خواهد بود.

۳-۵-۲- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها

غلظت آنیون‌های سولفات، نیترات و فسفات توسط دستگاه طیف‌سنج نوری، کلراید و بی‌کربنات با کمک روش تیتراسیون و کاتیون‌های سدیم و پتاسیم توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای، کلسیم و منیزیم توسط روش تیتراسیون در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردیدند.

۳-۵-۳- غلظت فلزات سنگین

در این مطالعه غلظت چهار فلز کروم، سرب، مس، منگنز در نمونه‌های آب، به کمک FAAS^۲ (دستگاه جذب اتمی شعله‌ای) اندازه‌گیری گردید.

۳-۵-۴- پارامترهای بیولوژیکی

پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب مورد مطالعه شامل اکسیژن خواهی زیستی (Biological Oxygen Demand)، اکسیژن خواهی شیمیایی (Chemical Oxygen Demand)، میزان

1-Nephelometry Turbidity Unit

2-Atomic Absorption Spectroscopy Flame

اکسیژن حل شده در آب (Dissolved Oxygen) و کل باکتری‌های کلی‌فرمی (Total coliform bacteria) و کلی‌فرم‌های مدفوعی (Fecal coliform) است.

۳-۵-۴-۱- BOD₅²⁰

BOD₅²⁰ در واقع میزان میلی‌گرم اکسیژنی است که باکتری‌های هوازی لازم دارند تا در مدت ۵ روز مواد آلی موجود در آبهای سطحی را در دمای ۲۰°C اکسید کنند (Basant et al., 2010). BOD یک شاخص مرجع برای تعیین میزان آلودگی آلی محیط‌های آبی در نظر گرفته می‌شود. نمونه‌های جمع‌آوری شده برای اندازه‌گیری پارامترهای بیولوژیکی، در همان روز به آزمایشگاه منتقل و سپس توسط روش فشارسنجی (تغییر فشار اکسیژن در طی ۵ روز در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد) اندازه‌گیری شدند. در این روش ابتدا مقدار معینی از نمونه آب مورد مطالعه، در یک بطری کهربایی رنگ ریخته می‌شود، سپس به آن مقداری ماده مغذی یا معرف افزوده می‌شود. در ادامه درب بطری را به گونه‌ای بسته که هوا وارد آن نشود و سپس بطری، به مدت ۵ روز در دستگاه BOD متر قرار داده می‌شود.

۳-۵-۴-۲- اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)

برای اندازه‌گیری COD، مقدار ۲ میلی‌لیتر آب از هر نمونه آب مورد مطالعه، در معرف HACH (معرف آماده کارخانه) در درون بطری‌های مخصوص ریخته شد و در ادامه بطری‌ها تکان داده شدند تا در اثر واکنش بین مواد آلی و مواد معرف داغ شوند. بطری‌های مورد نظر در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲ ساعت درون آن قرار داده شدند. از آب مقطر (۲ میلی‌لیتر) برای نمونه شاهد استفاده شد. پس از خنک شدن نمونه‌ها، نمونه شاهد درون دستگاه طیف‌سنج نوری قرار داده شده و مقدار COD آنها قرائت شد.

۳-۵-۴-۳- اکسیژن حل شده (DO)

اکسیژن حل شده در آب یکی از عوامل بسیار حساس در تعیین آلودگی بیولوژیکی آب است. دما، فشار جو و شوری بر میزان DO اثر می‌گذارند (زرشناس و بینا، ۱۳۸۵). اکسیژن محلول نمونه‌های آب مورد

مطالعه در آزمایشگاه و توسط دستگاه DO متر WTW مدل inoLab Oxi730 با دقت خطای ۰/۵ درصد اندازه‌گیری شد.

۳-۴-۵-۴- باکتری‌های کلی‌فرم کل و کلی‌فرم‌های مدفوعی

میزان آلودگی آب به میکروب را می‌توان با روش‌های آزمایشگاهی تعیین کرد. مهمترین معیار در مورد تشخیص آلودگی آبهای آشامیدنی، وجود میکروبهای روده‌ای در آن است که خود نشانه آلوده بودن آب به عوامل مدفوعی و بیماری‌زا است. امروزه وجود کلی‌فرم‌های مدفوعی در آب به‌عنوان شاخص آلودگی آبهای طبیعی به وسیله فاضلاب‌های خانگی در نظر گرفته می‌شود (مغربی ۱۳۸۷). برای اندازه‌گیری و سنجش میکروبی نمونه‌های آب مورد مطالعه، از آزمایش باکتریولوژیکی نه لوله‌ای استفاده شد (جابر و همکاران، ۱۳۸۷). در این روش برای شروع آزمایش از ۹ لوله استفاده می‌کنند و این ۹ لوله را در سه مرحله احتمالی، تأییدی و تکمیلی مورد بررسی قرار می‌دهند. مرحله اول یعنی احتمالی به ۳ لوله اول ۱۰ میلی‌لیتر، به ۳ لوله دوم ۱ میلی‌لیتر و به ۳ لوله آخر ۰/۱ میلی‌لیتر آب مورد آزمایش در محیط لاکتوز اضافه می‌کنند. نمونه مورد آزمایش در این محیط به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای ۳۵/۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. در صورت عدم وجود گاز درون لوله‌ها، نشان‌دهنده عدم وجود آلودگی میکروبی است و اگر کدورت و یا گاز وجود داشته باشد، آزمایش مثبت و نشان دهنده وجود آلودگی میکروبی خواهد بود. سپس از لوله‌هایی که دچار آلودگی (کدر یا ایجاد گاز) است. توسط لوپ، نمونه‌برداری شده و برای اثبات وجود و یا عدم وجود اشریشیاکلاهی (*Esherichia coli*) وارد مرحله تأییدی می‌کنند. اگر تعداد کلی‌فرم‌ها از حد مجاز کمتر باشد، از مرحله تکمیلی استفاده می‌کنند.

۳-۶- روش آماری تحلیل داده‌ها

برای ارزیابی و تحلیل آماری داده‌ها در این تحقیق از روش‌های آماری چند متغیره مانند ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) استفاده شد.

۳-۶-۱- ضریب همبستگی

به دلیل نرمال بودن توزیع داده‌ها، در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون که یک روش آماری پارامتریک است استفاده گردید. دامنه تغییرات ضریب همبستگی بین -۱ تا +۱ و میزان معنادار بودن آن نیز با دو سطح اطمینان $p=0.01$ یا $p=0.05$ تعریف می‌شود. اگر ضریب همبستگی مثبت و یا به عبارتی مقدار عددی بدست آمده برای آن مثبت باشد به این معنی است که تغییرات دو متغیر به طور هم‌جهت اتفاق می‌افتد و اگر ضریب همبستگی بدست آمده منفی باشد، یعنی اینکه دو متغیر در جهت عکس هم عمل می‌کنند. صفر شدن مقدار بدست آمده هم نشان‌دهنده این است که دو متغیر با هم هیچ رابطه‌ای ندارند.

۳-۷- نرم افزارهای مورد استفاده

در این پژوهش از نرم افزارهای زیر استفاده گردید:

- نرم افزار Arc GIS 10، برای بازکشی نقشه زمین‌شناسی منطقه و تعیین مرز حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه.
- از نرم افزار SPSS 20، برای تحلیل آماری داده‌های بدست آمده.
- نرم افزار Chemistry، برای ترسیم نمودار ویلکوکس.
- نرم افزار Rork Ware 14، برای ترسیم نمودار پایپر و استیف و تعیین تیپ و رخساره نمونه‌های آب مورد مطالعه.
- از نرم افزار Excel 2010، برای ترسیم نمودارهای توزیع عناصر و پارامترهای کیفی و نشان دادن تغییر آن در طول رودخانه.
- از نرم افزار Phreeqc Interactive 3.1.4 برای محاسبه شاخص اشباع‌شدگی نمونه‌های آب نسبت به کانیهای مختلف.

فصل چهارم:

بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای

و عوامل موثر بر آن

۴-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی کیفیت هیدروشیمیایی آب رودخانه چهل چای و ارزیابی تأثیر ورود سرشاخه-های فرعی و همچنین تأثیر عوامل طبیعی و انسانزاد بر روی کیفیت آب این رودخانه پرداخته می‌شود. ابتدا پارامترهای کیفی آب مانند دمای آب، pH، EC و TDS مورد بررسی قرار گرفته و سپس تغییرات پارامترهای کیفی آب، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های آب رودخانه و همچنین روند تغییرات فلزات سنگین با استفاده از نمودارهای پراکندگی بررسی می‌شود. در ادامه با استفاده از شاخص اشباع و تحلیل آماری به بررسی فرآیندهای هیدروشیمیایی کنترل کننده ویژگی‌های کیفی آب رودخانه، پرداخته شد. در نهایت نیز کیفیت آب منطقه به لحاظ استفاده در شرب و کشاورزی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۲- بررسی تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی در آب رودخانه چهل چای

میزان برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و همچنین مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های آب رودخانه چهل-چای در جدول (۴-۱) آورده شده است و در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۳- تغییرات دما

دما در جریان‌های سطحی و رودخانه‌ها تحت تأثیر فرآیندهای مختلف جوی و هیدرولوژیکی است. عوامل انسانی مانند ساخت سدها و آب‌بندها، تغییر در کاربری اراضی و تغییر در پوشش طبیعی، تخلیه فاضلاب‌ها به داخل آب رودخانه می‌تواند در دمای آب رودخانه تأثیرگذار باشد. دما بر جنبه‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و به ویژه زیستی سیستم‌های آبی تأثیر می‌گذارد. افزایش دما باعث کاهش میزان اکسیژن حل شده و از طرفی افزایش اکسیژن خواهی آب و همچنین افزایش میزان مواد حل شده در آب می‌شود. این عوامل نیز بر ارگانسیم‌های زنده آب اثر گذاشته و زندگی آنها را مختل می‌کنند. روند تغییرات دما در نمونه‌های مورد مطالعه در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

فصل چهارم: بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای و عوامل موثر بر آن

جدول ۴-۱- جدول آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب

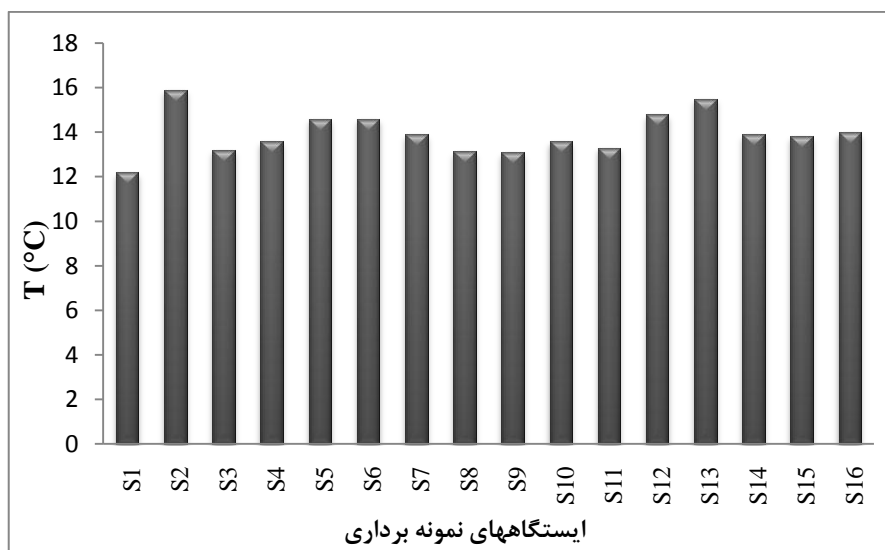
ایستگاه	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	pH	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
S1	۵۹۶	۳۷۵	۷/۶۹	۱/۱۷	۳۷/۴۹	۲۵/۵۱	۵۷/۰۹	۷۷/۹۹	۵۰	۱۹۵/۲۳	۳/۷
S2	۶۶۲	۴۱۲	۷/۳۵	۲/۳۴	۴۰/۷۱	۲۳/۰۸	۷۱/۳۶	۷۷/۹۹	۴۸	۲۳۷/۹۳	۸/۳
S3	۸۲۴	۵۱۷	۷/۹۸	۲/۳۴	۳۱/۲۸	۴۷/۳۸	۷۳/۴۰	۹۵/۷۱	۸۶	۲۶۲/۳۴	۱۰/۲
S4	۸۰۸	۵۰۵	۷/۸۴	۲/۳۴	۳۶/۸	۳۶/۴۵	۸۵/۶۳	۹۹/۲۶	۶۲	۲۸۰/۶۴	۵/۳
S5	۱۰۵۱	۶۶۱	۷/۹۳	۳/۱۲	۵۴/۵۱	۵۳/۴۶	۸۱/۵۶	۱۷۰/۱۶	۱۰۲	۲۳۱/۸۳	۶
S6	۴۳۶	۲۷۵	۷/۶	۱/۵۶	۱۲/۶۵	۲۴/۳	۴۴/۸۵	۱۷/۷۲	۲۵	۲۲۵/۷۳	۵/۴
S7	۸۷۰	۵۴۷	۷/۸	۳/۹	۳۶/۱۱	۴۱/۳۱	۸۵/۶۳	۱۱۶/۹۸	۹۸	۲۲۵/۷۳	۵/۵
S8	۸۸۴	۵۵۵	۷/۷۶	۱/۹۵	۳۵/۴۲	۳۸/۸۸	۸۹/۷۱	۱۱۳/۴۴	۱۰۴	۲۲۵/۷۳	۷/۴
S9	۸۶۸	۵۴۷	۷/۸	۱/۹۵	۳۴/۷۳	۴۴/۹۵	۷۵/۴۴	۱۰۶/۳۵	۱۰۰	۲۳۱/۸۳	۸
S10	۸۶۰	۵۴۱	۷/۹	۱/۹۵	۳۴/۷۳	۴۳/۷۴	۸۵/۶۳	۱۱۳/۴۴	۱۰۴	۲۳۷/۹۳	۸/۶
S11	۷۸۸	۴۹۴	۷/۸	۱/۹۵	۳۵/۴۲	۴۰/۰۹	۷۵/۴۴	۱۱۳/۴۴	۹۶	۱۹۵/۲۳	۴/۴
S12 (W1)	۹۳۱	۵۸۵	۷/۵۹	۳/۵۱	۳۶/۸	۳۷/۶۶	۱۱۰/۱۰	۱۰۹/۸۹	۱۰۰	۲۹۲/۸۴	۷/۸
S13 (W2)	۱۱۱۰	۶۹۵	۶/۹	۱۳/۶۵	۳۸/۸۷	۵۲/۲۴	۱۱۶/۲۲	۸۸/۶۲	۸۴	۴۵۷/۵۷	۱۵/۳
S14 (N)	۷۴۹	۴۷۰	۷/۹۲	۴/۶۸	۲۷/۳۷	۴۷/۳۸	۶۱/۱۷	۷۴/۴۴	۸۰	۲۶۲/۳۴	۴/۷
S15	۷۶۶	۴۸۱	۷/۹	۳/۱۲	۵۶/۱۲	۳۸/۸۸	۵۳/۰۱	۹۲/۱۷	۸۲	۲۳۱/۸۳	۵
S16	۷۳۳	۴۶۱	۷/۸	۳/۱۲	۲۹/۲۱	۴۲/۵۲	۶۱/۱۷	۸۱/۵۳	۷۸	۲۳۱/۸۳	۳/۴
Min	۴۳۶	۲۷۵	۶/۹	۱/۱۷	۱۲/۶۵	۲۳/۰۸	۴۴/۸۵	۱۷/۷۲	۲۵	۱۹۵/۲۳	۳/۴
Max	۱۱۱۰	۶۹۵	۷/۹۸	۱۳/۶۵	۵۶/۱۲	۵۳/۴۶	۱۱۶/۲۲	۱۷۰/۱۶	۱۰۴	۴۵۷/۵۷	۱۵/۳
Mean	۸۰۸/۵	۵۰۵/۰۵	۷/۶۹	۳/۷۴	۳۵/۹۴	۳۹/۶۹	۷۷/۱۴	۹۶/۵۰	۷۹/۳۳	۲۵۹/۹۷	۶/۸
WHO(2011)	-	-	۶/۵ - ۸/۵	-	۲۰۰	-	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰	-	۵۰

W1. فاضلاب اول

W2. فاضلاب دوم

N. شاخه فرعی نرماب

بالاترین میزان دما مربوط به ایستگاه S2 بوده که تحت تأثیر استخر پرورش ماهی واقع در بالا دست این ایستگاه است. در ادامه مسیر، دمای رودخانه چهل چای دارای مقادیر متغیری می‌باشد که با ورود رودخانه به داخل شهر مینودشت (ایستگاه‌های S12 و S13)، در اثر ورود فاضلاب‌های شهری به داخل آب، به میزان تقریباً ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به چند ایستگاه قبل افزایش یافته است.

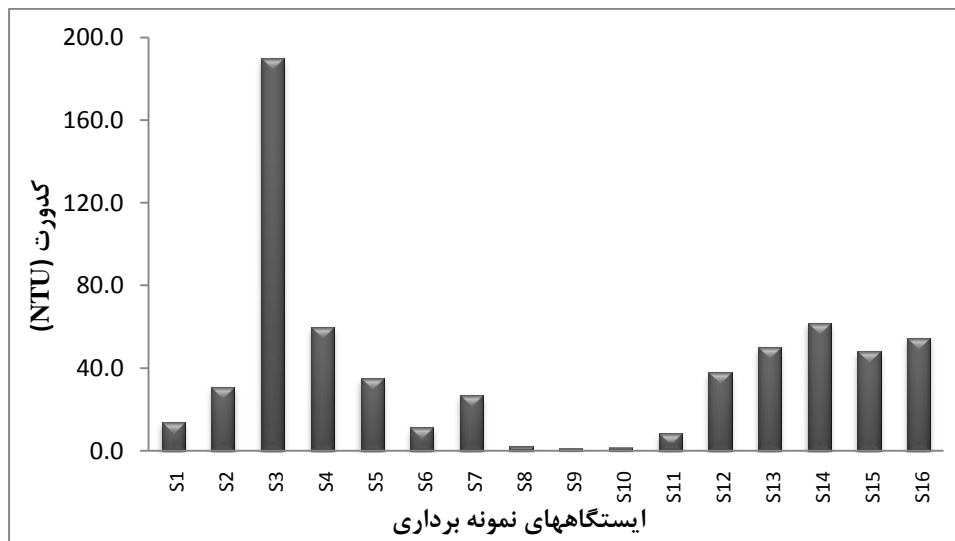


شکل ۴-۱- تغییرات دما در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12) و (S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۴- کدورت (Turbidity)

کدورت نشان‌دهنده میزان کاهش شفافیت و زلالیت آب به دلیل حضور مواد معلق مختلف در آب است (Thakur and Ojha., 2010). کدورت می‌تواند به وسیله مواد مختلفی ایجاد شود. تحت شرایط سیلابی مقدار زیادی از خاک سطحی شسته شده و وارد آبهای سطحی می‌شود. گرچه بیشتر این مواد شامل رس و سیلت می‌باشند، اما مقادیر قابل ملاحظه‌ای از مواد آلی را نیز شامل می‌شوند. مواد مغذی غیرآلی مانند فسفر و ازت، رشد جلبک‌ها را افزایش داده و این امر نیز باعث ایجاد کدورت می‌شود. آبهای کدر به دلیل جذب انرژی حرارتی نور خورشید توسط مواد معلق، دارای دمای بالاتری بوده و در نتیجه دارای اکسیژن کمتری هستند و این مسئله می‌تواند بر فتوسنتز گیاهان و تنفس موجودات آبی اثر نامطلوب بگذارد (شاه‌پسندزاده و همکاران، ۱۳۸۳). کدورت آب رودخانه‌ها می‌تواند تحت تأثیر استخر پرورش ماهی، باقیمانده مواد غذایی و افزایش بی‌رویه کود در استخر پرورش ماهی، افزایش یابد (واعظ‌تهرانی و همکاران، ۱۳۸۳). واحد اندازه‌گیری کدورت آب NTU (Nephelometric Turbidity Unit) که با عبور نور از آب و میزان انحراف نور بر حسب واحد نفلومتریکی سنجیده می‌شود (شاه‌پسندزاده و همکاران، ۱۳۸۳). بر اساس موسسه استاندارد ۱۰۵۳ ایران (۱۳۸۸)، حد مجاز

کدورت برای آب آشامیدنی ۵ NTU است. براساس نتایج بدست آمده، اکثر نمونه‌های آب دارای کدورت بسیار بالاتری از حد استاندارد تعیین شده هستند (شکل ۴-۲).



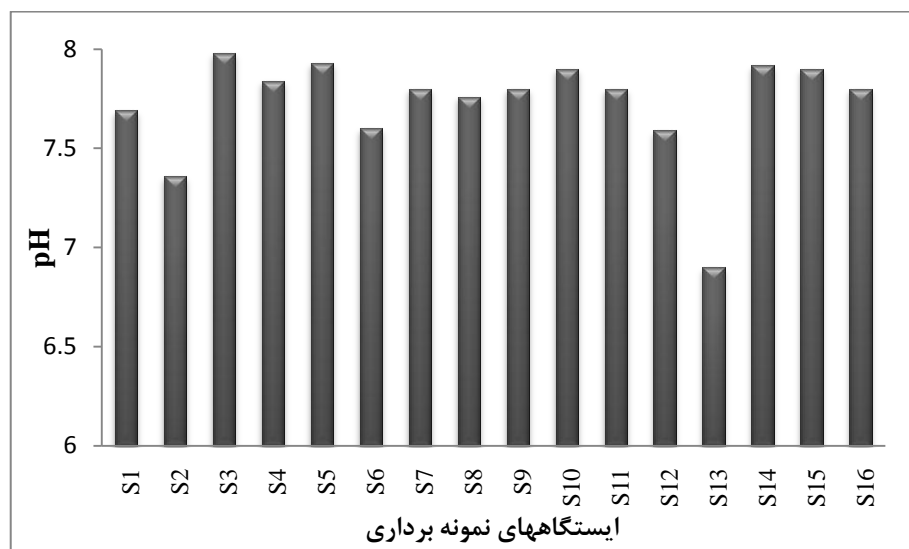
شکل ۴-۲- تغییرات کدورت آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه-های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

افزایش کدورت آب رودخانه در ایستگاه S2 نسبت به ایستگاه S1 می‌تواند تحت تأثیر استخر پرورش ماهی باشد. بیشترین میزان کدورت در ایستگاه S3 مشاهده می‌شود که این ایستگاه نزدیک به اولین شاخه فرعی بوده و نواحی اطراف آن فاقد پوشش گیاهی است و به همین علت بار معلق رودخانه در نزدیکی این ایستگاه بالا است که باعث افزایش کدورت آب رودخانه شده است. در ادامه مسیر رودخانه میزان کدورت روند کاهشی را نشان می‌دهد که علت آن را می‌توان به کاهش شیب رودخانه و رسوب ذرات معلق، ورود آبراهه‌های مختلف از مناطق دارای پوشش گیاهی و چشمه‌های اطراف با آب دارای کیفیت بهتر نسبت داد. با ورود رودخانه به محدوده شهری، میزان کدورت آن در اثر فعالیت‌های شهری و ورود فاضلاب‌ها مجدداً افزایش می‌یابد.

۴-۵- تغییرات pH نمونه‌های آب

pH رابطه نزدیکی با متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب دارد و کنترل کننده اصلی حلالیت و رسوبگذاری اکثر ترکیبات فلزی و عناصر انحلال پذیر است (Garg et al., 2009). میزان pH آبهای طبیعی بین ۴

تا ۱۰ است و حد مجاز آن برای آبهای آشامیدنی طبق موسسه استاندارد ۱۰۵۳ ایران ۶/۵ تا ۸/۵ است، برای نمونه‌های آب رودخانه چهل چای pH از ۶/۹ تا ۷/۹۸ متغیر است (به طور میانگین ۷.۶) که در محدوده خنثی تا قلیایی قرار می‌گیرد (شکل ۴-۳).



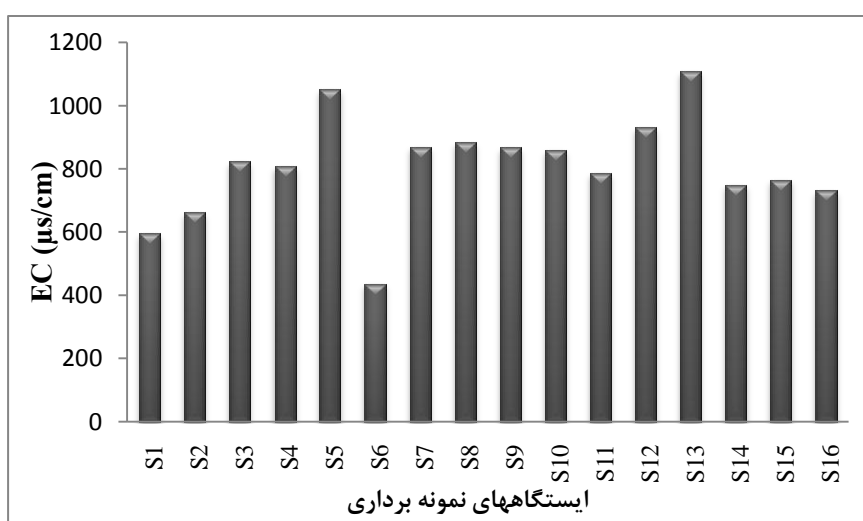
شکل ۴-۳- تغییرات pH نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

کاهش pH در ایستگاه S2 می‌تواند تحت تأثیر استخر پرورش ماهی باشد. باونچورا و همکاران (Boaventura et al., 1997) اثرات پساب خروجی استخرهای پرورش ماهی بر روی رودخانه‌های شمال پرتغال را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که میزان متوسط pH در پساب خروجی استخرهای پرورش ماهی در مقایسه با آب ورودی به آنها به‌صورت معناداری کاهش یافته است. بیشترین مقدار pH مربوط به ایستگاه S3 می‌باشد، که این ایستگاه تحت تأثیر سازند آهکی روته قرار گرفته است. کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه S13 می‌باشد. لازم به ذکر است که این ایستگاه در محدوده شهر مینودشت و محل تخلیه فاضلاب‌های شهری است.

۴-۶- تغییرات هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی نشان‌دهنده توانایی آب برای عبور جریان الکتریکی است که به غلظت یونهای موجود

در آب بستگی داشته و با کل جامدات محلول در آب (TDS) رابطه مستقیم دارد. آب خالص دارای هدایت الکتریکی پایینی بوده و با افزایش املاح حل شده هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. دما در میزان هدایت الکتریکی آب تأثیرگذار می‌باشد و با افزایش دما میزان آن افزایش می‌یابد (Hounslow, 1995). هدایت الکتریکی در مقادیر بالا نشان‌دهنده خطر شوری آب است و آب شور نیز از جنبه‌های مختلفی مانند آبیاری زمین‌های کشاورزی، حیات موجودات آبی و صنعت دارای محدودیت است. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب رودخانه چهل چای از ۴۳۶ میکروزیمنس بر سانتی متر تا ۱۱۱۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر تغییر می‌کند (شکل ۴-۴). نمونه S2 مربوط به ایستگاه بعد از پرورش ماهی است که به علت خروج آب از ایستگاه پرورش ماهی، میزان هدایت الکتریکی آب رودخانه نسبت به ایستگاه S1 (قبل از پرورش ماهی) بیشتر شده است. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به ایستگاه شماره S13 بوده که علت آن ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری شهر مینودشت در این ایستگاه می‌باشد. کمترین مقدار هدایت الکتریکی نیز مربوط به ایستگاه S6 بوده، همانطور که در بالا ذکر شد، این ایستگاه مربوط به شاخه فرعی دوم است که از داخل لایه‌هایی دارای ماسه‌سنگهای ضخیم لایه و کنگلومرا (سازند کشف‌رود) عبور می‌کند، و به این علت هدایت الکتریکی آن پایین است.



شکل ۴-۴- تغییرات میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه

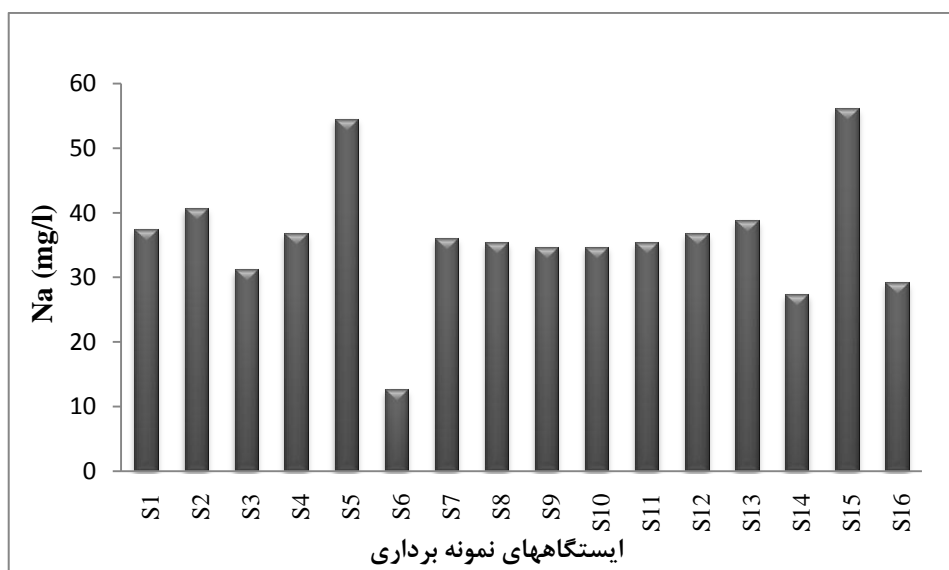
فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب)

۷-۴- غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های آب

۷-۴-۱- کاتیون‌ها

■ سدیم

سدیم یک شاخص مهم برای ارزیابی آب جهت مصارف آبیاری است. سدیم در آب بر اثر انحلال نمک‌ها و هوازگی سنگ‌های سدیم‌دار ایجاد می‌شود (Wen et al., 2008). غلظت سدیم در نمونه‌های آب رودخانه چهل چای از ۱۲/۶۵ تا ۵۶/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴-۵). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و موسسه استاندارد ایران حد مجاز سدیم را برای آب شرب، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پیشنهاد کرده‌اند. بنابراین تمام نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه دارای مقادیری پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده برای سدیم، جهت اهداف آشامیدنی می‌باشند.



شکل ۴-۵- تغییرات غلظت سدیم نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12)

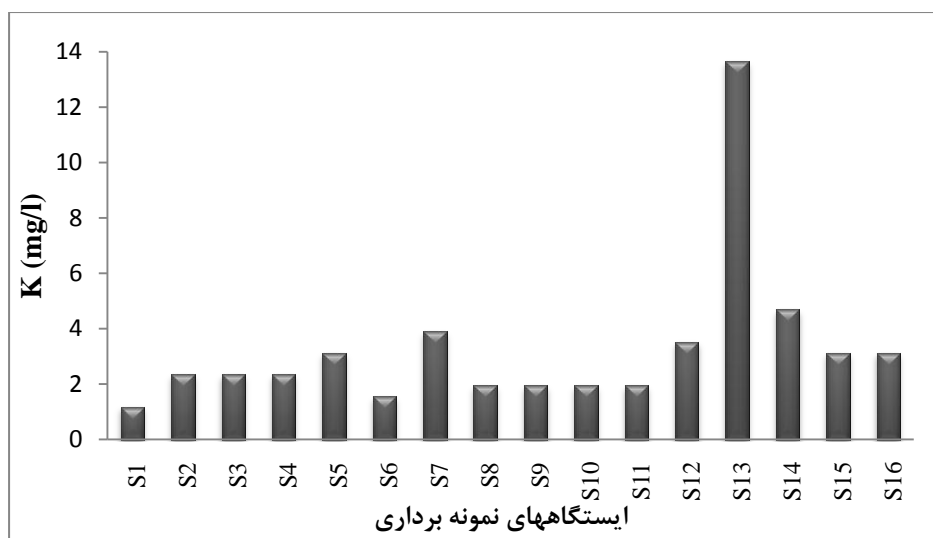
و (S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

غلظت سدیم در ایستگاه S2 که تحت تأثیر استخر پرورش ماهی است، نسبت به ایستگاه S1 افزایش نشان می‌دهد. در ادامه با اتصال شاخه فرعی (S3) غلظت سدیم در نمونه‌های آب رودخانه کاهش یافته است. ایستگاه S6 (شاخه فرعی) دارای کمترین غلظت سدیم می‌باشد، که علت آن ورود آبراهه‌ها و

وجود چشمه‌های متعدد در اطراف این شاخه فرعی است. با ورود رودخانه به محدوده شهر مینودشت (ایستگاه‌های S12 و S13)، در اثر ورود فاضلاب‌های شهری، غلظت یون سدیم کمی افزایش می‌یابد. غلظت این یون همچنین در ایستگاه S15 افزایش می‌یابد. علت این افزایش نسبی را می‌توان به وارد شدن آب رودخانه به داخل رسوبات آبرفتی حاوی رس و سیلت و تأثیر فرآیند تبادل یونی بر غلظت Na در آب مربوط دانست.

▪ پتاسیم

غلظت پتاسیم در نمونه‌های آب رودخانه چهل چای از ۱/۱۷ تا ۱۳/۶۵ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است (شکل ۴-۶). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و موسسه استاندارد ایران حد مجازی را برای پتاسیم در نظر نگرفته‌اند. میانگین غلظت پتاسیم در نمونه‌های آب رودخانه ۳/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.



شکل ۴-۶- تغییرات غلظت پتاسیم نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)،

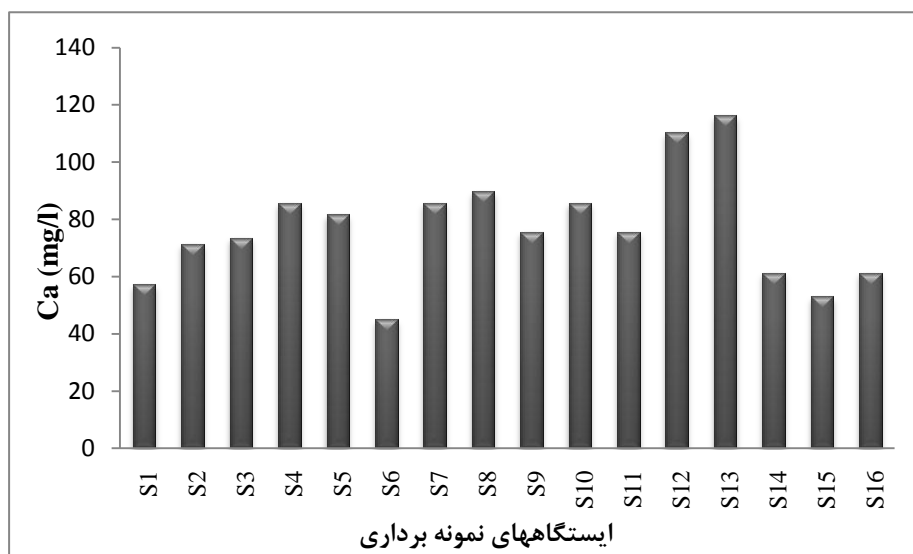
(S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

همانطور که مشاهده می‌شود میانگین غلظت پتاسیم در این رودخانه بسیار کم است، که علت فقدان سنگهای حاوی پتاسیم در لیتولوژی منطقه و یا نبود منابع انسانزاد برای این عنصر می‌باشد

(Gaofeng et al., 2010). بالاترین غلظت پتاسیم مربوط به ایستگاه شماره S13 بوده که این ایستگاه در محدوده شهر مینودشت و علت آن احتمالاً ورود فاضلاب‌های شهری به داخل این بخش از رودخانه است.

▪ کلسیم

کلسیم در آبهای طبیعی می‌تواند ناشی از انحلال کربنات کلسیم، دولومیت، ژیپس و فرآیند تبادل یونی و فعالیت‌های انسانزاد باشد (Kumar sing et al., 2013). موسسه استاندارد ایران حد مطلوب کلسیم برای آب آشامیدنی را ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیان کرده است. میانگین غلظت کلسیم در آب رودخانه چهل چای ۷۷/۱۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۴-۷). براین اساس تمام نمونه‌های رودخانه چهل-چای پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده برای آب شرب می‌باشند.



شکل ۴-۷- تغییرات غلظت کلسیم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه

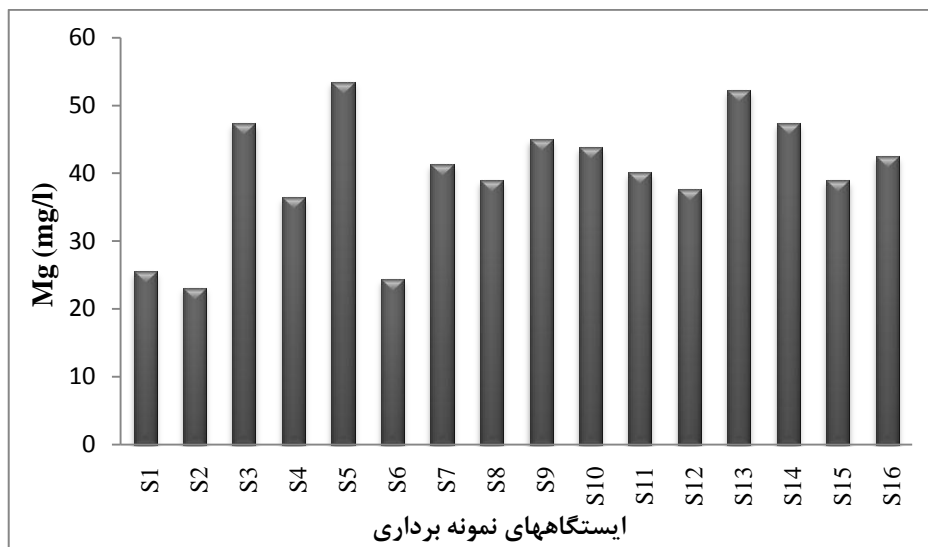
فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب)

همانطور که در شکل (۴-۷) مشاهده می‌شود، غلظت کلسیم از ایستگاه S2 تا ایستگاه S5 روند افزایشی داشته که به علت وجود استخر پرورش ماهی در بالادست ایستگاه S2 و همچنین انحلال ترکیبات کربناته سازند روته و خوش ییلاق (ایستگاه S3، S4 و S5) است. کمترین غلظت آن مربوط

به ایستگاه S6 است، که علت آن ورود جریان از شاخه فرعی عبوری از داخل ماسه سنگها و عدم وجود کانیهای کربناته در این سنگها است. با ورود رودخانه به محدوده شهرمینودشت (ایستگاه S12 و S13) غلظت کلسیم به بیشترین مقادیر خود رسیده که علت آن را می‌توان به ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی مربوط دانست. تانریوردی و همکاران (Tanriverdi et al., 2010) کیفیت آبهای سطحی در حوضه رودخانه جیحان (Ceyhan) در کشور ترکیه را با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره مورد بررسی قرار دادند، افزایش غلظت کلسیم و سایر ترکیبات از جمله مواد مغذی، سدیم، نیترات و کلراید در این رودخانه را به تخلیه فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری نسبت دادند.

▪ منیزیم

مهمترین منبع ورود منیزیم به آبهای طبیعی، انحلال کانیهای کربناته از جمله دولومیت است. از منابع دیگر منیزیم، سیلیکاتهای الیوین، پیروکسن، آمفیبول و میکا می‌باشد (Hounslow, 1995). دامنه تغییرات غلظت منیزیم در نمونه‌های آب مورد مطالعه، از ۲۳/۰۸ تا ۵۳/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۴-۸). موسسه استاندارد ایران حد مطلوب منیزیم برای آب آشامیدنی را ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیان کرده است. غلظت منیزیم در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های S5 و S13، پایین‌تر از این حد مجاز است. همانطور که شکل (۴-۸) مشاهده می‌شود، بالاترین غلظت منیزیم مربوط به ایستگاه S5 می‌باشد که احتمالاً به دلیل انحلال کانیهای کربناته از جمله دولومیت و آهک‌های دولومیتی سازند خوش‌یلاق است. کمترین میزان آن نیز مربوط به ایستگاه S6 است، که به علت وجود ماسه‌سنگهای ضخیم لایه و نبود کانیهای کربناته منیزیم‌دار در این واحد سنگی است. غلظت منیزیم در ادامه مسیر رودخانه تغییرات نوسانی نشان می‌دهد. با ورود رودخانه به محدوده شهر مینودشت غلظت آن تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری کمی افزایش می‌یابد. کم بودن غلظت منیزیم رودخانه نرماب (ایستگاه S14) باعث کاهش غلظت آن در آب رودخانه چهل چای شده است (ایستگاه S15) و با ورود رودخانه به رسوبات آبرفتی میزان آن به طور نسبی افزایش یافته است.

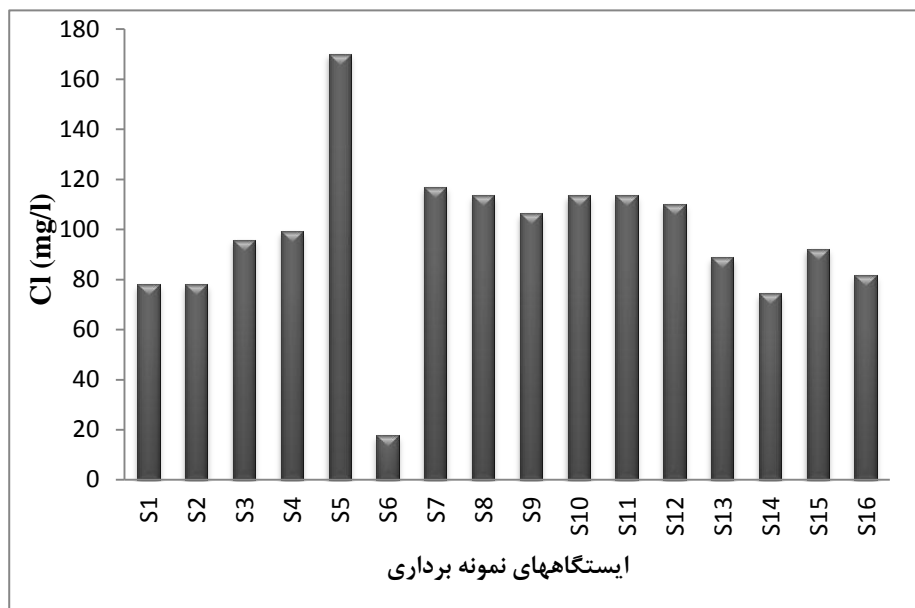


شکل ۴-۸- تغییرات غلظت منیزیم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۷-۲- آنیون‌ها

▪ کلراید

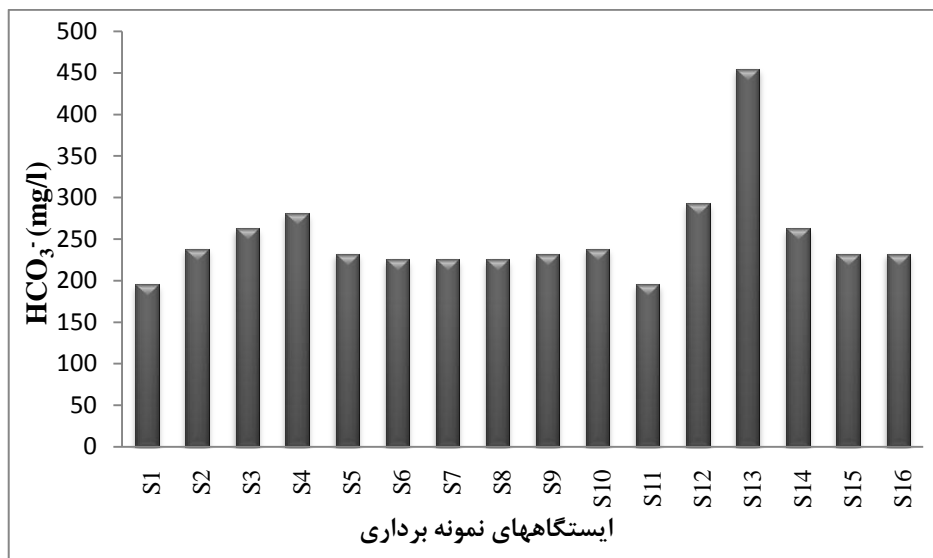
مهمترین منابع ورود یون کلراید به آب شامل، انحلال هالیت، تبادل یونی و فعالیت‌های انسانزاد (فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی) است (Hounslow, 1995). غلظت یون کلر در رودخانه چهل چای از ۱۷/۷۲ تا ۱۷۰/۱۶ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند. سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز یون کلر برای آب شرب را ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیان کرده است، و براین اساس میزان آن در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از حد مجاز برای مصرف شرب است (شکل ۴-۹). غلظت یون کلر بعد از ایستگاه S1 تا ایستگاه S5 افزایش می‌یابد. کمترین غلظت یون کلر نیز در ایستگاه S6 مشاهده می‌شود که علت آن ورود آبراهه‌های دارای آب با کیفیت مناسب- تر و وجود چشمه‌های متعدد در اطراف این شاخه فرعی است. به طور کلی با توجه به واحدهای زمین- شناسی در منطقه مورد مطالعه که عمدتاً شامل آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ، شیل و مارن و کمی واحدهای تبخیری است، غلظت یون کلر در نمونه‌های آب رودخانه چهل چای پایین است.



شکل ۴-۹- تغییرات غلظت کلراید در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب

▪ بی‌کربنات

منشأ بی‌کربنات در آب شامل دی‌اکسیدکربن موجود در جو، احیاء سولفات و انحلال کانیهای کربناته به ویژه کلسیت و دولومیت است (Li et al., 2008). غلظت بی‌کربنات در نمونه‌های مورد مطالعه بازه‌هایی بین ۱۹۵/۲ و ۴۵۴/۵۷ میلی‌گرم بر لیتر را شامل می‌شود (شکل ۴-۱۰). از جمله فرآیندهایی که باعث تولید بی‌کربنات، منیزیم و کلسیم در آب رودخانه می‌شود، واکنش هیدرولیز و انحلال ترکیبات آهکی مانند سنگ آهک و دولومیت در آب و همچنین واکنش دی‌اکسیدکربن جو با آب رودخانه است (Li et al., 2008). در رودخانه چهل چای از ایستگاه S2 تا S4 غلظت بی‌کربنات تحت تأثیر انحلال ترکیبات آهکی سازند روته و خوش ییلاق افزایش یافته است. از ایستگاه S5 به بعد، غلظت بی‌کربنات روند تقریباً کاهشی و ثابتی را طی می‌کند که با ورود رودخانه به محدوده شهر مینودشت (ایستگاه S12 و S13) غلظت بی‌کربنات تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری و خانگی شهر مینودشت افزایش نسبی می‌یابد.

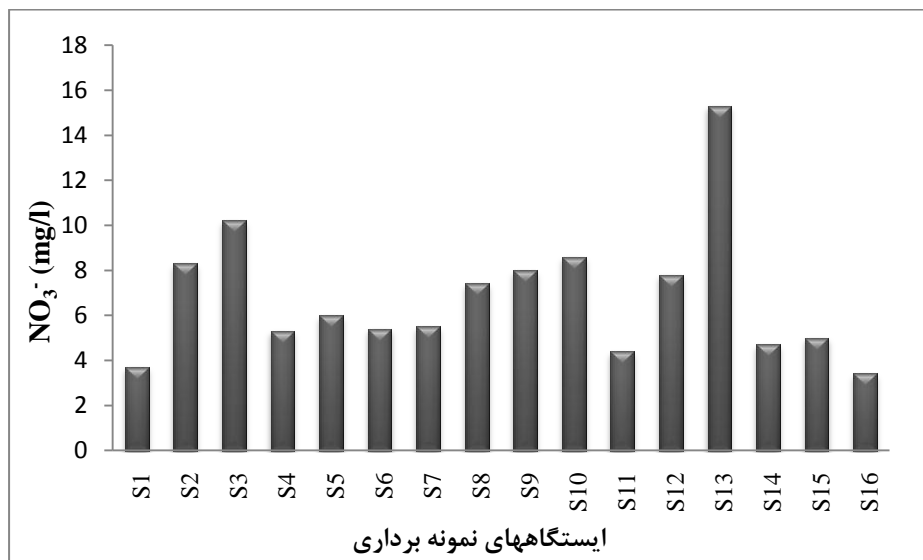


شکل ۴-۱۰- تغییرات غلظت یون بی‌کربنات در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

■ نیترات

منابع ورود نیترات به آبهای سطحی و زیرزمینی، رواناب‌های کشاورزی حاوی نیترات، تخلیه فاضلاب‌های انسانی و شهری، مواد آلی و باران‌های اسیدی است (Xue et al., 2009). غلظت نیترات در نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای از ۳/۴ تا ۱۵/۳ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴-۱۱). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب آشامیدنی را ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیان کرده، که تمام نمونه‌های آب مورد مطالعه در محدوده مطلوب برای آب شرب قرار می‌گیرند. غلظت یون نیترات در ایستگاه S2 و S3 افزایش یافته است. افزایش نیترات در ایستگاه S2 (بعد از استخر پرورش ماهی) می‌تواند در اثر تبدیل آمونیاک تولید شده (توسط متابولیسم ماهی‌ها، تجزیه مواد دفعی و پسماندهای غذایی) طی فرآیند اکسیداسیون به نیتريت و در اثر عمل نیترات-زایی (Nitrification) و از طرفی با توجه به اینکه عمده زمین‌های کشاورزی این منطقه در اطراف این ایستگاه‌ها وجود دارد، این افزایش غلظت یون نیترات، قابل توجیه است. در ادامه مسیر، از ایستگاه S3 به بعد غلظت نیترات کاهش یافته و دوباره در ایستگاه‌های S8، S9 و S10 بر غلظت آن افزوده می‌شود، که علت آن وجود زمین‌های کشاورزی در اطراف این ایستگاه‌ها است. بالاترین غلظت

نیترات (۱۵/۳ میلی گرم برلیتر) مربوط به ایستگاه S13 است که در محدوده شهر مینودشت و تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری و خانگی قرار گرفته است.

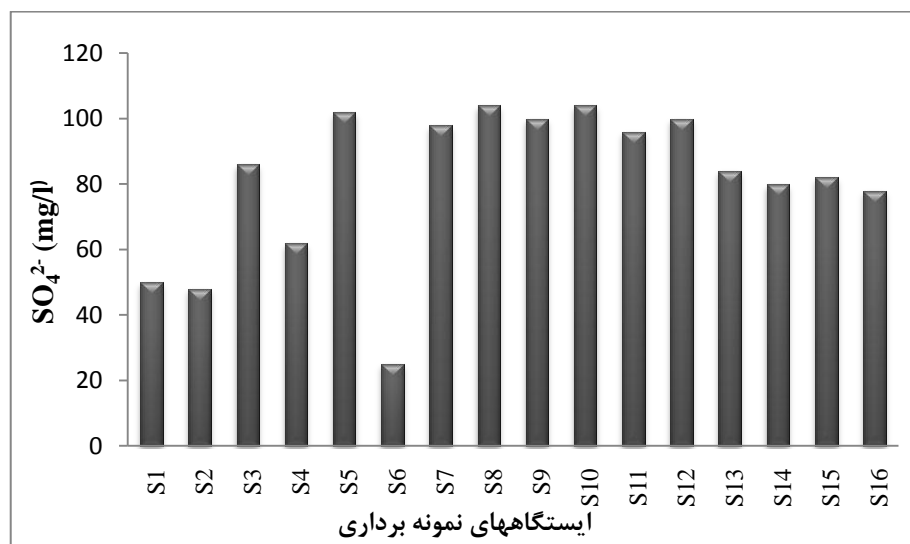


شکل ۴-۱۱- تغییرات غلظت نیترات در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب)

▪ سولفات

سولفات یکی از یون‌های اصلی در آبهای سطحی و زیرزمینی است. منابع اصلی ورود سولفات به آبهای سطحی، انحلال ترکیبات حاوی سولفات مانند ژئوپس، رسوب گوگرد از جو، فاضلاب‌های خانگی و شهری، فاضلاب‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی است (Li et al, 2011). غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب مورد مطالعه بین مقادیر ۲۵ تا ۱۰۴ میلی گرم بر لیتر متغیر است. غلظت میانگین یون سولفات در نمونه‌های آب رودخانه چهل چای ۷۹/۳۳ میلی گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۴-۱۲). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) غلظت مجاز یون سولفات برای آب آشامیدنی را ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر توصیه کرده است. تمام نمونه‌های آب رودخانه چهل چای دارای غلظت سولفات پایین‌تری از این حد مجاز هستند. افزایش یون سولفات در منطقه می‌تواند تحت تأثیر زهکش زمین‌های کشاورزی به ویژه در مناطق بالادست رودخانه که بیشتر زمین‌های کشاورزی در این مناطق واقع‌اند باشد. از دلایل

دیگر افزایش سولفات، فاضلاب‌های شهری و خانگی در ایستگاه‌های S12 و S13 می باشد. تیموری و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی کیفیت آب بخشی از رودخانه چهل چای در پایین دست شهر گنبد کاووس پی برد که تخلیه فاضلاب‌های شهر گنبد کاووس از عوامل اصلی افزایش غلظت یون سولفات در آب این رودخانه است.



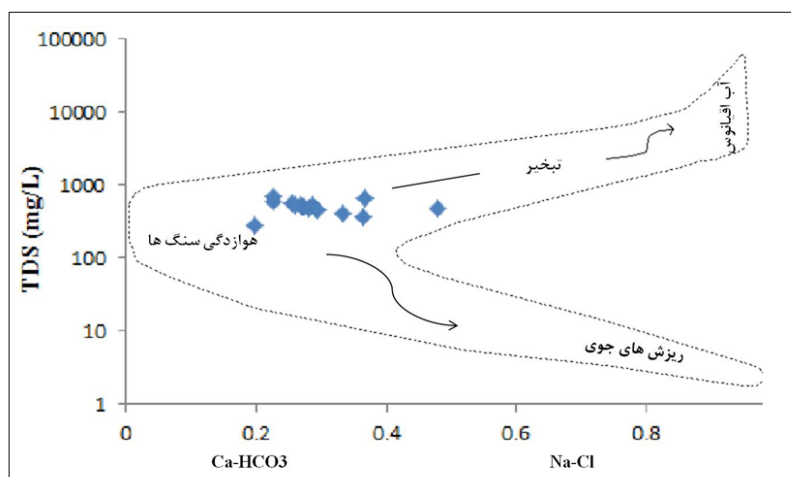
شکل ۴-۱۲- تغییرات سولفات در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۸- فرایندهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب رودخانه

به طور کلی دو عامل طبیعی و غیرطبیعی (انسانزاد) کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب می‌باشند. عوامل طبیعی کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب شامل سه فرآیند ریزش‌های جوی، تبخیر و برهم-کنش آب با سنگ می‌باشد که ممکن است تأثیر یکی از آنها بیشتر از دو فرآیند دیگر باشد (Mustapha et al., 2013). مهمترین منابع انسانزاد موثر بر ترکیب شیمیایی آب رودخانه‌ها، فاضلاب-های خانگی و رواناب‌های شهری، پساب‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی هستند. برای تعیین و ارزیابی فرایندهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی آب در این مطالعه از مدل گیبس، محاسبه شاخص اشباع‌شدگی و تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمیایی نمونه‌های آب استفاده شد.

۴-۸-۱- مدل گیبس

بر طبق نظر گیبس (Gibbs, 1970)، شیمی آبهای سطحی تا حد زیادی توسط سه فرآیند، هوازدگی سنگ، بارش‌های جوی و همچنین فرآیند تبخیر- تبلور کنترل می‌شود. از بین یون‌های اصلی $\frac{Ca^{2+}}{HCO_3^-}$ ، به طور عمده از هوازدگی سنگها، $\frac{Na^+}{Cl^-}$ از بارش‌های جوی و TDS بطور تعدیل شده از فرآیند تبخیر- تبلور، حاصل شده‌اند (شکل ۴-۱۳). براساس محاسبه نسبت‌های فوق و با توجه به TDS نمونه‌های آب مورد مطالعه، همه نمونه‌های آب در بخش هوازدگی سنگ (Rock-Weathering) این نمودار قرار می‌گیرند، که نشان‌دهنده رابطه برهم‌کنشی آب-سنگ و غالب بودن فرآیند انحلال در کنترل ترکیب شیمیایی آب رودخانه چهل چای است (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳- نمودار گیبس (Gibbs, 1970) و موقعیت نمونه‌های آب مورد مطالعه بر روی آن

۴-۸-۲- شاخص اشباع شدگی (Saturation Index)

میزان شاخص اشباع‌شدگی کانیها بسته به نوع ماده یا یون‌های حل‌شده، اسیدیته، دما و کل مواد جامد حل‌شده تغییر می‌کند. مقدار شاخص اشباع‌شدگی از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (Parkhurst and Appelo, 1999).

$$SI = \text{Log} \frac{I_{Ap}}{K_{Sp}} \quad (1-4)$$

در این رابطه، SI: شاخص اشباع، IAP: حاصلضرب فعالیت یونی و K_{sp} : ثابت انحلال پذیری است. در صورتی که آب نسبت به یک کانی اشباع باشد، شاخص اشباع اشباع شدگی برابر صفر خواهد بود، اگر شاخص اشباع شدگی مثبت و یا به عبارتی بزرگتر از صفر باشد، آب نسبت به کانی فوق اشباع بوده و کانی تمایل به ته نشینی دارد و اگر شاخص اشباع شدگی منفی باشد، به معنای تحت اشباع بودن کانی در آب است و تمایل به انحلال پذیری در آب را دارد. شاخص اشباع شدگی نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۴-۲) آورده شده است.

جدول ۴-۲- شاخص اشباع شدگی نمونه‌های آب مورد مطالعه نسبت به کانیهای واکنش پذیر

ایستگاه	کلسیت	دولومیت	آراگونیت	ژیپس	انیدریت	هالیت
S1	۰/۲۳	-۰/۰۷	۰/۰۵	-۱/۹۹	-۲/۲۴	-۷/۱۳
S2	۰/۰۸	-۰/۵۲	-۰/۱	-۱/۹۳	-۲/۱۸	-۷/۱
S3	۰/۷	۱/۰۳	۰/۵۲	-۱/۷۳	-۱/۹۸	-۷/۱۴
S4	۰/۶۷	۰/۷۹	۰/۴۹	-۱/۸	-۲/۰۵	-۷/۰۵
S5	۰/۶۳	۰/۸۹	۰/۴۵	-۱/۶۴	-۱/۸۹	-۶/۶۵
S6	۰/۱۳	-۰/۱۹	-۰/۰۵	-۲/۳۴	-۲/۵۹	-۸/۲۴
S7	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۳۵	-۱/۶۱	-۱/۸۶	-۶/۹۹
S8	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۳۳	-۱/۵۷	-۱/۸۲	-۷/۰۱
S9	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۳۱	-۱/۶۵	-۱/۹	-۷/۰۵
S10	۰/۶۴	۰/۸۱	۰/۴۶	-۱/۵۹	-۱/۸۴	-۷/۰۲
S11	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۲۴	-۱/۶۶	-۱/۹۱	-۷/۰۱
S12	۰/۵۳	۰/۴	۰/۳۵	-۱/۵۲	-۱/۷۷	-۷/۰۱
S13	۰/۰۴	-۰/۴۵	-۰/۱۴	-۱/۶۱	-۱/۸۶	-۷/۰۹
S14	۰/۵۸	۰/۸۶	۰/۴	-۱/۵۲	-۲/۰۷	-۷/۳
S15	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۲۷	-۱/۸۵	-۲/۱	-۶/۹
S16	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۲۳	-۱/۸۲	-۲/۰۷	-۷/۲۳

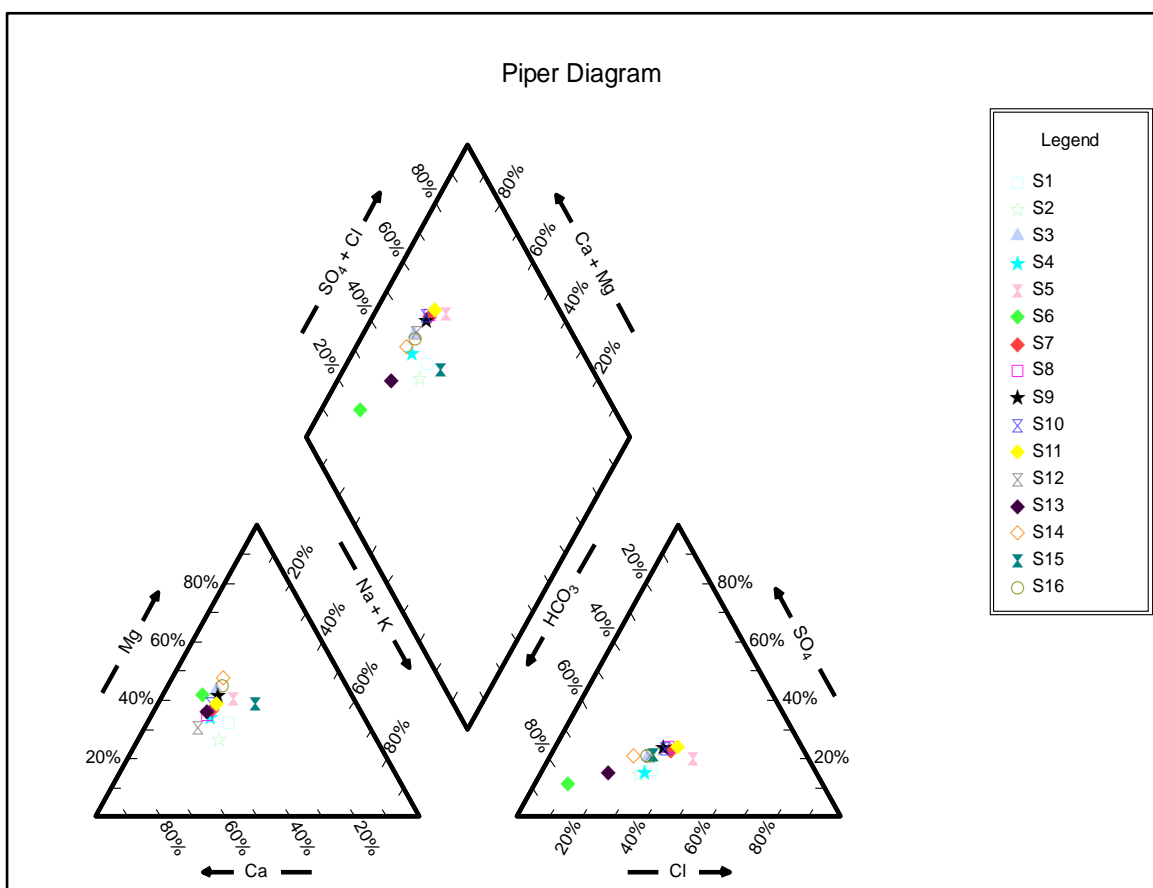
نتایج حاصل نشان می‌دهد که شاخص اشباع شدگی برای کانیهای کلسیت، آراگونیت، دولومیت در اکثر نمونه‌های آب مورد مطالعه در حد اشباع یا نزدیک به اشباع است (جدول ۴-۲)، که با توجه به سازندهای زمین‌شناسی آهک‌دار و دولومیت‌دار در بالادست منطقه مورد مطالعه قابل توجیه است. همانطور که مشاهده می‌شود کانیهای سولفات انیدریت، ژیپس و هالیت در نمونه‌های آب منطقه مورد

مطالعه در حالت تحت اشباع هستند، بنابراین می توان نتیجه گرفت این کانیها کنترل کننده اصلی ترکیب هیدروشیمیایی آب نیستند.

۳-۸-۴- تیپ و رخساره هیدروشیمیایی نمونه های آب رودخانه چهل چای

۱-۳-۸-۴- نمودار پایپر

نمودار پایپر (1944) مشخصات شیمیایی آب را برحسب غلظت نسبی آنیون ها و کاتیون های اصلی نشان می دهد. از کاربردهای اصلی نمودار مثلثی پایپر بررسی تکامل هیدروشیمیایی نمونه های آب، تشخیص تیپ و رخساره آب است (Guler et al., 2002). نمودار پایپر برای نمونه های مورد مطالعه در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴- نمودار پایپر نمونه های آب رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه-

های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب

در جدول (۳-۴) نیز تغییرات تیپ و رخساره و توالی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های آب مورد مطالعه آورده شده است. در ایستگاه S5 ترکیب شیمیایی آب رودخانه کلروره منیزیک است، که تحت تأثیر شیب کم رودخانه و سازند خوش بیلاق (آهکی و آهک دولومیتی) است. ایستگاه‌های S14، S15 و S16 داری تیپ بی‌کربناته و رخساره منیزیک می‌باشند. وجود سازندهای روته، خوش بیلاق و چمن‌بید باعث شده که تیپ و رخساره آب در اکثر ایستگاه‌ها، از نوع بی‌کربناته کلسیک باشد.

جدول ۳-۴- تغییرات تیپ و رخساره و توالی آنیون‌ها - کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های آب مورد مطالعه

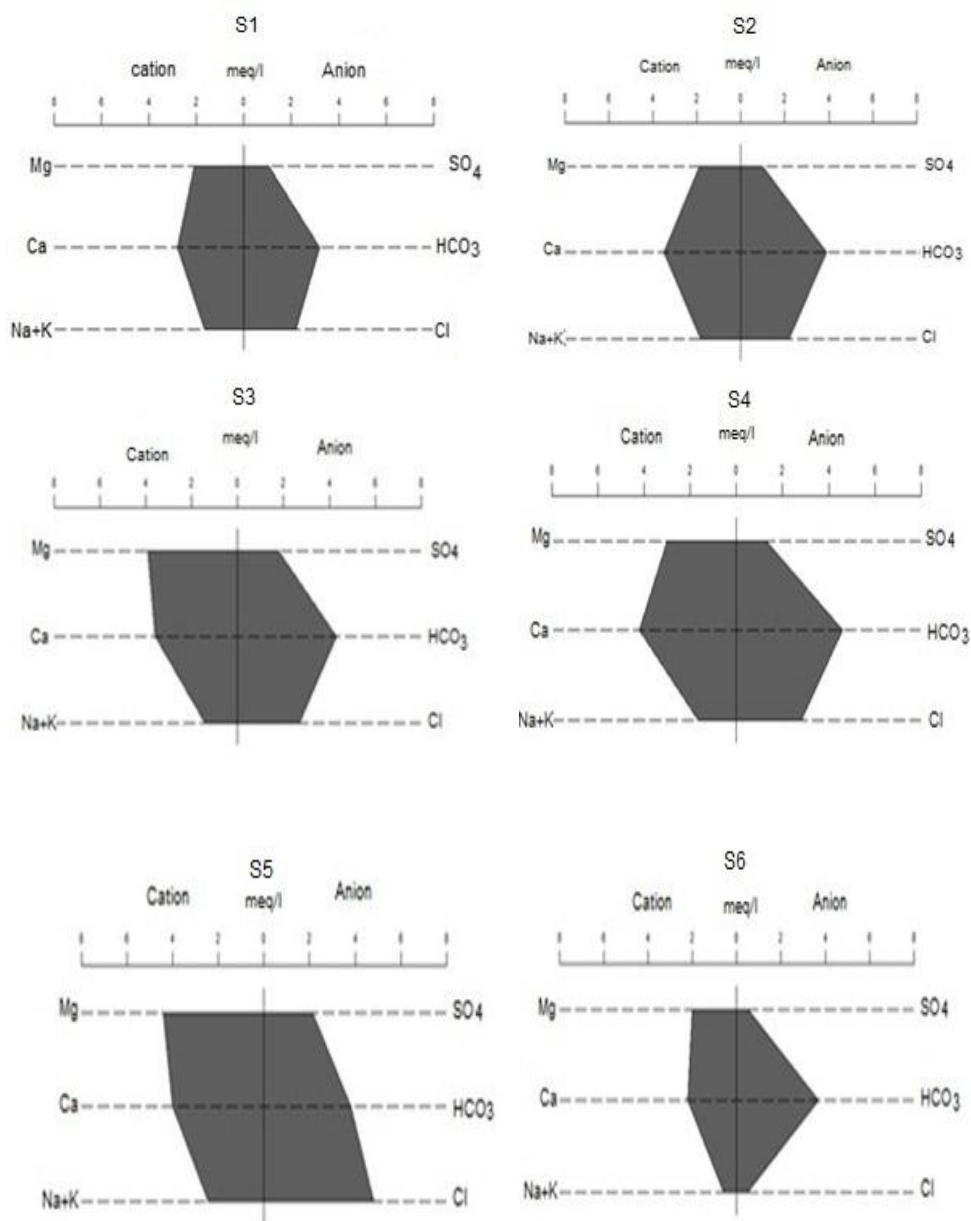
نمونه	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ آب	خساره آب
S1	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S2	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S3	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S4	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S5	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	کلروه	منیزیک
S6	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S7	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S8	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S9	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S10	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S11	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S12	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S13	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	کلسیک
S14	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	منیزیک
S15	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	منیزیک
S16	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	بی‌کربناته	منیزیک

۴-۸-۳-۲- نمودار استیف

در نمودار استیف (۱۹۵۱) غلظت آنیون‌های مختلف در مقابل کاتیون‌ها قرار داده شده و فراوانی ترکیبات مختلف بر روی محور افقی این نمودار بر حسب میلی‌اکی والان گرم بر لیتر نشان داده شده است (Eby, 2004). در این نمودار آنیون‌ها در سمت راست محور صفر و کاتیون‌ها در سمت چپ محور صفر قرار می‌گیرند. هر یون بصورت یک نقطه رسم شده و از اتصال نقاط، یک چند ضلعی ایجاد

فصل چهارم: بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای و عوامل موثر بر آن

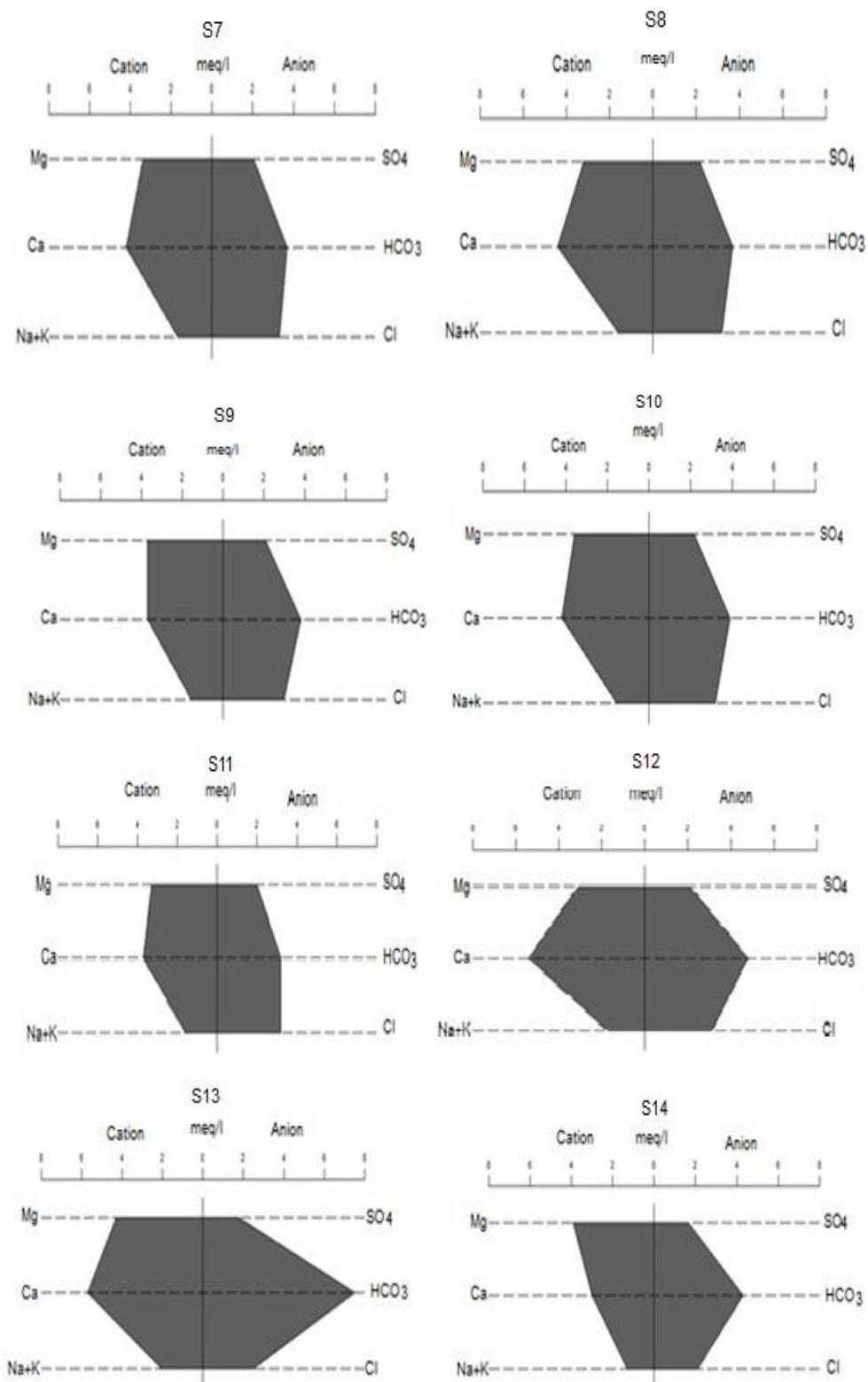
می‌شود که با استفاده از چند ضلعی ایجاد شده می‌توان ترکیب شیمیایی آب مورد نظر را تعیین نمود. همچنین با استفاده از این نمودار می‌توان آبهای با ترکیب شیمیایی و منشأهای مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد. نمودارهای استیف برای نمونه‌های آب مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار AqQa ترسیم گردیده و در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده‌اند.



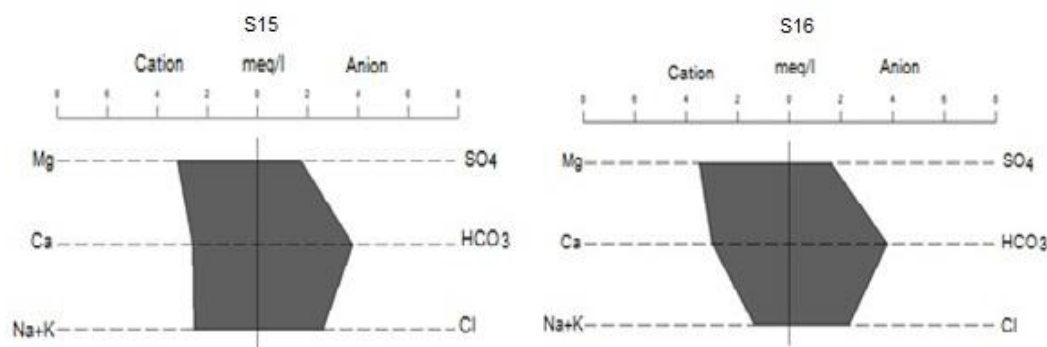
شکل ۴-۱۵- نمودار استیف نمونه‌های آب رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، S12 و S13 نمونه‌های

(فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب)

ادامه شکل (۴-۱۵)



ادامه شکل (۴-۱۵)



با توجه به نمودارهای استیف رسم شده، در همه نمونه‌های مورد مطالعه به جز نمونه (S5)، HCO_3^- آنیون غالب، Ca^{2+} کاتیون غالب است. در نمونه S5 کلر و منیزیم به ترتیب به سایر آنیون‌ها و کاتیون‌ها چیرگی دارند. غالب بودن Ca^{2+} و HCO_3^- در بیشتر نمونه‌ها می‌تواند به علت رخنمون سازندهای روته، خوش ییلاق، چمن‌بید و مزدوران باشد که حاوی آهک و آهک‌های دولومیتی هستند. ترکیب متفاوت نمونه S5 نیز احتمالاً به شیب کم رودخانه در این بخش، و از طرفی انحلال آهک دولومیتی سازند خوش ییلاق مربوط می‌باشد.

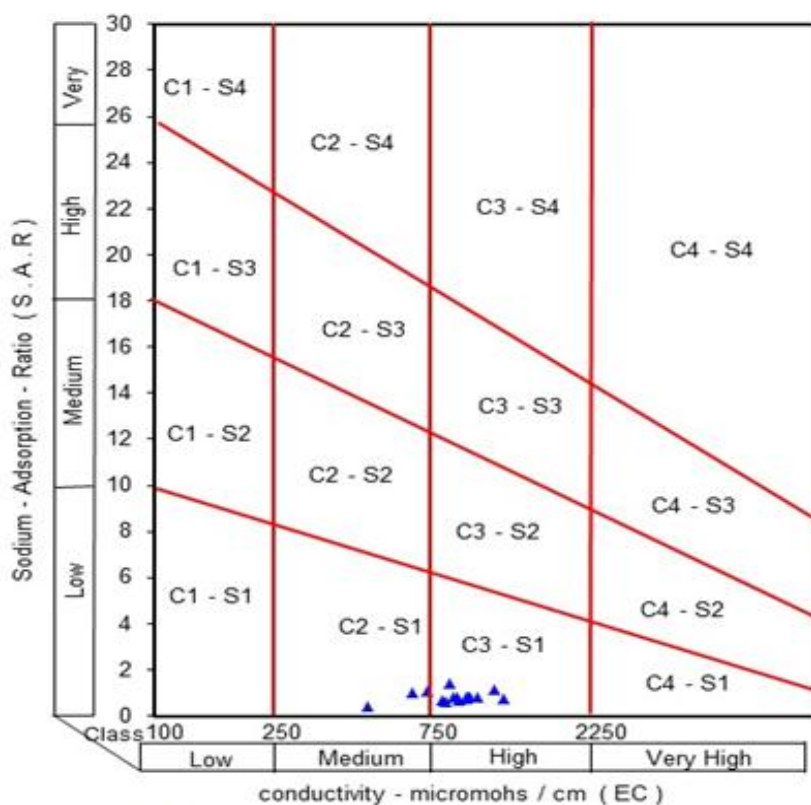
۹-۴- ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل چای از نظر استفاده در اهداف کشاورزی

آبهای سطحی به ویژه رودخانه‌ها از منابع اصلی تأمین کننده آب برای مصارف کشاورزی هستند. از این رو شناخت و آگاهی از کیفیت این آبها بسیار حائز اهمیت است. مهمترین پارامترهایی که جهت تعیین کیفیت آب از نظر استفاده در کشاورزی اهمیت دارند شامل درصد سدیم (Sodium Percent) و نسبت جذب سدیم (Sodium Adsorption Ratio) هستند (Srinivasamoorthy et al., 2013). سدیم به تنهایی نمی‌تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی باشد، و بهتر است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود، لذا روش طبقه‌بندی ویلکاکس و استفاده از نمودار آن پرکاربردترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات کیفی آب است، زیرا در این

نمودار محور افقی به قابلیت هدایت الکتریکی (EC) بر حسب میکروزمینس بر سانتی متر و محور عمودی به نسبت جذبی سدیمی (SAR) اختصاص دارد (Srinivasamoorthy et al., 2013). نسبت جذب سدیم (SAR) یکی از معیارهای بررسی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی می باشد، که از رابطه زیر به دست می آید:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (2-4)$$

براساس موقعیت نمونه‌ها در نمودار ویلکاکس (شکل ۴-۱۶) و با توجه به جدول (۴-۴) مشاهده می شود که ۶۸/۷۸ درصد نمونه‌ها، در کلاس C₃-S₁ (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) و ۳۱/۲۵ درصد از نمونه‌ها، در کلاس C₂-S₁ (کمی شور- مناسب برای کشاورزی) قرار می گیرند. و از این نظر می توان نتیجه گرفت که تمام نمونه‌های آب رودخانه چهل چای، در حال حاضر برای مصارف کشاورزی مناسب هستند.



شکل ۴-۱۶- تعیین کیفیت آب برای کشاورزی به کمک دیاگرام ویلکاکس

فصل چهارم: بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای و عوامل موثر بر آن

جدول ۴-۴- کیفیت آب رودخانه چهل چای از نظر استفاده در کشاورزی (آبیاری)

نمونه	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
S1	۱/۰۴	۵۹۶	C2-S1	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
S2	۱/۰۸	۶۶۲	C2-S1	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
S3	۰/۷	۸۲۴	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S4	۰/۸۴	۸۰۸	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S5	۱/۱۶	۱۰۵۱	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S6	۰/۳۸	۴۳۶	C2-S1	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
S7	۰/۸۱	۸۷۰	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S8	۰/۷۹	۸۸۴	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S9	۰/۷۹	۸۶۸	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S10	۰/۷۶	۸۶۰	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S11	۰/۸۲	۷۸۸	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S12	۰/۷۸	۹۳۱	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S13	۰/۷۶	۱۱۱۰	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S14	۰/۶۴	۷۴۹	C2-S1	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
S15	۱/۴۳	۷۶۶	C3-S1	شور- قابل استفاده برای کشاورزی
S16	۰/۷	۷۳۳	C2-S1	کمی شور- مناسب برای کشاورزی

۴-۹-۱- درصد سدیم

درصد سدیم یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی آب جهت مصارف آبیاری (کشاورزی) است. سدیم در آب بر اثر انحلال نمک‌ها و هوازگی سنگهای سدیم‌دار ایجاد می‌شود (Wen et al., 2008). یون سدیم می‌تواند با خاک واکنش داده و میزان نفوذپذیری خاک را کاهش دهد. درصد سدیم از رابطه زیر بدست می‌آید (Bhrdwet al, 2010).

$$Na^+ \% = \left(\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \right) \times 100 \quad (۳-۴)$$

غلظت یون‌ها در فرمول فوق (۳-۴) بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر است. جدول (۴-۵) نیز رده‌بندی آب آبیاری را از نظر درصد سدیم نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵- رده‌بندی آب آبیاری برحسب درصد سدیم

محدوده	رده
< ۲۰	عالی
۲۰ - ۴۰	خوب
۴۰ - ۶۰	مجاز
۶۰ - ۸۰	مشکوک
> ۸۰	نامناسب

بر اساس نتایج بدست آمده برای نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای، نمونه‌های S1، S2، S5 و S15 در رده بین ۲۰-۴۰ قرار می‌گیرند، به عبارت بهتر این نمونه‌ها، در رده مجاز قرار می‌گیرند و بقیه نمونه‌ها نیز در رده کمتر از ۲۰ یا رده خوب قرار دارند. به طور کلی می‌توان گفت که همه نمونه‌ها از نظر درصد سدیم، قابل قبول برای آبیاری هستند.

۴-۱۰- سختی کل (TH)

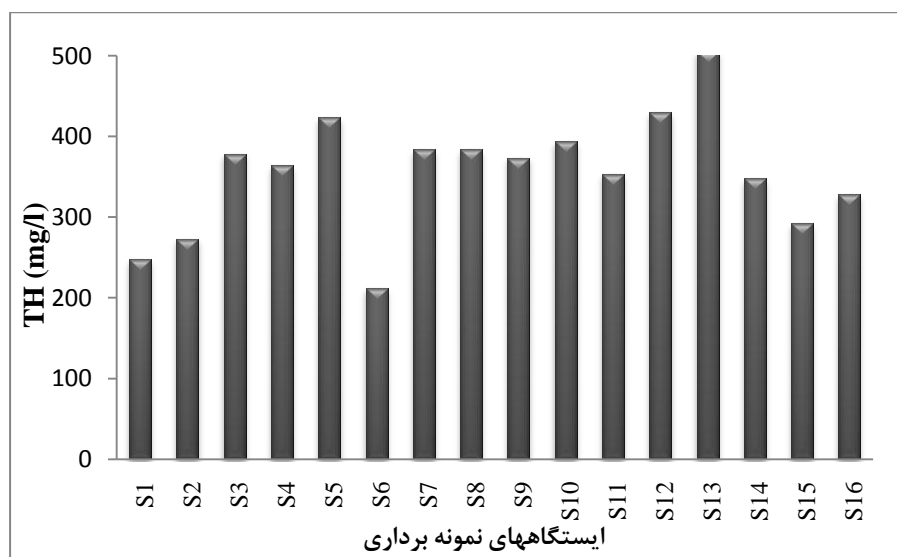
سختی کل مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم است. سختی آب شامل دو نوع سختی دائم یا سختی غیرکربناته (Noncarbonated Hardness) و سختی موقت یا سختی کربناته (carbonated Hardness) است (Hounslow, 1995). سختی بر حسب CaCO_3 و در ۴ رده نرم، متوسط، سخت و بسیار سخت بیان می‌شود (جدول ۴-۶).

$$\text{TH}(\text{mg/l}) = 2.497\text{Ca}^{2+} + 4.115\text{Mg}^{2+} \quad (۴-۶)$$

جدول ۴-۶- طبقه‌بندی آب بر اساس سختی

محدوده	سختی (میلی‌گرم بر لیتر بر حسب CaCO_3)
<۷۵	نرم
۷۵-۱۵۰	متوسط
۱۵۰-۳۰۰	سخت
>۳۰۰	بسیار سخت

اگرچه سختی تأثیر بسیار جدی بر سلامت انسان ندارد، اما باعث ایجاد رسوب در ظروف خانگی و تأثیرهای مختلفی بر روی انواع شوینده‌ها دارد. همانطور که در شکل (۴-۱۷) مشاهده می‌شود، نمونه‌های S1، S2، S6 و S15 آب رودخانه چهل چای در رده سخت و بقیه نمونه‌ها در رده بسیار سخت قرار می‌گیرند، از دلایل اصلی بالا بودن سختی منطقه مورد مطالعه، وجود سازند آهکی روته و خوش‌بیلاق، چمن‌بید و یا به عبارت بهتر انحلال کانیهای کربناته (آهک و دولومیت) است و بالا رفتن سختی کل آب نمونه‌های رودخانه چهل چای در محدوده شهرمینودشت، احتمالاً در اثر ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی به این بخش از رودخانه است.



شکل ۴-۱۷- تغییرات میزان سختی کل در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه

فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب)

همانطور که گفته شد سختی کل، مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم می‌باشد. و به علت اینکه میزان یون‌های منیزیم (شکل ۴-۸) و کلسیم (شکل ۴-۷) در محدوده شهر مینودشت و تحت تأثیر فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری این شهر افزایش یافته است، این افزایش میزان سختی کل در محدوده شهر، قابل توجیه می‌باشد.

۴-۱۱- تحلیل آماری داده‌ها

روشهای آماری مانند آنالیزهای تک متغیره و چند متغیره، کاربردهای گسترده‌ای در مطالعات هیدروشیمیایی آبهای سطحی دارند. از این روشها می‌توان برای ارزیابی منشأ احتمالی عناصر، تعیین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب فرآیندهای اصلی کنترل کننده آن استفاده کرد. در این مطالعه از روش آماری تحلیل همبستگی (Correlation Coefficient Analysis) استفاده شد.

۴-۱۱-۱- تحلیل همبستگی

ضرایب همبستگی برای تعیین منشأ احتمالی عناصر و بررسی روابط هیدروژئوشیمیایی بین عناصر، استفاده می‌شود. در این مطالعه برای تعیین همبستگی داده‌ها، از روش همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۴-۷).

جدول ۴-۷- ضرایب همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب مورد

مطالعه

	Ph	EC	TDS	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
Ph	۱										
EC	-۰/۰۹۲	۱									
TDS	-۰/۰۸۶	۱/۰۰۰**	۱								
K ⁺	-۰/۵۴۰*	۰/۵۹۷*	۰/۵۹۵*	۱							
Na ⁺	۰/۰۴۳	۰/۶۸۱**	۰/۶۷۷**	۰/۲۳۸	۱						
Ca ²⁺	-۰/۳۶۴	۰/۸۳۸**	۰/۸۳۶**	۰/۵۰۴*	۰/۴۲۸	۱					
Mg ²⁺	۰/۱۹۱	۰/۸۱۴**	۰/۸۱۸**	۰/۵۷۲*	۰/۳۵۷	۰/۴۸۸	۱				
SO ₄ ²⁻	۰/۲۵۷	۰/۸۷۶**	۰/۸۷۸**	۰/۳۳۳	۰/۶۲۸**	۰/۶۳۹**	۰/۸۰۶**	۱			
HCO ₃ ⁻	-۰/۶۶۷**	۰/۴۹۸*	۰/۴۹۴	۰/۸۳۳**	۰/۰۷۷	۰/۵۸۹*	۰/۵۹۵*	۰/۱۲۹	۱		
Cl ⁻	۰/۲۳۰	۰/۸۴۶**	۰/۸۴۵**	۰/۲۰۷	۰/۸۴۹**	۰/۶۴۱**	۰/۶۰۹*	۰/۸۸۵**	۰/۰۴۳	۱	
NO ₃ ⁻	-۰/۵۳۲*	۰/۵۰۱*	۰/۴۹۸*	۰/۴۵۰	۰/۱۲۷	۰/۶۳۸**	۰/۲۸۹	۰/۲۳۷	۰/۶۹۷**	۰/۱۵۵	۱

**ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

*ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

همانطور که مشاهده می‌شود، بین پارامتر pH و غلظت برخی یون‌های اصلی (مانند Ca²⁺، K⁺، NO₃⁻ و

HCO₃⁻) رابطه منفی مشاهده می‌شود، افزایش pH باعث کاهش انحلال‌پذیری یون‌ها و نیز کاهش

غلظت آنها در آب می شود، و همبستگی منفی بین pH و برخی از یون‌ها احتمالاً به علت این مسئله است. pH همچنین همبستگی بالا و منفی (-0.092) با EC نشان می‌دهد، معمولاً با افزایش pH، میزان انحلال‌پذیری یون‌ها کاسته شده و این عامل باعث کاهش میزان هدایت الکتریکی آب می‌شود. pH نیز همبستگی بالا و منفی (-0.532) با NO_3^- نشان می‌دهد که نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانزاد (فاضلاب شهر مینودشت) است، که باعث کاهش pH و افزایش نیترات شده است. همبستگی مثبت و معناداری بین یون‌های بی‌کربنات و کلسیم وجود دارد که هم منشأ بودن آنها از سازندهای کربناته را نشان می‌دهد. همبستگی مثبت و معناداری بین یون‌های منیزیم و بی‌کربنات نشان دهنده منشأ یکسان و انحلال دولومیت در آب رودخانه است.

۴-۱۲- بررسی غلظت برخی از فلزات سنگین در نمونه های آب رودخانه چهل چای

فلزات سنگین به طور طبیعی و به مقدار بسیار کم در اکوسیستم‌های آبی یافت می‌شوند و به علت پایداری و عدم تجزیه در حین فرآیندهای بیولوژیکی، از جمله آلاینده‌ها با اهمیت تلقی می‌شوند (سرتاج و همکاران، ۱۳۸۴). فلزات سنگین به دو طریق طبیعی و انسانزاد وارد سیستم رودخانه‌ها می‌شوند. معمولاً محیط‌هایی که تحت تأثیر آلودگی قرار نگرفته‌اند، غلظت فلزات در آنها بسیار کم است، عمدتاً در اثر فرآیندهای طبیعی از قبیل انحلال سنگها حاصل شده‌اند. منابع اصلی ورود فلزات به رودخانه‌ها، فعالیت‌های انسانزاد مانند معدنکاری، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب و رواناب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی است (Islam et al., 2015). رفتار فلزات در آب‌های طبیعی به طور کلی تابع شیمی آب، وجود مواد جذب کننده (مانند کانیه‌های رسی و هیدروکسید در رسوبات) و فرآیندهای ژئوشیمیایی مانند اکسیداسیون-احیاء، جذب- و اجذب و انحلال-ته‌نشینی است. در طول رودخانه چهل چای به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی و عبور این رودخانه از مناطق شهری و تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری و زهکش‌های کشاورزی انتظار آلودگی فلزی آب وجود داشت و به همین علت غلظت برخی فلزات در آب رودخانه اندازه‌گیری گردید که در جدول (۴-۸) نتایج آن آورده شده است.

فصل چهارم: بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای و عوامل موثر بر آن

جدول ۴-۸- غلظت برخی فلزات سنگین در نمونه‌های آب مورد مطالعه (غلظت‌ها بر حسب میکروگرم بر لیتر)

ایستگاه	Mn	Cu	Pb	Cr
S1	BDL	۱۰/۳۴	BDL	۷/۱۵
S2	۱۸	۷/۴۹	BDL	۶/۹۸
S3	BDL	BDL	BDL	۵/۱۰
S4	BDL	۷/۴۱	BDL	۴/۲۳
S5	BDL	۴/۸۵	BDL	۶/۷۹
S6	BDL	BDL	BDL	۱۳/۸۹
S7	BDL	BDL	BDL	۱۰/۷۱
S8	BDL	BDL	BDL	۱۰/۴۷
S9	BDL	BDL	BDL	۱۱/۵۱
S10	BDL	BDL	BDL	۲۵/۹۲
S11	BDL	BDL	BDL	۰/۹۵
S12	۱۱۹	۶/۶۱	BDL	۴۶/۴۹
S13	۲۱	BDL	BDL	۲۹/۶۲
S14	BDL	BDL	BDL	۱۰/۲۰
S15	BDL	BDL	BDL	۵/۹۸
S16	BDL	BDL	BDL	۳/۹۸

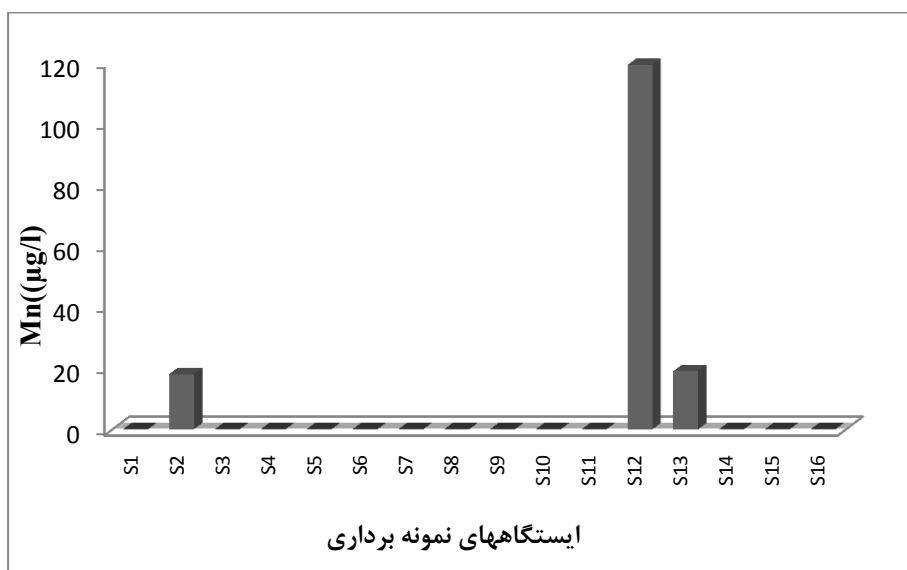
BDL: Below Detection Limit

▪ سرب (Pb)

سرب یک عنصر مضر، سمی و سنگین در محیط زیست است، که در اثر احتراق سوخت وسایل نقلیه، صنایع باتری سازی، معدنکاری، و حشره‌کش‌ها وارد محیط‌های آبگین می‌شود (Tong et al., 2000). سرب در محیط‌های آبی و در pHهای قلیایی تا خنثی ته‌نشین شده و یا جذب کانیهای رسی و هیدروکسیدهای آهن و به این علت غلظت آن در آب رودخانه چهل چای که دارای pH قلیایی است بسیار کمتر از ۲/۵ میکروگرم بر لیتر (حد آشکارسازی دستگاه) است.

▪ منگنز (Mn)

غلظت منگنز برای اکثر نمونه‌های آب رودخانه چهل چای کمتر از حد آشکارسازی دستگاه (۱۵ میکروگرم بر لیتر) بدست آمد (شکل ۴-۱۸). سازمان بهداشت جهانی WHO، حداکثر غلظت مجاز منگنز برای آب آشامیدنی را ۴۰۰ میکروگرم بر لیتر بیان کرده است.

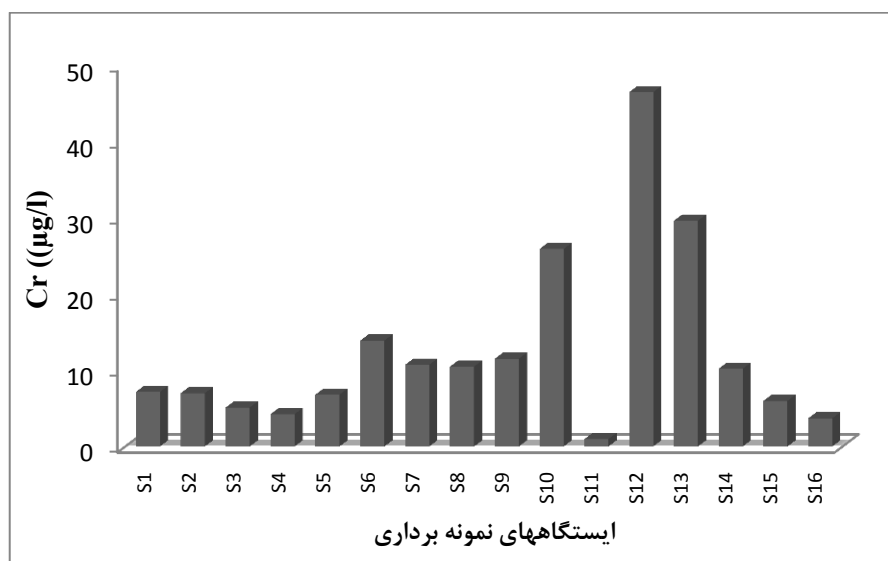


شکل ۴-۱۸- تغییرات غلظت فلز منگنز در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

با توجه به شکل (۴-۱۸)، غلظت منگنز در تمام نمونه‌های رودخانه چهل چای پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده برای آشامیدن است. بالاترین غلظت منگنز مربوط به ایستگاه S12 می‌باشد، که این ایستگاه در محدوده شهر مینودشت و محل تخلیه فاضلاب شهری است. منگنز در شرایط اکسیداسیون بصورت Mn^{4+} و نامحلول در آب است، در حالی که در شرایط احیایی به شکل Mn^{2+} بوده و انحلال پذیر در آب است (Laxen et al., 1984).

▪ کروم (Cr)

فعالیت‌های انسانزاد از جمله دباغی، استخراج معادن، ذوب کانسنگ‌ها، فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های کشاورزی و صنعتی و تولید قطعات الکترونیک می‌توانند از منابع ورود کروم به داخل آب‌های سطحی باشند (Di Dong et al., 2013). عنصر کروم بصورت Cr^{3+} پایدارترین شکل کروم در طبیعت است در محدوده pH ۷ تا ۱۱ کروم بصورت ترکیبات انحلال‌ناپذیر در می‌آید (Chrysochoou et al., 2012). غلظت کروم در نمونه‌های آب مورد مطالعه بین ۰/۹۸۵ تا ۴۶/۴۹۷ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌کند (۴-۱۹).



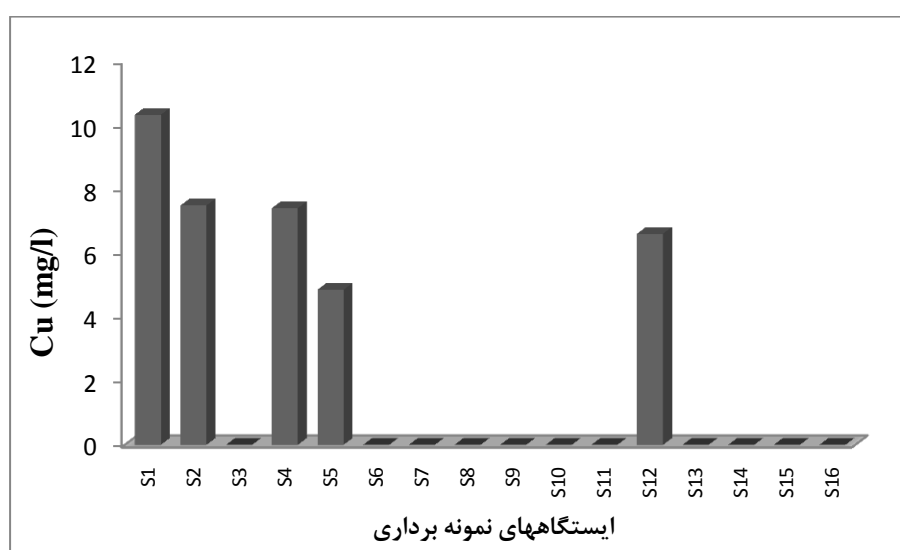
شکل ۴-۱۹- تغییرات غلظت فلز کروم در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) حد مجاز کروم برای آب آشامیدنی را ۵۰ میکروگرم بر لیتر بیان کرده است، که غلظت کروم برای تمام نمونه‌های آب مورد مطالعه پایین تر از این حد است. عنصر کروم انحلال پذیری کمی در آبهای طبیعی دارد و در شرایط قلیایی توسط کانیه‌های رسی و مواد آلی در رسوبات جذب می‌شود (Bradl., 2005). با توجه به pH نمونه‌های آب مورد مطالعه غلظت پایین کروم در این قابل توجه است. بیشترین غلظت کروم برای نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به ایستگاه S12 و سپس ایستگاه S13 می‌باشد که این ایستگاه‌ها محل تخلیه فاضلاب شهری می‌باشد.

▪ مس (Cu)

فلز مس از جمله عناصر ریزمغذی مورد نیاز موجودات زنده است (Sonmez et al., 2010). از منابع ورود مس به محیط‌های آبی می‌توان به فعالیت‌های معدنکاری، کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و خانگی و پساب‌های صنایع اشاره کرد (Selinus and Alloway., 2005). غلظت فلز مس در نمونه‌های آب مورد مطالعه از کمتر از حد آشکار سازی دستگاه (۱ میکروگرم بر لیتر) تا ۱۰/۳۴ میکروگرم بر لیتر متغیر است (شکل ۴-۲۰). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) بالاترین غلظت مجاز مس برای

آب آشامیدنی را ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر توصیه نموده است، که غلظت این فلز در تمامی نمونه‌های آب مورد مطالعه کمتر از این حد است. همانطور که در شکل (۴-۲۰) مشاهده می‌شود، بالاترین غلظت مس در ایستگاه اول رودخانه وجود دارد که علت آن را می‌توان به ورود روانابهای حاوی آفت‌کش دارای ترکیبات مس به‌ویژه سولفات مس به داخل رودخانه دانست. سپس در ادامه مسیر رودخانه، غلظت فلز مس کاهش یافته و با ورود رودخانه به داخل شهر و تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری شهر مینودشت، غلظت آن یکبار دیگر افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۲۰- تغییرات غلظت فلز مس در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۱۳- شاخص‌های آلودگی فلزی

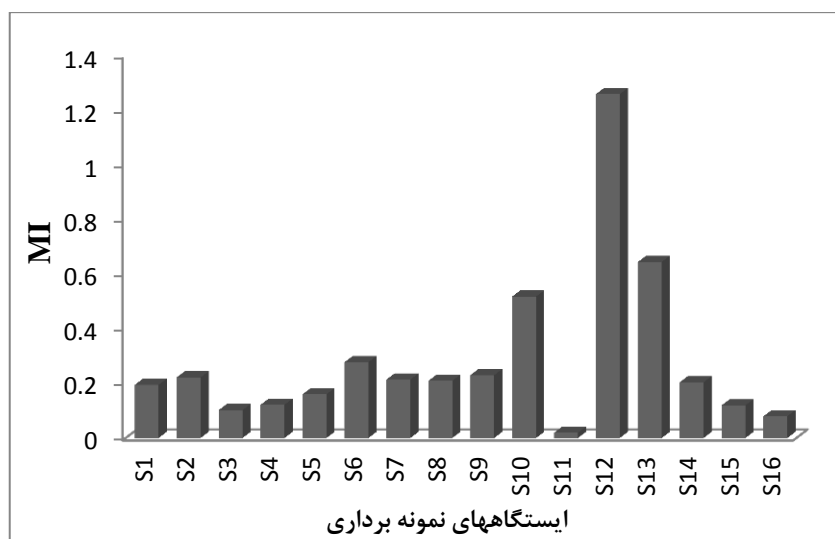
در این پژوهش، جهت ارزیابی و تعیین میزان آلودگی فلزی در آب رودخانه چهل چای، از شاخص فلزی (Metal Index) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy metal Pollution Index) استفاده شد.

۴-۱۳-۱- شاخص فلزی (MI)

این شاخص فلزی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Tijani, 2009):

$$MI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{X_0} \right) \quad (۴-۵)$$

در رابطه فوق، MI شاخص فلزی، X_i غلظت فلزات اندازه گیری شده و X_0 غلظت مجاز فلز مورد نظر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) است. اگر مقادیر بدست آمده برای MI بیشتر از یک باشد، نمونه مورد مطالعه نسبت به فلز مورد نظر آلوده است و اگر MI کمتر از یک باشد، نمونه غیرآلوده و در صورتی که MI برابر با یک باشد، آب مورد مطالعه در حد آستانه خطر آلودگی به فلز سنگین قرار دارد. در شکل (۴-۲۱) شاخص فلزی برای نمونه های مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، تمام نمونه های آب مورد مطالعه به جز ایستگاه S12، براساس شاخص فلزی غیرآلوده اند. بالاترین مقدار این شاخص مربوط به ایستگاه S12 است، که در محدوده شهر مینودشت و در محل تخلیه فاضلاب های شهری قرار دارد.



شکل ۴-۲۱- تغییرات شاخص فلزی در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه های شاخه فرعی)، (S12 و S13)

نمونه های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۱۳-۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

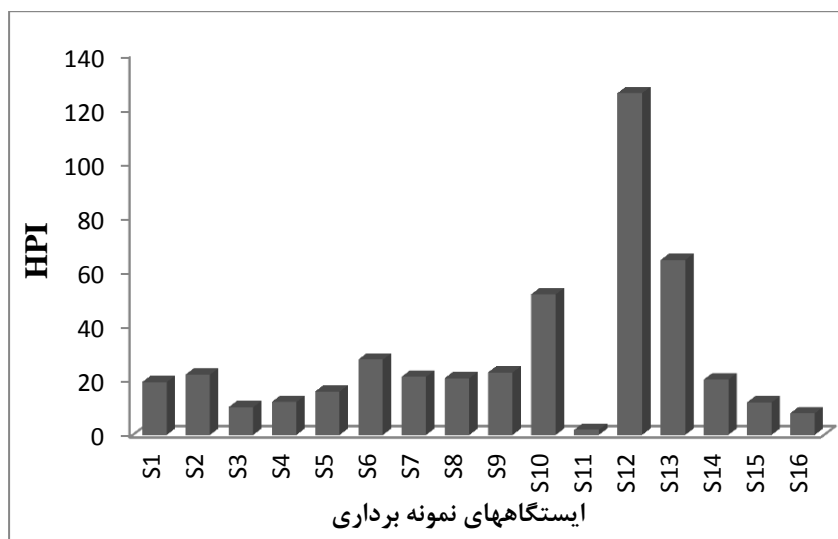
این شاخص تأثیر فلزات سنگین بر کیفیت کلی آب از نظر خطر آن برای سلامتی را نشان می دهد و از رابطه زیر محاسبه می شود (Monhan et al., 1996):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (۴-۶)$$

$$W_i = \frac{k}{S_i} \quad (۴-۷)$$

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{|V_i - I_i|}{(S_i - I_i)} \quad (۴-۸)$$

W_i نسبت وزنی مولفه I_i که در این رابطه از فرمول Q_i نرخ کیفی مولفه I_i می‌باشد. این پارامترها از فرمولهای زیر قابل محاسبه هستند. در این روابط، K ثابت تناسب، V_i غلظت مولفه I_i و S_i مقدار استاندارد مولفه I_i (WHO, 2008) می‌باشد. در این رابطه، اگر $HPI > 100$ باشد، نمونه آب به عنوان آب آلوده به فلزات سنگین شناخته می‌شوند و اگر $HPI = 100$ باشد، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین و در صورتی که $HPI < 100$ باشد، نمونه‌های آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین هستند. شاخص آلودگی فلزات، برای نمونه‌های آب مورد در شکل (۴-۲۲) نشان داده شده است



شکل ۴-۲۲- تغییرات شاخص آلودگی فلزات سنگین در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۱۴- ارزیابی پارامترهای مربوط به آلودگی بیولوژیکی آب رودخانه چهل چای

عوامل اصلی آلوده‌کننده آب رودخانه‌ها از نظر بیولوژیکی، تخلیه فاضلاب‌های شهری و خانگی، ورود

پساب‌های کشاورزی و فاضلاب دامداری‌ها و تخلیه پساب صنایع شیمیایی آلی به داخل آب رودخانه است (مغربی و همکاران، ۱۳۸۷). پارامترهای بیولوژیکی مورد استفاده در بررسی کیفیت آب معمولاً شامل، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن خواهی زیستی (BOD)، اکسیژن حل شده (DO) و باکتری‌های کلی‌فرم (کلی‌فرم مدفوعی و کل) است. این پارامترها در این مطالعه اندازه‌گیری شده، که میزان آنها در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در طول رودخانه چهل چای در جدول (۴-۹) آورده شده است.

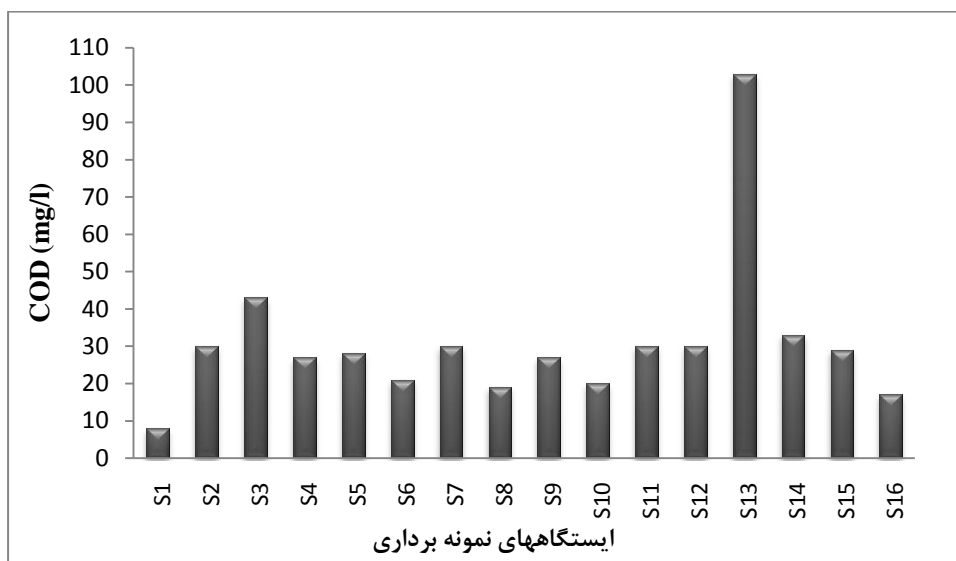
جدول ۴-۹- مقادیر پارامترهای COD، BOD و DO در نمونه‌های آب رودخانه چهل چای (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

ایستگاه	COD	BOD	DO
S1	۸	۴/۳	۶/۰۴
S2	۳۰	۱۸	۴/۹۵
S3	۴۳	۲۵/۸	۶/۷۶
S4	۲۷	۱۶/۲	۵/۴۱
S5	۲۸	۱۶/۸	۵/۹۹
S6	۲۱	۱۲/۶	۷/۲۴
S7	۳۰	۱۷/۴	۶/۲
S8	۱۹	۱۰/۸	۵/۲۷
S9	۲۷	۱۶/۲	۵/۷۳
S10	۲۰	۱۲	۵/۴۲
S11	۳۰	۱۸	۶/۶۸
S12	۳۰	۱۹/۳	۵/۴۸
S13	۱۰۳	۶۱/۸	۳/۱۴
S14	۳۳	۱۹/۸	۶/۳۱
S15	۲۹	۱۷/۴	۶/۲
S16	۱۷	۱۰/۲	۶/۳۵

۴-۱۴-۱- اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)

اکسیژن خواهی شیمیایی در واقع مقدار اکسیژن لازم برای اکسیداسیون مواد آلی موجود در آب است. COD می‌تواند معرف ناخاصی‌های آلی موجود در نمونه آب باشد. این پارامتر به طور غیرمستقیم مقدار ماده آلی موجود در آب را نشان می‌دهد (Domini et al., 2009). میزان COD نمونه‌های آب

مورد مطالعه از ۱۷ تا ۱۰۳ میلی گرم بر لیتر تغییر می کند. (شکل ۴-۲۳). سازمان استاندارد جهانی (WHO, 2006) غلظت بالاتر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر COD را نشانه آلودگی آب بیان کرده است. همانطور که مشاهده می شود، تمام نمونه های آب مورد به جز ایستگاه S1 از نظر میزان COD آلوده محسوب می شوند. بالاترین میزان آن مربوط به ایستگاه S13 می باشد، که این ایستگاه محل تخلیه فاضلاب های خانگی و شهری شهر مینودشت است.

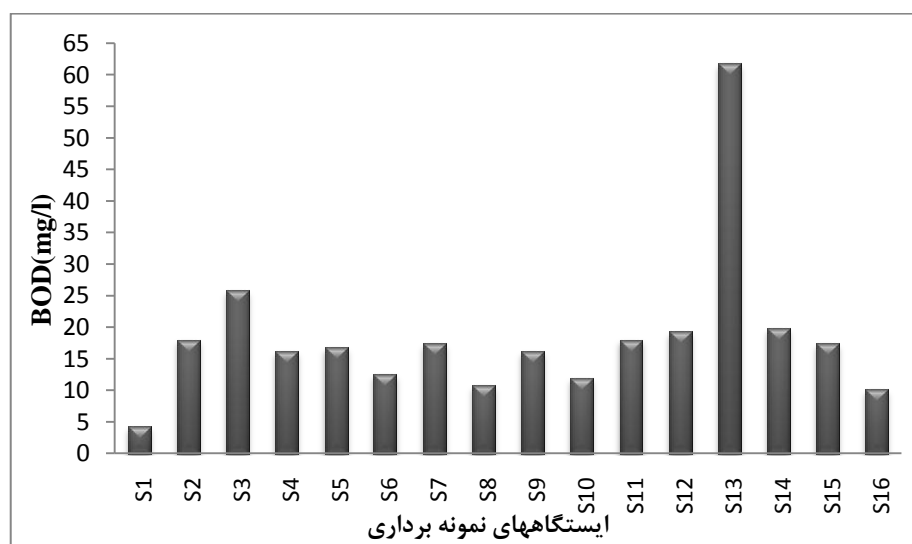


شکل ۴-۲۳- تغییرات میزان COD نمونه های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۱۴-۲- اکسیژن خواهی زیستی (BOD_5^{20})

اکسیژن خواهی زیستی یک نمونه آب، در واقع میزان اکسیژن مصرف شده توسط باکتری های هوازی برای تجزیه مواد آلی است و اندازه گیری آن می تواند کیفیت آب را از نظر وجود مواد آلی مشخص سازد (حاجیان نژاد و رهسپار، ۱۳۸۹). میزان اکسیژن خواهی زیستی نمونه های آب رودخانه چهل چای از ۴/۳ تا ۶۱/۸ میلی گرم بر لیتر تغییر می کند (شکل ۴-۲۴). طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2006)، حداکثر میزان مجاز BOD برای آب، ۵ میلی گرم بر لیتر است و بالاتر از آن آب آلوده محسوب می شود. همانطور که مشاهده می شود تمام نمونه های مورد مطالعه به جز نمونه S1 دارای

مقادیر بالاتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر BOD هستند و در نتیجه آلوده به حساب می‌آیند. بالاترین مقدار اندازه‌گیری شده مجدداً مربوط به ایستگاه شماره S13 است که این ایستگاه در داخل شهر مینودشت و محل تخلیه فاضلاب‌های خانگی و شهری قرار دارد. ارینزو و همکاران (Arienzo et al., 2000)، تأثیر فعالیت‌های انسانی از جمله رواناب‌های شهری را بر روی رودخانه سارنو (Sarno) در جنوب غرب کشور ایتالیا مورد بررسی قرار دادند و به این نتایج دست یافتند که میزان BOD5 و COD در این رودخانه، دو تا پنج برابر بالاتر از استانداردهای جهانی است، که علت آن تخلیه فاضلاب و رواناب‌های شهری است.

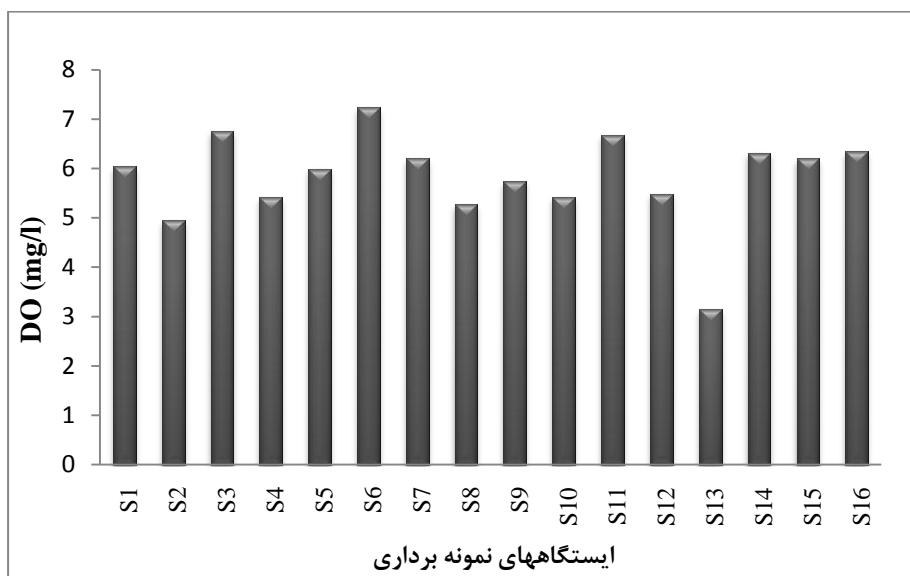


شکل ۴-۲۴- تغییرات میزان BOD نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل‌چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12) و S13 نمونه‌های فاضلاب) و S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۱۴-۳- میزان اکسیژن حل شده (DO)

میزان اکسیژن حل شده در آب یکی از شاخص‌های سنجش سلامت رودخانه از نظر زیستی و آلی است. در شرایط نامساعد از نظر DO علایمی مانند شناور شدن لجن، خروج حباب‌های گاز از آب، انتشار بوی نامطبوع و لزج شدن آب رخ می‌دهد. یکی از مشکلات تخلیه فاضلاب غنی از مواد آلی تجزیه‌پذیر به داخل رودخانه این است، که فاضلاب به مرور زمان باعث کاهش اکسیژن حل شده در آب

رودخانه شده و میزان اکسیژن خواهی (BOD) آب رودخانه را بالا می‌برد در آن شرایط بی‌هوایی ایجاد می‌کند، تحت این شرایط گازهایی مانند متان، هیدروژن و سولفور هیدروژن تشکیل شده و شرایط را برای زندگی موجودات زنده دشوار می‌سازد (Imbinosa and Okoh, 2009). میزان اکسیژن حل شده اندازه‌گیری شده در آب رودخانه چهل چای بین ۳/۱۴ تا ۷/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۴-۲۵). سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2006) غلظت استاندارد اکسیژن حل شده در آب، برای رشد ماهی‌ها و میکروارگانیسم‌ها را ۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است. کمترین میزان اکسیژن حل شده مربوط به ایستگاه S13 بوده که مقدار آن کمتر از این حد مجاز می‌باشد و در شرایط بحرانی قرار دارد که عامل اصلی آن ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی در نزدیکی این ایستگاه است.



شکل ۴-۲۵- تغییرات میزان DO در نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای (S3 و S6 نمونه‌های شاخه فرعی)، (S12 و S13 نمونه‌های فاضلاب) و (S14 نمونه رودخانه نرماب)

۴-۱۴-۴- کل باکتری های کلی فرمی و مدفوعی

عوامل اصلی آلودگی میکروبی آب رودخانه‌ها عمدتاً شامل، فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی است. فاضلاب‌های خانگی، شهری و فضولات انسانی، حیوانی حاوی میکروارگانیسم‌های متفاوتی بود که بسیاری از آنها جز عوامل بیماری زا هستند و این عوامل از طریق مدفوع جاندار وارد آب می‌شوند

(Chigor et al., 2013). باکتری‌های کلی‌فرم شامل طیف وسیعی از باکتری‌ها می‌باشند که به طور طبیعی در روده انسان‌ها و حیوان‌های خونگرم وجود دارند. استفاده مستقیم یا غیرمستقیم از آب رودخانه‌ای که دارای بار میکروبی فراوانی است، سلامت انسان و سایر موجودات را به شدت به خطر می‌اندازد (مغربی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج ارزیابی باکتریولوژیکی نمونه‌های آب مورد مطالعه در جدول (۴-۱۰) آورده شده است.

جدول ۴-۱۰- نتایج ارزیابی باکتریولوژیکی نمونه‌های مورد مطالعه (برحسب MPN/100ml)

ایستگاه	نتیجه میکروبیولوژی	کلی‌فرم مدفوعی	کلی‌فرم کل
S1	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	۲۳	۲۳
S2	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S3	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S4	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S5	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	۱۱۰۰	۱۱۰۰
S6	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	۱۱۰۰	۱۱۰۰
S7	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S8	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S9	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	۴۶۰	۴۶۰
S10	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S11	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S12	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S13	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S14	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S15	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰
S16	دارای آلودگی کلی‌فرمی و کلی‌فرم مدفوعی	>۱۱۰۰	>۱۰۰

همانطور که در جدول (۴-۱۰) مشاهده می‌شود، همه‌ی نمونه‌های آب رودخانه چهل چای دارای آلودگی میکروبی و یا کلی‌فرمی هستند که علت آن می‌تواند وجود زمین‌های کشاورزی و روستاهای متعدد در اطراف این رودخانه و همچنین ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های این روستاها و از طرفی ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی به داخل رودخانه باشد. کمترین مقدار آلودگی مربوط به

ایستگاه S1 می باشد که در بالاترین نقطه است و به علت تغذیه از روانابها و چشمه های با کیفیت آب مناسب تر آلودگی آن کمتر است

۴-۱۵- ارزیابی کیفیت آب رودخانه چهل چای بر اساس شاخص های کیفیت آب (WQI)

شاخص های کیفیت آب (Water Quality Index)، ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت کیفی و کمی آب هستند، این شاخص ها، با استفاده از روش های ریاضی، حجم زیادی از اطلاعات حاصل از اندازه گیری های کیفی را بصورت یک عدد منفرد و بدون واحد درآورده که این عدد، دارای مفهوم و تفسیر کیفی است (Bharti and Katyal, 2011). دو فرم اصلی و ابتدایی برای این شاخص ها وجود دارد، گروه اول، شاخص های آلودگی می باشند که با افزایش آلودگی، عدد شاخص نیز افزایش می یابد، مانند شاخص بریتیش کلمبیا^۱ (BCWQI) و گروه دوم، شاخص های کیفی هستند که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها کاهش می یابد مانند شاخص موسسه بهداشت ملی آمریکا و شاخص اورگان (NSFWQI^۳، OWQI^۲). (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۸).

۴-۱۵-۱- شاخص کیفی موسسه بهداشت ملی آمریکا (NSFWQI)

هورتون در سال ۱۹۶۵ (Horton, 1965)، شاخص کیفی آبی را ارائه داد که صرف نظر از نوع کاربرد آن، با وزن دهی چند پارامتر صورت می گیرد، این روش در سال ۱۹۷۰ توسط موسسه ملی بهداشت آمریکا توسعه داده شد و مورد استفاده قرار گرفت (Lermontov et al., 2009). این شاخص با کمی کردن نتایج، به بررسی کیفیت آب کمک خواهد کرد و بر اساس وزن دهی ۹ پارامترکه عبارتند از: اکسیژن حل شده، باکتری های کلی فرم مدفوعی، pH، اکسیژن خواهی زیستی، نیترات، فسفات، دما، کدورت و جامدات کل بیان می شود. پارامترهای ذکر شده برای این شاخص، دارای ارزش یکسانی نیستند و هرکدام با توجه به اهمیتی که در کیفیت آب دارند، دارای ضریب وزنی خاص خود نیز

1-British Colombia Water Quality Index

2-National Sanitation Foundation Water Quality Index

3-Organ Water Quality Index

هستند. مقدار این شاخص بر اساس منحنی رده‌بندی استاندارد، در محدوده بین صفر تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد. به طوری که مقدار ۱۰۰ آن نشان‌دهنده بهترین کیفیت آب و مقدار صفر آن نشان‌دهنده بدترین کیفیت آب می‌باشد (Mohebbi et al., 2013). مقدار شاخص موسسه ملی بهداشت امریکا، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$NSAWQI = \sum_{i=1}^n W_i \times L_i \quad (9-4)$$

در این رابطه، L_i زیر شاخص (Sub-index) برای پارامتر کیفی W_i ، ضریب وزنی زیر شاخص W_i و n تعداد پارامترها است. برای محاسبه این شاخص، ابتدا با استفاده از نمودارهای اختصاصی این شاخص، زیر شاخص هر پارامتر محاسبه می‌شود. سپس زیرشاخص پارامتر مورد نظر در فاکتور وزنی مربوط به آن پارامتر (جدول ۴-۱۱) ضرب شده تا زیر شاخص پارامتر مورد نظر بدست آید، در نهایت با استفاده از فرمول (۹-۴) شاخص نهایی NSFQI محاسبه می‌شود.

جدول ۴-۱۱- فاکتور وزنی مربوط به پارامترهای کیفی شاخص NSFQI

فاکتور وزنی	پارامتر کیفی
۰/۱۷	اکسیژن محلول
۰/۱۶	کلی فرم مدفوعی
۰/۱۱	pH
۰/۱۱	اکسیژن خواهی زیستی
۰/۱	نیترات
۰/۱	فسفات
۰/۱	درجه حرارت
۰/۰۸	کدورت
۰/۰۷	TS

مقدار پارامتر TS (جدول ۴-۱۲)، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Shin et al., 2012).

$$\text{Turbidity(NTU)} = 0.3645 \times \text{TSS(mg/l)} + 3.0211 \quad (۱۰-۴)$$

$$\text{TS} = \text{TDS} + \text{TSS} \quad (۱۱-۴)$$

در این رابطه، TDS کل مواد جامد محلول، TSS مواد جامد معلق و TS جامدات کل است.

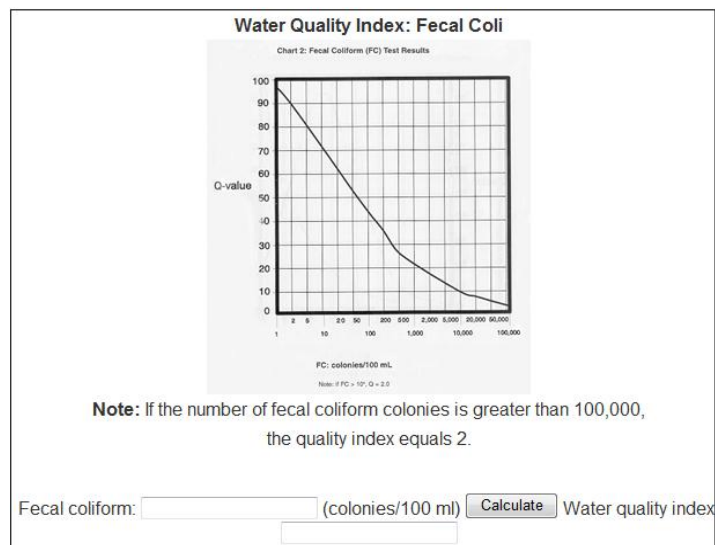
جدول ۴-۱۲- مقادیر پارامترهای استفاده شده در محاسبه شاخص NSFQI

ایستگاه	pH	T (°C)	Turb (NTU)	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TS (mg/l)	Coliform (N/100ml)
S1	۶/۶۹	۱۲/۲	۳/۷	۷۶	۲/۲۳	۶/۰۴	۴/۳	۴۰۵/۱۲	۲۳
S2	۷/۳۵	۱۵/۹	۸/۳	۵۵	۲/۲۲	۴/۹۵	۱۸	۴۸۸/۷۵	>۱۱۰۰
S3	۷/۹۸	۱۳/۲	۱۰/۲	۵۱	۳/۲۷	۶/۷۶	۲۵/۸	۱۰۲۹/۹۷	>۱۱۰۰
S4	۷/۸۴	۱۳/۶	۵/۳	۶۴	۲/۶۴	۵/۴۱	۱۶/۲	۶۶۱/۳۲	>۱۱۰۰
S5	۷/۹۳	۱۴/۶	۶	۶۰	۲/۷۷	۵/۹۹	۱۶/۸	۷۴۸/۷۳	۱۱۰۰
S6	۷/۶	۱۴/۶	۵/۴	۶۳	۲/۵۸	۷/۲۴	۱۲/۶	۲۹۷/۷۱	۱۱۰۰
S7	۷/۸	۱۳/۹	۵/۵	۶۳	۳/۸۲	۶/۲	۱۷/۴	۶۱۲/۷۸	>۱۱۰۰
S8	۷/۷۶	۱۳/۱	۷/۴	۵۷	۳/۵۳	۵/۲۷	۱۰/۸	۵۵۲/۴۷	>۱۱۰۰
S9	۷/۸	۱۳/۱	۸	۵۶	۲/۷۶	۵/۷۳	۱۶/۲	۵۴۲	۴۶۰
S10	۷/۹	۱۳/۶	۸/۶	۵۴	۳	۵/۴۲	۱۲	۵۳۶/۸۲	>۱۱۰۰
S11	۷/۸	۱۳/۳	۴/۴	۶۸	۲/۸۵	۶/۶۸	۱۸	۵۸۹/۸۸	>۱۱۰۰
S12	۷/۵۹	۱۴/۸	۷/۸	۵۶	۳/۵۶	۵/۴۸	۱۹/۳	۵۰۹/۰۳	>۱۱۰۰
S13	۶/۹	۱۵/۵	۱۵/۳	۴۳	۵/۷۲	۳/۱۴	۶۱/۸	۵۸۹/۸۸	>۱۱۰۰
S14	۷/۹۲	۱۳/۹	۴/۷	۶۷	۳/۷۱	۶/۳۱	۱۹/۸	۶۳۱/۵۳	>۱۱۰۰
S15	۷/۹	۱۳/۸	۵	۶۵	۲/۸۷	۶/۲	۱۷/۴	۶۰۵/۲۲	>۱۱۰۰
S16	۷/۸	۱۴	۳/۴	۸۲	۲/۵۵	۶/۳۵	۱۰/۲	۶۰۲/۵	>۱۱۰۰

با استفاده از نرم افزار Water quality index شکل (۴-۲۶) زیر شاخص آم برای هر پارامتر محاسبه

گردید (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۷). که در جدول (۴-۱۳) ارائه شده است.

فصل چهارم: بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای و عوامل موثر بر آن



شکل ۴-۲۶- نمونه ای از نرم افزار محاسبه زیر شاخص‌ها

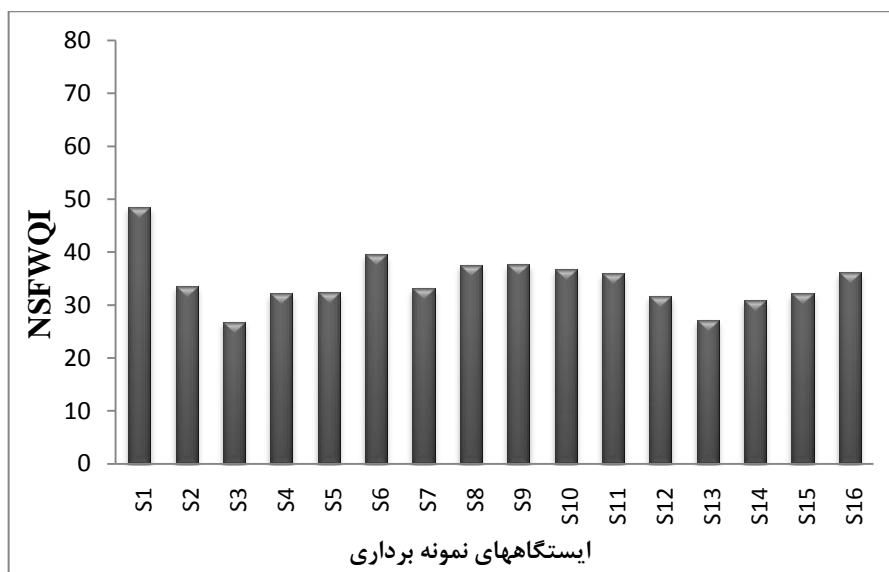
جدول ۴-۱۳- محاسبه زیر شاخص آم برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب رودخانه چهل چای

NSFWQI	Coliform (N/100ml)	TS (mg/l)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	PO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Turb (NTU)	T (°C)	pH	ایستگاه
۴۸/۴۹	۶۲	۴۶	۵۹	۵	۲۶	۷۶	۶۹	۳۶	۷۹	S1
۳۳/۴۴	۲۲	۳۳	۱۴	۴	۲۶	۵۵	۵۲	۲۹	۹۳	S2
۲۶/۷۹	۲۲	۲۰	۷	۵	۲۰	۵۱	۵	۳۴	۸۵	S3
۳۲/۱۸	۲۲	۲۰	۱۸	۵	۲۳	۶۴	۳۳	۳۳	۸۹	S4
۳۲/۴۱	۲۲	۲۰	۱۶	۵	۲۳	۶۰	۴۹	۳۲	۸۶	S5
۳۹/۴۶	۲۲	۶۰	۲۶	۶	۲۴	۶۳	۷۳	۳۲	۹۲	S6
۳۳/۱۲	۲۲	۲۰	۱۵	۵	۱۸	۶۳	۵۵	۳۳	۹۰	S7
۳۷/۵۲	۲۲	۲۰	۳۱	۵	۱۹	۵۷	۹۳	۳۴	۹۰	S8
۳۷/۶۷	۲۹	۲۰	۱۸	۵	۲۳	۵۶	۹۵	۳۴	۹۰	S9
۳۶/۸۲	۲۲	۲۰	۲۸	۵	۲۱	۵۴	۹۵	۳۳	۸۷	S10
۳۵/۹۳	۲۲	۲۰	۱۴	۵	۲۲	۶۸	۷۹	۳۴	۹۰	S11
۳۱/۶۸	۲۲	۲۰	۱۳	۵	۱۹	۵۶	۴۷	۳۱	۹۲	S12
۲۷/۱۳	۲۲	۲۰	۵	۴	۱۱	۴۳	۳۹	۳۰	۸۶	S13
۳۰/۹۱	۲۲	۲۰	۱۲	۵	۱۸	۶۷	۳۲	۳۳	۸۶	S14
۳۲/۱۹	۲۲	۲۰	۱۵	۵	۲۲	۶۵	۴۰	۳۳	۸۷	S15
۳۶/۰۸	۲۲	۲۰	۳۳	۵	۲۴	۸۲	۳۶	۳۳	۹۰	S16

طبقه‌بندی کیفی و کمی نمونه‌های آب نیز براساس شاخص NSFQI در جدول (۴-۱۴) آورده شده است.

جدول ۴-۱۴- طبقه بندی کیفی آب براساس شاخص NSFQI

رنگ	توصیف کیفی آب	NSFWQI
قرمز	خیلی بد	۰-۲۵
نارنجی	بد	۲۶-۵۰
زرد	متوسط	۵۱-۷۰
سبز	خوب	۷۱-۹۰
آبی	خیلی خوب	۹۱-۱۰۰



شکل ۴-۲۷- تغییرات شاخص NSFQI محاسبه شده

همانطور که مشاهده می‌شود، همه نمونه‌های آب مورد مطالعه در رده بد قرار دارند. بالاترین کیفیت مربوط به نمونه ایستگاه S1 و بدترین کیفیت مربوط به نمونه ایستگاه S13 بوده که محل تخلیه فاضلاب شهری می‌باشد. رنجبر و همکاران (۱۳۹۰) کیفیت آب رودخانه مارون در شهر بهبان را براساس شاخص کیفی NSFQI مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که آب این

رودخانه طبق محاسبه این شاخص در رده متوسط قرار گرفته دارد و برای مصارف شرب مناسب است.

۴-۱۵-۲- شاخص کیفی اورگان (OWQI)

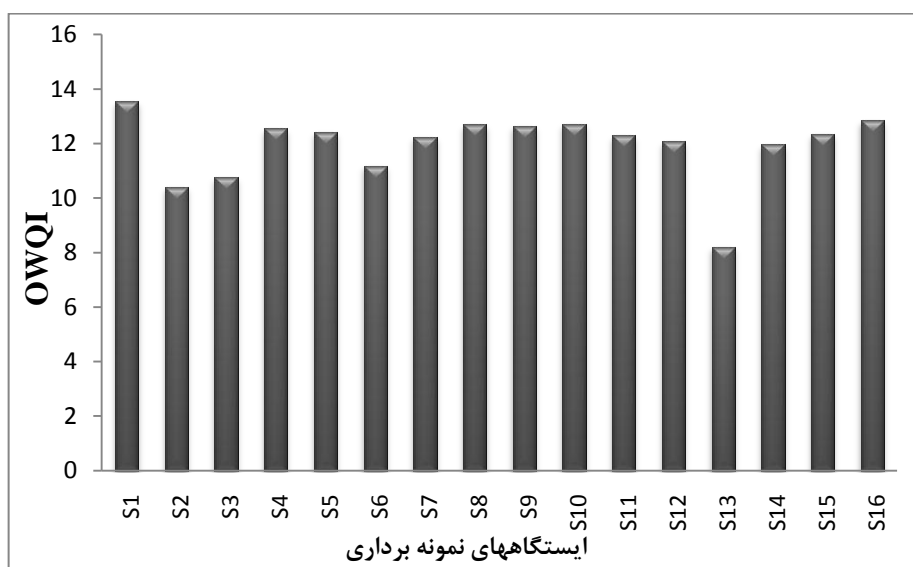
این شاخص کیفی در ایالت اورگان و در ابتدا توسط یک گروه بررسی کننده مسائل کیفی زیست-محیطی در سال ۱۹۷۹ برای ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ابداع گردید. این شاخص که بصورت یک شاخص کاهش است، برای ارزیابی کیفی آب برای مصارف تفریحی استفاده می‌شود. پارامترهای مورد استفاده در این شاخص شامل اکسیژن حل شده، باکتری‌های کلی فرم، pH، اکسیژن خواهی زیستی، نیتروژن، فسفرکل، درجه حرارت و جامدات کل می‌باشند (Bharti and Katyal, 2011). پارامترهای مورد استفاده در این شاخص، فاقد ضریب وزنی بوده و اثر یکسانی در محاسبه شاخص نهایی دارند. شاخص کیفی اورگان با استفاده از زیر محاسبه می‌شود (پیری، ۱۳۸۹).

$$OWQI = \frac{n}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (4-12)$$

در این رابطه، n تعداد زیر شاخص‌های استفاده شده و SI زیرشاخص پارامتر نام می‌باشد. طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص کیفی اورگان در جدول (۴-۱۵) آورده شده است.

جدول ۴-۱۵- رتبه بندی براساس شاخص OWQI

رتبه بندی	OWQI
خیلی بد	۰-۶۰
بد	۶۱-۷۹
متوسط	۸۰-۸۴
خوب	۸۵-۸۹
خیلی خوب	۹۰-۱۰۰



شکل ۴-۲۸- تغییرات شاخص OWQI برای نمونه‌های آب در طول رودخانه چهل چای

محاسبه این شاخص برای نمونه‌های آب مورد مطالعه (شکل ۴-۲۸) نشان می‌دهد که، همه نمونه‌های مورد مطالعه در رده خیلی بد قرار می‌گیرند. بالاترین کیفیت آب مربوط به ایستگاه S1 و بدترین کیفیت مربوط به ایستگاه S13 (داخل شهر مینودشت) است.

فصل پنجم:

نیج گیری و پیشهادها

۵-۱- ارزیابی کیفیت و آلودگی آب رودخانه چهل‌چای

رودخانه چهل‌چای یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه گرگانرود است. هدف از این پژوهش بررسی کیفیت آب این رودخانه از نظر پارامترهای هیدروشیمیایی و ارزیابی میزان آلودگی فلزی و بیولوژیکی در آن است. نتایج حاصل از این ارزیابی در قالب بخش‌های زیر به طور خلاصه آورده می‌شود:

۵-۱-۱- ارزیابی کیفیت هیدروشیمیایی آب رودخانه چهل‌چای

بر اساس اندازه‌گیری انجام شده، pH نمونه‌های آب مورد مطالعه از ۶/۹ تا ۷/۹۸ تغییر می‌کند، که در محدوده قلیایی تا خنثی قرار می‌گیرد و برای مصارف شرب و کشاورزی در محدوده مجاز قرار دارد. میزان pH در محدوده شهر، به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری کمی کاهش یافته است. میزان هدایت الکتریکی آب رودخانه چهل‌چای نیز، از ۴۳۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تا ۱۱۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه S13 بوده، که تأثیر تخلیه فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های شهری بر غلظت یون‌ها در آب رودخانه را نشان می‌دهد. روند تغییرات کاتیون‌ها در نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای بصورت $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > K^{+}$ و روند تغییرات آنیون‌ها بصورت $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > NO_3^{-}$ است. نتایج حاصل از ترسیم نمودار پایپر و استیف نشان داد که تیپ غالب نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه بی‌کربناته کلسیک است. که علت آن غالب بودن سازندهای آهکی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مطالعه سختی نمونه‌های آب نشان داد که ۲۵٪ نمونه‌ها در رده سخت و ۷۵٪ نمونه‌ها در رده بسیار سخت قرار دارند. وجود سازندهای کربناته (روته، خوش بیلاق و چمن بید)، علت این سختی بالا هستند. براساس نمودار ویلکاکس و درصد سدیم، آب رودخانه برای مصارف کشاورزی مناسب است. نتایج حاصل از شاخص اشباع‌شدگی نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای نیز مشخص ساخت، اکثر نمونه‌ها نسبت به کانیهای کلسیت، آراگونیت و دولومیت حالت نزدیک به اشباع دارند. که مؤید انحلال سازندهای آهک‌دار و دولومیت‌دار در منطقه است.

نمونه‌های آب مورد مطالعه نسبت به کانیه‌های سولفات‌های انیدریت، ژپس و هالیت تحت اشباع هستند. که عدم تأثیر آنها را بر کیفیت آب رودخانه نشان می‌دهد.

۵-۱-۲- ارزیابی آلودگی بیولوژیکی آب رودخانه چهل‌چای

مطالعات بیولوژیکی نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای نشان داد که تمام نمونه‌ها به جز نمونه S1 نسبت به COD و BOD آلودگی نشان می‌دهند. بالاترین مقدار آن مربوط به ایستگاه S13 بوده که محل تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری است. همچنین مشخص شد که همه نمونه‌های مورد مطالعه به جز S13 نسبت به DO شرایط مناسبی دارند. مطالعه میکروبی و اندازه‌گیری باکتری‌های کلی‌فرمی نیز نشان داد که تمام نمونه‌های مورد مطالعه دارای درجاتی از آلودگی میکروبی هستند. و در نهایت براساس محاسبه شاخص‌های کیفیت NSFQI و OWQI به ترتیب همه نمونه‌های مورد مطالعه در رده بد و خیلی بد قرار می‌گیرند.

۵-۱-۳- ارزیابی آلودگی فلزی در آب رودخانه چهل‌چای

غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب رودخانه چهل‌چای نسبت به استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) بررسی شد و نتایج بدست آمده نشان داد که غلظت فلزات سرب، منگنز، کروم و مس در آب رودخانه پایین بوده و در حد پایین‌تر از مقادیر مجاز WHO قرار دارند. با این حال اثر فعالیت‌های انسان‌زاد بر غلظت برخی از فلزات مانند مس تا حدی مشخص است. بر اساس محاسبه شاخص فلزی و شاخص آلودگی فلزات سنگین، همه نمونه‌های آب مورد مطالعه به جز ایستگاه S12 (داخل شهر مینودشت و تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری) فاقد آلودگی فلزی هستند.

۵-۲- پیشنهادها

انجام مطالعات و تحقیقات زیر در منطقه پیشنهاد می‌شود:

- ۱- ارزیابی آلودگی رسوبات رودخانه چهل‌چای به ویژه از نظر فلزات سنگین
 - ۲- ارزیابی اثرات کمی و کیفی دفع زباله‌های شهری بر کیفیت رسوب و آب رودخانه چهل‌چای
 - ۳- تعیین کمی سهم منابع آلاینده در آلودگی آب رودخانه چهل‌چای
- جهت بهبود کیفیت آب رودخانه و جلوگیری از افزایش آلودگی آب رودخانه، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- ۱- جمع‌آوری زباله‌های شهری از مسیر رودخانه و مدیریت فاضلاب‌های شهری
- ۲- مدیریت و نظارت بر چگونگی استفاده از منابع آب و کنترل منابع آلاینده
- ۳- پایش کیفی رودخانه و سرشاخه‌های آن به صورت سیستماتیک

منابع

منابع فارسی

بهمنی، ا.، گلابی، م.، برومند نسب، س.و.، (۱۳۸۷)، "مروری بر وضع موجود تخلیه پساب کشاورزی و شهری به رودخانه کارون و ارائه راهکارهای مدیریتی"، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.

پاکباز، ح.، پیرمردیان، م.، (۱۳۹۱)، "بررسی پیرامون کیفیت رواناب‌های ناشی از بارندگی در حوضه-ها"، اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبیگر باران، مشهد، ۸ص

تیموری، ع.، فرقانی، گ.، جعفری، ه.، (۱۳۹۱)، "ارزیابی کیفیت آب و رسوب رودخانه گرگانرود در محدوده شهر گنبد، استان گلستان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود

تیموری، ع.، کابلی، ع.، اسلامی، ع.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی کیفی و هیدروشیمیایی آب رودخانه چهل-چای"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۷ص

جابر، ل.، یزدانی، م.، مهدیزاده، ن.، (۱۳۸۷)، "اندازه‌گیری میزان کلی فرم مدفوعی و E-Coli در آب رودخانه لایچ"، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران ۶ص

حاجیان‌نژاد، م.، رهسپار، ا. ر.، (۱۳۸۹)، "بررسی تأثیر رواناب‌ها و پساب تصفیه فاضلاب بر پارامترهای کیفی آب رودخانه زاینده رود"، **مجله تحقیقات نظام سلامت**، سال ششم، ص ۸۲۱-۸۲۸

حمزه، م. ع.، بومری، م.، رضایی، ح.، بسلکه، غ. ر.، (۱۳۹۰)، "ژئوشیمی زیست‌محیطی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج گواتر، منتهی الیه جنوب شرقی ایران"، نشریه علمی- پژوهشی اقیانوس شناسی، جلد ۱۰، ص ۲۰ - ۱۱

حیدری‌زاد، م.، محمدزاده، ح.، (۱۳۹۰)، " بررسی عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه کارده (شمال شهر مشهد) با استفاده از نمودارهای هیدروشیمیایی و نمایه اشباع (SI) کانی‌های کربناته و سولفات‌ها"، اولین همایش ملی علمی دانشجویی انجمن علمی زمین شناسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۷ص

رزاز، م.، روشنفکر، ع.، قربانی، ف.، (۱۳۸۵)، "بررسی کیفی آب رودخانه شطیپ و گرگر با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب"، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود

رنجبر جعفرآبادی، ع.، عموشاهی، س.، پورخباز، ح.، ر.، (۱۳۹۰) "ارزیابی کیفی آب رودخانه مارون با استفاده از شاخص کیفی NSFQI و ارائه راهکارهایی برای کاهش آلودگی آن"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۲ص

زارع گاریزی، آ.، سعدالدین، ا.، بردی شیخ.، و.، سلمان ماهینی، ع.، (۱۳۹۱)، "بررسی روند تغییرات بلند مدت متغیرهای کیفی آب رودخانه چهل چای (استان گلستان)"، **مجله پژوهش آب ایران**، سال ششم، شماره دهم

زرشناس، م.، بینا، م.، (۱۳۸۵)، " بررسی تأثیر هندسه آبشار بر تغییرات اکسیژن محلول جریان آب (مقایسه بین سازه‌های سرسره و پلکانی)"، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، سازمان آب و برق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۰ص

سرتاج، م.، فتح‌اللهی دهکردی، ف.، فیلی زاده، ی. (۱۳۸۴)، "بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین (Cr، Ni، Cu، Cd، Zn و Pb) در رسوبات تالاب انزلی"، **مجله منابع طبیعی ایران**، جلد ۵۸، شماره ۳

- سلاجقه، ع.، رضوی زاده، س.، خراسانی، ن. ا.، حمیدی فر، م.، سلاجقه، س.، (۱۳۹۰)، "تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز کرخه)", **محیط شناسی**، سال سی و هفتم، شماره ۵۸، ص ۸۶-۸۱
- شاهپسند زاده، م.، رقیمی، م.، دماوندی، م. ز.، (۱۳۸۳)، "بررسی تغییرات کدورت آب رودخانه زیارت و نقش آن در سیستم تصفیه خانه آب شرب گرگان"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸ ص
- شمسایی، آ.، اورعی زارع، ص.، سارنگ، آ.، (۱۳۸۸)، "بررسی تطبیقی شاخص های کیفی و پهنه بندی کیفی رودخانه کارون و دز"، **مجله آب و فاضلاب**، شماره ۵۵، ص ۴۸-۳۹
- عبدی نژاد، پ.، (۱۳۹۰)، "بررسی عوامل آلاینده منابع آب دشت ابهر و ارائه راهکارهایی برای کنترل و کاهش الودگی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۰ ص
- عبدی، ل.، رحیم پور بناب، ح.، (۱۳۸۹)، "منشأ، هیدروژئوشیمی و نحوه تکامل شورابه در پلاپای میقان اراک"، **پژوهشهای چینه نگاری و رسوب شناسی**، ص ۴۲ - ۲۵
- عصمت ساعتلو، س. ج.، (۱۳۸۷)، "بررسی رودخانه های غرب دریاچه ارومیه به عنوان اصلی ترین منابع انتقال آلاینده به دریاچه از نظر فلزات سنگین (Pb, Hg, Cd, As)", دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۰ ص
- غلامرضزاده، ف.، موسوی نسب، ز.، (۱۳۹۳)، "ارزیابی کیفیت آب رودخانه قره آغاج"، دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش های محیط زیست ایران، دانشگاه شهید مفتاح همدان، ۹ ص
- کریمیان، آ.، جعفرزاده، ن.، نبی زاده، ر.، افخمی، م.، (۱۳۸۷)، "پهنه بندی و ارزیابی پارامترهای ژئوشیمیایی آب رودخانه زهره با استفاده از WQI"، دومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد بهره برداری)

گوهر دوست، آ.، سعدالدین، ا.، اونق، م.، نجفی نژاد، ع.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی وضعیت کیفی آب رودخانه چهل چای حوضه رودخانه گرگانرود با استفاده از شاخص کیفیت آب و استاندارد کیفیت آب ایران"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۰ص
لرستانی، ب.، بحیرایی، م. ر.، سبحان اردکان س.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی تأثیر پساب کشتارگاه‌های دام و طیور بر پیراسنجه‌های میکروبی آب رودخانه قشلاق سنندج"، نخستین همایش ملی آلودگی های محیط زیست و روشهای کنترل آن، سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ۹ص
مغربی، م.، تجریشی، م.، جمشیدی، م.، ابریشمچی، ا.، (۱۳۸۷)، "بررسی آلودگی میکروبی رودخانه جاجرود و نقش عوامل تولید کننده آن"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، ۹ ص

مهندسين مشار آساراب.، (۱۳۹۱)، "مطالعات تهیه برنامه مدیریت زیست‌محیطی و حفاظت کیفی منابع آب مخزن و حوضه آبریز سد نرماب: جلد سوم- شناسایی وضع موجود محیط زیست"
۲۲۰ص

مهندسين مشاور کاوش پی.، (۱۳۸۹)، "طرح احداث سازه‌های آبی حوضه آبریز مینودشت"
واعظ تهرانی، م.، جعفری باری، م.، مهمان‌روش، س.، رحمانی، ن.، خلیلی، ک.، حبیب‌زاده، ب.، (۱۳۸۳)، "آلودگی و روشهای جلوگیری از آن (مطالعه موردی مجتمع پرورش ماهی رودخانه بادین آباد)"، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۷ص

منابع لاتین

Areinzo, M., Adamo, P., Bianco, M. R., Violante, P. (2000). "Impact of land use and urban runoff the contamination of the Sarno river basin in southwestern Italy." **Water, Air, and Soil Pollution**, Vol. 131, pp. 349-366
Andersen, B. C., Lewis, G. P., & Sargent, K. A. (2004). "Influence of wastewater-treatment effluent on concentrations and fluxes of solutes in the Bush River,

- South Carolina, during extreme drought conditions.” **Environmental Geosciences**, Vol. 11, pp. 28–41.
- Boaventura, R., Pedro, A. M., Coimbra, J., Lencastre, E. (1997). “Trout farm effluents characterization and impact on the receiving streams.” **Environmental Pollution**, Vol. 95, pp. 379-387.
- Bradl, H. B. (2005), “**Heavy metals in the Environment. Interface science and technology.**” Elsevier Academic Press, University of Applied Sciences Tier Neubrucke, Germany, pp. 101-143
- Bhardw, V., Singh, D. S., Sing, A. K. (2010). “Water quality of the Chhoti Gandak River using principal component analysis Ganga Plain, India.” **Journal of Earth System Science**, Vol. 119, 2010, pp. 117- 127
- Basant, N., Gupta, S., Malik, A., Singh, K. P. (2010). “**Linear and nonlinear modeling for simultaneous prediction of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand of the surface water - A case study.**” *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 104. pp. 172-180
- Bharti, N., Katyal, D. (2011). “Water quality indices used for surface water vulnerability assessment.” **Journal of Environmental Sciences**, Vol. 2, pp. 1-20
- Barati, N., Katyal, D. (2011). “Water quality indices used for surface water vulnerability assessment.” **Journal of Environmental sciences**, Vol. 2 No. 1, pp. 154-173
- Chrysochoou, M., Johnston, C. P., Dahal, G. (2012). “A comparative evaluation of hexavalent chromium treatment in contaminated soil by calcium polysulfide and green-tea nanoscale zero-valent iron.” **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 201-202, pp. 33- 42
- Chigor, V.N., Sibanda, T., Okoh, A.I. (2013). “Studies on the bacteriological qualities of the Buffalo River and three source water dams along its course in the Eastern Cape Province of South Africa.” **Environ Sci Pollut Res**, Vol. 20, pp. 4125 – 4136
- Das, J., Acharya, B. C. (2003). “Hydrochemistry and Assessment of lotic water quality in Cuttack city India.” **Water, Air, and Soil Pollution**, Vol. 150, pp. 163–175
- Domini, C. E., Vidal, L., Canals, A. (2009). “**Trivalent manganese as an environmentally friendly oxidizing reagent for microwave- and ultrasound-**

- assisted chemical oxygen deman determination.”** *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 16, pp. 686-691
- Di Dong, C., Wen Chen, C., Feng Chen, C. (2013). “Distribution and contamination status of chromium in surface sediments of northern Kaohsiung Harbor, Taiwan.” **Environmental Science**, Vol. 25, pp. 1450- 145
- Eby, G. N. (2004), “**Principles of Environmental Geochemistry, university of Messachussta.**” University Of Massachusetts, Lowell, THOMSON, pp.514
- El-Sheekh, M .(2009). “River Nile Pollutants and Their Effect on Life Forms and Water Quality.” **Environ Monit Assess**, pp. 395 – 405
- Guler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E., Turner, A. K. (2002). “Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data.” **Hydrogeology Journal**, Vol. 10, pp. 455 – 474
- Garg, V. K., Suthar, S., Singh, S., Sheoran, A., Meenakshi, G., & Jain, S. (2009). “Drinking water quality in villages of southwestern Haryana, India: assessing human health risks associated with hydrochemistry.” **Environmental Geology**, Vol. 58, pp. 1329-1340.
- Gazzez, N. M., Yusoff, M. K., Zaherian Aris, A., Juahir, H., Firuz Ramli, M. (2012). “Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors.” **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 64, pp. 2409-2420
- Canal, Nile River, Egypt.” **Egyptian Journal of Aquatic Research**, Vol. 40, pp. 225-233
- Hounslow, A. W. (1995). “**Water Quality Data: Analysis and Interpretation.**” CRC-Press, 1st edition, pp. 416
- Hur, J., A. Schlautman, M., Karanfil, T., Smink, J., Song, H., J. Klaine, S., C. Hayes, J .(2007). “Influence of Drought and Municipal Sewage Effluents on the Baseflow Water Chemistry of an Upper Piedmont River.” **Environ Monit Assess**, Vol. 132, pp. 171 – 18
- Hussain, M., Ahmed, S. M., Abderrahman, W. (2008). “Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia.” **Journal of Environmental Management**, Vol. 86, pp. 297-307

- Imgbiosa, E. O., Okoh, A. I (2009) "Impact of discharge wastewater effluents on the physico-chemical qualities of a receiving watershed in a typical rural community." **J. Environ. Sci. Tech**, Vol. 6(2), PP. 175 – 182
- Islam, M. S., Ahmed, M. D., Raknuzzaman, M., AL-Mamun, M. D., Islam, M. K. (2015) "Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country." **Ecological Indicators**, Vol. 48, pp. 282-291
- Judova, P., Janskay, B. (2005). "Water quality in rural areas of the Czech Republic: Key study slapanka river catchment." **Limnologica**, Vol. 35, pp160-168
- Jouanneau, S., Recoules, L., Durand, M. J., Boukabache, A., Picot, V., Primault, Y., Lakel, A., Sengelin, M., Barillon, B., Thouand, G. (2014). "Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review." **Water Research**, Vol. 49, pp. 62-82
- Karmega, U., Chidambaram, S., Prasanna, M. V., Sasidhar, P., Johnsonbabu, G., Dheivanayaki V., Paramaguru P., Manivannan R., Srinivasamoorthy K., and Anandhan P (2011). "A study on the mixing proportion in groundwater samples by using Piper diagram and Phreeqc model." **Chin.J.Geochem**, Vol. 30, pp. 490 – 49
- Kumar Singh, Ch., Rina, K., Prakash Singh, R., Mukherjee, S. (2013). "ecochmeical characterization and heavy metal contamination of groundwater in Satluj River Basin." **Environmental Earth Science**, Vol. 71, pp. 201-216
- Laxen, D. P.H., Davison, W., Woof, C. (1984). "Manganese chemistry in rivers and streams." **Geochimca el Cosmochrmicr, Acta**, Vol. 48, pp. 2107-2111
- Li, F., Pan, G., Tang, Ch., Zhang, Q., Yu, J. (2008). "Recharge source and hydrogeochemical evolution of shallow groundwater in a complex alluvial fan system, southwest of North China Plain." **Environ Geol**, Vol. 55, pp. 1109 – 1122
- Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., Soares Machado, M. A. (2009). "River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil." **Ecological Indicators**, Vol. 9, pp. 1188-1197
- Li, X.D., Liu, C.Q., Liu, X. L., Bao, L. R. (2011). "Identification of dissolved sulfate sources and the role of sulfuric acid in carbonate weathering using dual-isotopic

- data from the Jialing River, Southwest China.” **Journal of Asian Earth Sciences**, Vol. 42, pp. 370 – 380
- Mohan, S. V., Nithila, P., & Reddy, S. J. (1996). “Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index.” **Journal of Environmental Science & Health Part A**, Vol. 31(2), pp. 283-289.
- Mosher, J. J., Klein, G. C., Marshall, A. G., Findlay, R. H. (2010). “Influence of bedrock geology on dissolved organic matter quality in stream water.” *Organic Geochemistry*, Vol. 41, pp. 1177-1188
- Mohebbi, M. R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi, K A., Labbafi, Sh., Oktaie, S., Abtahi M., Mohaeghian, A. (2013). “Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI).” *Ecological Indicators*, Vol. 30, pp. 28-34
- Mustapha, A., Zaharin Aris, A., Juahir, H., Firuz Ramli, M. (2013). “Surface water quality contamination source apportionment and physicochemical characterization at the upper section of the Jakara Basin, Nigeria.”, *Arab J Geosci*, Vol. 6, pp. 4903 – 4915
- Parkhurst, D. L and Appelo, C. A.J. (1997), “**Users guide PHREEQC (version2) a computer program for speciation, reaction-path, 1D-transport and inverse geochemical calculations. US Geol. Surv.**” *Water Resour. Inv Rep.* 99-4259. pp. 312
- Phiri, O., Mumba, P., Moyo, B. H. Z., Kadewa, w. (2005). “Assessment of the impact of industrial effluents on water quality of receiving rivers in urban areas of Malawi.” **Environ. Sci. Tech**, Vol. 2, No. 3, pp. 237 – 244
- Panda, C. U., Sundaray, S. K., Rath, P., Nayak, B. B., Bhatta, D. (2006). “Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India).” **Journal of Hydrology**, Vol. 331. pp. 434-445
- Shin, J. Y., Artigas, F., Hobbie, Ch., Lee, Y. S. (2012). “Assessment of antropogenic innfluence on surface water yquality in urban estuary, northern New Jersey: multivariate approach.” **Environment Monitoring and Assessment**, Vol. 185, pp. 2777-2794

- Swanson, S. K., Bahr, J. M., Schwar, M. T., Potter, K. W. (2001). "Two-way cluster analysis of geochemical data to constrain spring source waters." **Chemical Geology**, Vol. 179, pp. 73-91
- Selinus, O., Aloway, B. J. (2005). "**Essentials of medical geology impacts of natural environmental on public health.**" Academic press, pp. 812
- Suther, S., Nema, A. K., Chabukdhara, M., Gupta, S. K. (2009). "Assessment of metals in water and sediments of Hindon River, India: Impact of industrial and urban discharges." **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 171, pp. 1088-1095
- Sayed M, A., Shawky Z, S., Fayez, M., Monib, M., Nbil A, H. (2010). "The influence of agro-industrial effluents on River Nile pollution." **Journal of Advanced Research** , Vol. 2, pp. 85-95
- Sonmez, S., Divrikli, U., Elci, L. (2010). "**New use of polypyrrole-chloride for selective preconcentration of copper prior to its determination of flame atomic absorption spectrometry.**" Vol. 82, pp. 939-944
- Suthar, S., Sharma, J., Chabukdhara, M., Nema, A. K (2010). "Water quality assessment of river Hindon at Ghaziabad, India: impact of industrial and urban wastewater." **Environ Monit Assess**, Vol. 165, pp. 103 - 112
- Saad, Z., Kazpard, V., El Samrani, A., Slim, K., Ouaini, N. (2006). "Use of hydrochemistry and environmental isotopes to evaluate water quality, Litani River, Lebanon." **Journal of Environmental Hydrology**, Vol. 14
- Srinivasamoorthy, K., Gopinath, M., Chidambaram, S., Vasanthavigar, M., Sarma, V.S. "Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin Tamilnadu, India." **Journal of King Saud University**, in press.
- Tong, S., Schirnding, Y. E., Prapamontol, t. (2000). "Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions." **Environment and health**, Vol. 78, pp. 1068-1077
- Tijani, M. N. (2009). "Contamination of shallow groundwater system and soil-plant transfer of trace metals under amended irrigated fields." *Agricultural water management*, Vol. 96(3), pp. 437-444.

-
- Thakur, A.K., Ojha, C. S. P. (2010). "Variation of turbidity during subsurface abstraction of river water: A case study." *Journal of Sediment Reserch*, Vol.25, pp. 355-365
- Tanriverdi, C., Alp, A., Demirkiran, F. U. (2010). "Assessment of surface water quality of the Ceyhan river basin." **Environ Ment Assess**, Vol. 167, pp. 175-184
- Wen X.H. Wu Y. Q. Wu J. (2008,). "Hydrochemical charateristics of groundwater in the Zhangye Basin." *Nortwester China, Envirmental Geology.*, Vol. 55, pp. 1713 – 1724.
- Xue, D., Botte, J., Baets, B. D., Accoe, F., Nestler, A., Taylor, Ph., Cleemput, O.V., Berglund, M., Boechx, P. (2009). "Present limitations and future prospects of stable isotope methods for nitrate source identification in surface- and groundwater." **Water Research**, Vol. 43, pp. 1159 – 1170
- Vikram Reddy, M., Sagar Babu, K., Balaram, V., Satyanarayanan, M. (2012). "Assessment of the effects of municipal sewage, immersed idols and boating on the heavy metal and other elemental pollution of surface water of the eutrophic Hussainsagar Lake (Hyderabad, India)." **Environ Monit Assess**, Vol. 184, pp. 1991 – 2000
- Zhu, B., Yu, J., Qin, X., Rioual., P., Xiong. (2012). "Climatic and geological factors contributing to the natural water chemistry in an arid environment from watersheds in northern Xinjiang, China." **Geomorphology**, Vol. 153-154, pp. 102-114
- Zhang, B., Song, X., zhang, Y., Han, D., Tang, C.,Yu, Y., Ma, Y. (2012). "Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China." **Water research**, Vol. 46, pp. 2737 – 2748
- Yang, Y.,Wang, L. (2010). "A Review of Modelling Tools for Implementation of the EUWater Fremework Directive in Handling DiffuseWater Pollution.", **Water Resour Manage** Vol. 24, pp.1819- 1843.

Abstract

The Chehel- Chay stream is one the main branch of Gorgan-Rood river. The purpose of this study was to evaluate the hydrochemical water quality, concentrations of heavy metals (Cu, Pb, Mn and Cr) and biological pollution probably occurred in the river water. To this end, 16 sampling stations were selected along the river. The results showed that, pH of the water samples ranged from 6.9-7.98, indicating neutral to alkaline in nature. Major ion concentrations show large variations (from 36.13 mg/l for Na 6.8 mg/l for NO₃ respectively) in upstream area of the river where it is rather influenced by the dominant lithology mainly including limestone and however, anthropogenic sources (domestic waste and urban runoff) are affecting the river as it flows through the municipal areas. The dominant hydrochemical type of river water is calcic bicarbonate and 25% of the samples fall in hard and 75% of very hard class. Results of calculation of Saturation indexes for some reactive minerals indicates the water sample are undersaturated respect to gypsum and halite minerals and saturated relative to calcite and dolomite. Biological studies also showed that all the samples of river water (except for station S1) are polluted in terms of BOD and COD pollution. Microbial studies also revealed that all samples have degrees of microbial contamination. According to the quality indicators OWQI and NSFQI, it is found that all samples fall in bad and very bad class. Obtained results of trace metal analysis shows that their concentrations are below the limits set by the WHO According to Wilcox diagram, water is found to be suitable for agricultural purposes

Keywords: Chehel Chay stream, Hydrochemistry, Contamination, Biologic and metal



Shahrood University

Faculty of Earth Science

**Investigation of Hydrochemistry and contamination of Chehel
Chay River, Golestan Province**

Naghi Shamlou

Supervisor:

Dr. A. Qishlaqi

Advisor:

A. R. Kaboli

Februray 2015