





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

پایش و پهنه بندی رودخانه آجی چای در محدوده دشت تبریز با استفاده از

شاخص های کیفی

نگارنده: زینب پاشازاده لاله

اساتید راهنما:

دکتر هادی جعفری

دکتر عبدالرضا واعظی هیر

تیرماه ۱۳۹۶

یارب دل ما را توبه رحمت جان ده
در همه راه صابری دمان ده
این بنده چه داند که چه می باید جست
داننده تویی هر آنچه دانی آن ده

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیم ساخته تا در سایه درخت پر بار
وجودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش
تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا
که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند وستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی
زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا
کردند.

تقدم به وجود مادر زششان.....

تقدیر و سپاس

امروز که به همت پروردگار بی‌همتا و به مدد دعای پدر و مادر عزیزتر از جانم و لطف و راهنمایی اساتید گرانقدرم برگه دیگری از دفتر بزرگ علم و دانش را ورق زدم خاضعانه دست بوس تمام کسانی ام که باعث دلگرمی من بودند؛

از اساتید راهنمای عزیزم جناب آقای دکتر هادی جعفری و آقای دکتر عبدالرضا واعظی، سیر که صبورانه بهایتم را تحمل نموده و مهربانانه بار، بنمودهای ارزشمندشان مراد انجام این پایان نامه یاری نمودند نهایت سپاس را دارم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی و دکتر افشین قشلاقی که زحمت دآوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، همچنین از نماینده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر رحیم باقری کمال تشکر را دارم.

از اساتید محترم سرکار خانم دکتر کیتی فرقانی، جناب آقایان دکتر غلامحسین کرمی، دکتر افشین قشلاقی، دکتر هادی جعفری، دکتر رحیم باقری و دکتر علی اکبر مومنی که در طول تحصیل با آموزه‌های علمی و اخلاقی خویش، همواره مرا یاری رسانند صمیمانه تشکر می‌کنم و آرزوی سلامتی و موفقیت برای این عزیزان از خداوند متعال خواستارم.

از سرکار خانم مهندس نعیمه کاظمیان و جناب آقای مهندس بابایی که در جهت پیشبرد این پایان نامه مساعدت نموده‌اند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از مدیریت و کارکنان محترم دفتر مطالعات آب های زیرزمینی و حفاظت منابع آب زیرزمینی و سطحی سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، سرکار خانم مهندس میرحیدری، تقوی، رنجبر و آقایان مهندس نجیب، حق ره، شیخ زادگان و سایر همکاران، به خاطر حمایت ها و قرار دادن آمار و اطلاعات شکر می نمایم.

از مسئولین آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود جناب آقای دکتر باقری، خانم مهندس بوسلیک و مهندس باقری به خاطر کمک های بی دریغشان در انجام آنالیز آب، کمال شکر و قدردانی را دارم. همچنین از مسئولین محترم دفتر کنترل کیفی آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی برای انجام آنالیز آب نهایت شکر را دارم.

از پدر، مادر، خواهر و برادران عزیزم به خاطر تمامی زحمات و حمایت های بی دریغشان در امر تحصیل بی نهایت سپاسگزارم. از تمامی دوستانم که در لحظات سخت و دشوار همدل و یار من بودند شکر می کنم.

از برادر خوبم احد پاشا زاده به خاطر حمایت و کمک های بی دریغش در انجامم قسمتی از این پایان نامه شکر ویژه داشته و برای همه عزیزان آرزوی شادکامی و سلامتی را از خداوند متعال خواهم نمود.

تعهدنامه

اینجانب زینب پاشازاده لاله دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش زیست‌محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان **پایش و پهنه‌بندی رودخانه آجی‌چای در محدوده دشت تبریز با استفاده از شاخص‌های کیفی تحت راهنمایی دکتر هادی جعفری و عبدالرضا واعظی هیر** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام گردیده 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 هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، 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 گردیده 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 اخلاق انسانی رعایت گردیده است.

امضاء دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز ناست.

چکیده

شاخص‌های کیفی به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی در تصمیم‌گیری‌ها قابل استفاده می‌باشند. آجی‌چای مهم‌ترین و اصلی‌ترین رودخانه استان آذربایجان شرقی بوده که پس از عبور از دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد. به دلیل تمرکز منابع آلاینده در دشت تبریز این رودخانه مستعد آلودگی بوده، لذا هدف از این تحقیق ارزیابی و پهنه‌بندی رودخانه آجی‌چای با استفاده از شاخص‌های کیفی برای کمک به برنامه‌ریزی و مدیریت درست آن می‌باشد. بدین منظور نمونه‌برداری از آب رودخانه طی دو فصل تر (اردیبهشت ۹۵) و خشک (شهریور ۹۵) انجام گرفت و پارامترهای EC، TDS، pH، کدورت، جامدات معلق، یون‌های اصلی، یون‌های فرعی (نیتрат و فسفات)، عناصر بالقوه سمی، مواد آلی (BOD، COD، TOC) و مواد بیولوژیکی (کلی‌فرم) اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان می‌دهد کدورت و EC در بالادست رودخانه آجی‌چای بالا بوده، که این موضوع به دلیل عبور رودخانه از سازند قرمز فوقانی (سری میوسن) و افزایش غلظت یون‌های اصلی کلر، سدیم، کلسیم و سولفات می‌باشد. غلظت آرسنیک در تمامی نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز آب شرب (0.01 ppm) اندازه‌گیری شده است که علاوه بر منشأ زمین‌زاد در برخی نواحی به دلیل تخلیه انواع فاضلاب‌ها افزایش یافته است. عناصر Al ، Fe ، Zn ، Co ، Mo ، Pb ، Ni ، Mn ، Cd و بیشتر منشأ زمین‌زاد داشته، درحالی‌که عناصر Cu ، Ba و Cr عمدتاً دارای منشأ انسان‌زاد می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد کیفیت رودخانه در فصل تر توسط شاخه اصلی و گمناب‌چای کنترل شده، لیکن در فصل خشک به دلیل دبی بیشتر شاخه فرعی مهران‌رود نسبت به شاخه اصلی، کیفیت قسمت‌های پایین دست رودخانه عمدتاً تحت تأثیر مهران‌رود بوده که این موضوع در نمودارهای پایپر و شولر به وضوح نشان داده شده است. اغلب پارامترها در قسمت‌های میانی دشت به دلیل تمرکز منابع آلاینده و تخلیه فاضلاب آنها به رودخانه افزایش یافته که این افزایش به ویژه در مورد پارامترهای آلی و بیولوژیکی و نیز مواد مغذی در فصل خشک، مشهودتر می‌باشد. ارزیابی کیفیت رودخانه آجی‌چای برای مصارف کشاورزی با استفاده از نمودار اصلاح شده ویلکاکس نشان داد تمامی نمونه‌های آب در فصل تر به جز شاخه فرعی مهران‌رود در رده نامناسب قرار داشته و کیفیت آب در فصل خشک نسبت به فصل تر بهتر می‌باشد. بر اساس شاخص‌های کیفی NSFQI، IRWQI_{sc} ، Said، Dinius، WQI، OWQI و RPI اکثر ایستگاه‌ها در وضعیت بد و خیلی بد قرار می‌گیرند. مقایسه شاخص‌های کیفی بیانگر برتری شاخص‌های NSFQI و IRWQI_{sc} و شاخص Said در پهنه‌بندی رودخانه آجی‌چای به دلیل نشان دادن روند تغییرات کیفی می‌باشد.

کلمات کلیدی: آجی‌چای، عناصر بالقوه سمی، کلی‌فرم، شاخص کیفی، پهنه‌بندی، تبریز

مقالات استخراج شده از این پایان نامه

۱. تغییرات آلودگی در مسیر رودخانه آجی چای در محدوده دشت تبریز، بیستمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۱۶ تا ۱۸ شهریور ماه ۱۳۹۵، دانشگاه تهران.
۲. بررسی تغییرات زمانی پارامترهای آلی و بیولوژیکی در رودخانه آجی چای (محدوده دشت تبریز)، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، ۱ تا ۳ اسفند ۱۳۹۵، سازمان زمین-شناسی اکتشافات معدنی کشور.
۳. بررسی تغییرات زمانی نیتрат و آلودگی فلزی در طول مسیر رودخانه آجی چای در محدوده دشت تبریز، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی آب ایران، ۲۰ و ۲۱ تیرماه ۱۳۹۶، دانشگاه شهر کرد.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه، ضرورت و هدف مطالعه ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳
- ۳-۱- وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه ۵
- ۱-۳-۱- دما ۵
- ۲-۳-۱- رطوبت نسبی ۷
- ۳-۳-۱- بارش ۸
- ۴-۳-۱- تبخیر ۹
- ۵-۳-۱- اقلیم ۹
- ۴-۱- زمین‌شناسی منطقه ۱۴
- ۵-۱- هیدرولوژی منطقه ۱۸

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

- ۱-۲- مقدمه ۲۴
- ۲-۲- عوامل تأثیرگذار بر شیمی آب‌های سطحی ۲۴
- ۳-۲- شاخص کیفیت آب ۲۶
- ۴-۲- اهمیت شاخص کیفیت آب ۲۷
- ۵-۲- انواع شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی ۲۸

- ۲-۵-۱- شاخص‌های عمومی کیفی آب ۲۹
- ۲-۵-۱-۱- شاخص کیفی Horton ۲۹
- ۲-۵-۱-۲- شاخص کیفی آب سازمان بهداشت ملی آمریکا (NSFWQI) ۳۰
- ۲-۵-۱-۳- شاخص مصارف عمومی دنینگر و لندور ۳۲
- ۲-۵-۱-۴- شاخص آلودگی پراتی (Prati) ۳۲
- ۲-۵-۱-۵- شاخص دینیوس (Dinius) ۳۳
- ۲-۵-۱-۶- شاخص آلودگی رودخانه (RPI) ۳۴
- ۲-۵-۱-۷- شاخص عمومی لهستان ۳۴
- ۲-۵-۱-۸- شاخص کل آلودگی (OPI) ۳۵
- ۲-۵-۱-۹- شاخص کیفی Said ۳۶
- ۲-۵-۱-۱۰- شاخص ویتنام ۳۷
- ۲-۵-۱-۱۱- شاخص کیفیت منابع آب ایران ۳۸
- ۲-۵-۲- شاخص کیفی مصارف ویژه ۳۹
- ۲-۵-۲-۱- شاخص آلودگی NPI ۳۹
- ۲-۵-۲-۲- شاخص O'Conner ۳۹
- ۲-۵-۲-۳- شاخص والس کی و پارکر ۴۰
- ۲-۵-۲-۴- شاخص Stoner ۴۱
- ۲-۵-۲-۵- شاخص کیفی آب اورگان ۴۲

۴۵	 ۲-۵-۶- شاخص کیفی به کار رفته در رودخانه گنگا در هند
۴۸	 ۲-۵-۷- شاخص Bhargava
۴۸	 ۲-۵-۸- دومین شاخص Dinius
۴۹	 ۲-۵-۹- شاخص Viet و Bhargava
۴۹	 ۲-۵-۱۰- شاخص Smith
۵۰	 ۲-۵-۱۱- شاخص Sinha
۵۰	 ۲-۵-۱۲- شاخص کیفی British Columbia
۵۲	 ۲-۵-۱۳- شاخص کیفی کانادا
۵۴	 ۲-۵-۳- شاخص‌های طراحی
۵۵	 ۲-۵-۴- شاخص‌های آماری
۵۵	 ۲-۵-۵- شاخص‌های بیولوژیکی
۵۶	 ۲-۶-۶- مطالعات انجام شده در ایران و جهان
۵۶	 ۲-۶-۱- مطالعات انجام شده در ایران
۵۷	 ۲-۶-۲- مطالعات انجام شده در جهان
۶۳	 ۲-۷- جمع‌بندی مطالعات پیشین

فصل سوم: روش انجام تحقیق

۶۶	 ۳-۱- مقدمه
۶۶	 ۳-۲- تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری

- ۷۰ ۳-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها
- ۷۱ ۴-۳- اندازه‌گیری پارامترهای کیفی
- ۷۱ ۱-۴-۳- پارامترهای صحرایی
- ۷۱ ۲-۴-۳- جامدات معلق (TSS)
- ۷۲ ۳-۴-۳- کدورت
- ۷۳ ۴-۴-۳- یون‌های اصلی
- ۷۵ ۴-۳-۵- نیترات (**NO3** -)
- ۷۶ ۴-۳-۶- فسفات (**PO43** -)
- ۷۶ ۴-۳-۷- عناصر بالقوه سمی
- ۷۶ ۴-۳-۸- مواد آلی
- ۷۷ ۴-۳-۹- پارامترهای بیولوژیکی
- ۷۸ ۳-۵- شاخص‌های آلودگی و روش محاسبه آنها
- ۷۸ ۳-۵-۱- شاخص فلزی (MI)
- ۷۹ ۳-۵-۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)
- ۷۹ ۳-۵-۶- روش محاسبه شاخص‌های کیفیت آب
- ۷۹ ۳-۶-۱- شاخص کیفی NSFQI
- ۸۳ ۳-۶-۲- شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (**IRWQISC**)
- ۸۶ ۳-۶-۳- شاخص آلودگی رودخانه (**RPI**)

۸۷ ۴-۶-۳- شاخص سید (said)

۸۸ ۵-۶-۳- شاخص اورگان (OWQI)

۹۰ ۶-۶-۳- دومین شاخص دینیوس (Dinius)

۹۲ ۷-۶-۳- محاسبه WQI

فصل چهارم: نتایج و بحث

۹۶ ۱-۴- مقدمه

۹۶ ۲-۴- ارزیابی خصوصیات کیفی رودخانه آجی چای

۱۰۲ ۱-۲-۴- تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رودخانه آجی چای

۱۰۹ ۲-۲-۴- تغییرات زمانی و مکانی اجزاء معدنی در رودخانه آجی چای

۱۳۱ ۳-۲-۴- تغییرات زمانی و مکانی اجزاء آلی در رودخانه آجی چای

۱۳۷ ۴-۲-۴- تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای بیولوژیکی در رودخانه آجی چای

۱۳۹ ۳-۴- بررسی کیفیت آب رودخانه آجی چای برای مصارف کشاورزی

۱۴۳ ۴-۴- محاسبه و بررسی شاخص‌های آلودگی در رودخانه آجی چای

۱۴۳ ۱-۴-۴- شاخص فلزی (MI)

۱۴۴ ۲-۴-۴- شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

۱۴۵ ۵-۴- ارزیابی کیفیت آب رودخانه آجی چای با استفاده از شاخص‌های کیفی

۱۴۵ ۱-۵-۴- شاخص کیفی NSFWQI

۱۵۱ ۲-۵-۴- شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQISC)

- ۱۵۵ ۳-۵-۴- شاخص آلودگی رودخانه
- ۱۵۶ ۴-۵-۴- شاخص سید (Said)
- ۱۵۹ ۵-۵-۴- شاخص اورگان (OWQI)
- ۱۶۰ ۶-۵-۴- شاخص کیفی دینیوس (Dinius)
- ۱۶۲ ۷-۵-۴- شاخص WQI
- ۱۶۳ ۶-۴- مقایسه شاخص‌های مورد استفاده در رده‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای
- ۱۶۳ ۱-۶-۴- مقایسه توصیفی شاخص‌های کیفی
- ۱۶۷ ۲-۶-۴- مقایسه شاخص‌های کیفی با روش جیل جانویک

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

- ۱۷۴ ۱-۵- ارزیابی هیدروشیمیایی رودخانه آجی‌چای
- ۱۷۶ ۱-۱-۵- ارزیابی آلودگی عناصر سمی رودخانه آجی‌چای
- ۱۷۷ ۲-۱-۵- ارزیابی آلودگی آلی و بیولوژیکی رودخانه آجی‌چای
- ۱۷۸ ۲-۵- ارزیابی کیفیت رودخانه آجی‌چای برای مصارف کشاورزی
- ۱۷۸ ۳-۵- ارزیابی شاخص آلودگی رودخانه آجی‌چای
- ۱۷۸ ۴-۵- پهنه‌بندی رودخانه آجی‌چای با استفاده از شاخص‌های کیفی
- ۱۸۱ ۵-۵- پیشنهادها
- ۱۸۲ ۶-۵- منابع

فهرست شکل؛

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۴
- شکل ۲-۱- نقشه راه‌های دسترسی به رودخانه آجی‌چای در محدوده دشت تبریز ۵
- شکل ۳-۱- نمودار درجه حرارت متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۶۴-۱۳۹۴) ۶
- شکل ۴-۱- رطوبت نسبی متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۷۹-۱۳۹۴) ۸
- شکل ۵-۱- نمودار میانگین بارش متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۶۴-۱۳۹۴) ۹
- شکل ۶-۱- نمودار میزان متوسط تبخیر ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۷۹-۱۳۹۴) ۹
- شکل ۷-۱- نمودار طبقه‌بندی دمارتن ۱۱
- شکل ۸-۱- وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه ۱۳
- شکل ۹-۱- نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۷۹-۱۳۹۴) ۱۴
- شکل ۱۰-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۷
- شکل ۱۱-۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه آجی‌چای ۲۰
- شکل ۱۲-۱- متوسط آبدهی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری ونیار و آخولا ۲۱
- شکل ۱-۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری و منابع آلاینده رودخانه آجی‌چای ۶۸
- شکل ۲-۳- تصاویری از برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۶۹
- شکل ۳-۴- اندازه‌گیری جامدات معلق در نمونه‌های آب ۷۲
- شکل ۳-۵- نمودار محاسبه درصد اکسیژن محلول ۸۱

- شکل ۳-۶- منحنی‌های امتیاز زیرشاخص هر پارامتر در شاخص NSFQI ۸۲
- شکل ۳-۷- منحنی‌های امتیاز زیرشاخص هر پارامتر در شاخص IRWQI_{SC} ۸۴
- شکل ۳-۸- منحنی‌های امتیاز زیرشاخص هر پارامتر در شاخص اورگان ۸۹
- شکل ۴-۱- تغییرات دما در طول مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۰۲
- شکل ۴-۲- نمایی از تخلیه فاضلاب صنعتی به رودخانه آجی‌چای قبل از ایستگاه S₅ ۱۰۳
- شکل ۴-۳- تغییر مقادیر جامدات معلق در طول مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۰۴
- شکل ۴-۴- تغییر میزان کدورت در طول مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۰۴
- شکل ۴-۵- نمایی از شاخه فرعی گمناب‌چای ورودی به رودخانه آجی‌چای ۱۰۵
- شکل ۴-۶- تغییرات مکانی کدورت طی فصل تر و خشک ۱۰۵
- شکل ۴-۷- تغییرات EC در مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۰۷
- شکل ۴-۸- تغییرات TDS در مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۰۷
- شکل ۴-۹- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی طی فصل تر و خشک ۱۰۸
- شکل ۴-۱۰- تغییرات pH در مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۰۹
- شکل ۴-۱۱- تغییرات سختی کل در طول مسیر رودخانه آجی‌چای ۱۱۰
- شکل ۴-۱۲- دیاگرام پایپر نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای در هر دو فصل ۱۱۲
- شکل ۴-۱۳- دیاگرام شولر نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای در هر دو فصل ۱۱۳
- شکل ۴-۱۴- تغییرات غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم ۱۱۷
- شکل ۴-۱۵- تغییرات غلظت بی‌کربنات، سولفات، کلر ۱۱۸

- شکل ۴-۱۶- تغییرات غلظت نیترات در طول مسیر رودخانه آجی چای..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۷- توزیع مکانی غلظت نیترات طی فصل تر و خشک..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۸- تغییرات فسفات در طول مسیر رودخانه آجی چای..... ۱۲۱
- شکل ۴-۱۹- توزیع مکانی فسفات طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای..... ۱۲۲
- شکل ۴-۲۰- تغییرات آرسنیک و کادمیوم، در طول مسیر رودخانه آجی چای..... ۱۲۷
- شکل ۴-۲۱- تغییرات کروم، سرب، منگنز و نیکل، در رودخانه آجی چای..... ۱۲۸
- شکل ۴-۲۲- تغییرات مس، باریم، مولیبدن و روی، در رودخانه آجی چای..... ۱۲۹
- شکل ۴-۲۳- تغییرات کبالت، آهن و آلومینیوم، در طول مسیر رودخانه آجی چای..... ۱۳۰
- شکل ۴-۲۴- تغییرات DO، TOC، BOD و COD..... ۱۳۵
- شکل ۴-۲۵- توزیع مکانی TOC طی فصل تر و خشک..... ۱۳۶
- شکل ۴-۲۶- توزیع مکانی BOD طی فصل تر و خشک..... ۱۳۶
- شکل ۴-۲۷- توزیع مکانی COD طی فصل تر و خشک..... ۱۳۷
- شکل ۴-۲۸- تغییرات کلی فرم کل و فیکال کلی فرم طی فصل تر و خشک..... ۱۳۸
- شکل ۴-۲۹- مقایسه تغییرات کلی فرم کل با اکسیژن محلول آب..... ۱۳۹
- شکل ۴-۳۰- نمایش نمونه‌های آب رودخانه آجی چای از نظر مصارف کشاورزی..... ۱۴۲
- شکل ۴-۳۱- مقادیر شاخص فلزی (MI) در فصل تر و خشک..... ۱۴۴
- شکل ۴-۳۲- مقادیر شاخص فلزات سنگین (HPI) در فصل تر و خشک..... ۱۴۵
- شکل ۴-۳۳- وضعیت کیفی براساس شاخص NSFQIa و شاخص NSFQIm..... ۱۴۸

- شکل ۴-۳۴- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفی *NSFWQIa* ۱۴۹
- شکل ۴-۳۵- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفی *NSFWQIm* ۱۵۰
- شکل ۴-۳۶- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص *IRWQISC* ۱۵۳
- شکل ۴-۳۷- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفی *IRWQISC* ۱۵۴
- شکل ۴-۳۸- وضعیت کیفی مسیر رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص آلودگی رودخانه ۱۵۶
- شکل ۴-۳۹- وضعیت کیفی مسیر رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص سید ۱۵۷
- شکل ۴-۴۰- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفی سید ۱۵۸
- شکل ۴-۴۱- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص اورگان ۱۶۰
- شکل ۴-۴۲- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای در طول مسیر بر اساس شاخص دینیوس ۱۶۲
- شکل ۴-۴۳- مقایسه شاخص‌های کیفی با روش جیل جانویک در فصل تر و خشک ۱۶۹
- شکل ۴-۴۴- مقایسه شاخص‌های کیفی با روش جیل جانویک بدون در نظر گرفتن نوع مصارف... ۱۷۰
- شکل ۴-۴۵- مقایسه شاخص‌های کیفی با استفاده از روش جیل جانویک در زمان‌های مختلف..... ۱۷۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ پارامترهای رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک تبریز ۷
- جدول ۱-۳ تغییرات میزان بارندگی در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴ ۸
- جدول ۱-۴ طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ۱۱
- جدول ۱-۵ عوامل تعیین کننده اقلیم در سیستم آمبرژه ۱۲

- جدول ۱-۶ طبقه‌بندی اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس سیستم آمبرژه ۱۲
- جدول ۳-۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه آجی‌چای ۶۷
- جدول ۳-۲- روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای کیفی ۷۱
- جدول ۳-۳- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص MI ۷۸
- جدول ۳-۴- مقادیر وزن هر پارامتر در شاخص (NSFWQI) ۸۰
- جدول ۳-۵- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص NSFWQI ۸۱
- جدول ۳-۶- مقادیر وزن هر پارامتر در شاخص IRWQI_{SC} ۸۵
- جدول ۳-۷- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص IRWQI_{SC} ۸۶
- جدول ۳-۸- توابع زیرشاخص هر پارامتر در شاخص آلودگی رودخانه (RPI) ۸۷
- جدول ۳-۹- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص سید Said ۸۷
- جدول ۳-۱۰- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص اورگان ۸۸
- جدول ۳-۱۱- وزن هر پارامتر و توابع زیرشاخص هر پارامتر در شاخص دینیوس ۹۰
- جدول ۳-۱۲- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس نوع مصرف در شاخص دینیوس ۹۱
- جدول ۳-۱۳- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص WQI ۹۳
- جدول ۴-۱- پارامترهای کیفی در نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای ۹۷
- جدول ۴-۲- غلظت یون‌های اصلی و فرعی در نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای ۹۸
- جدول ۴-۳- غلظت عناصر سمی در نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای ۹۹
- جدول ۴-۴- اکسیژن محلول، مواد آلی و پارامترهای بیولوژیکی ۱۰۱

- جدول ۴-۶- طبقه‌بندی کیفی آب‌ها بر اساس سختی کل ۱۰۹
- جدول ۴-۷- طبقه‌بندی کیفیت آب در دیاگرام اصلاح شده ویلکاکس ۱۴۱
- جدول ۴-۸- طبقه‌بندی نمونه‌های برداشت شده از رودخانه آجی چای ۱۴۱
- جدول ۴-۹- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه بر اساس NSFQI ۱۴۶
- جدول ۴-۱۰- وضعیت کیفی نمونه‌های آب بر اساس شاخص NSFQI ۱۴۷
- جدول ۴-۱۱- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه بر اساس شاخص IRWQI_{SC} ۱۵۱
- جدول ۴-۱۲- وضعیت کیفی نمونه‌های آب بر اساس شاخص IRWQI_{SC} ۱۵۳
- جدول ۴-۱۳- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه بر اساس شاخص آلودگی رودخانه ۱۵۵
- جدول ۴-۱۴- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی چای بر اساس شاخص سید ۱۵۷
- جدول ۴-۱۵- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی چای بر اساس شاخص اورگان ۱۵۹
- جدول ۴-۱۶- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه بر اساس دومین شاخص دینیوس ۱۶۱
- جدول ۴-۱۷- وضعیت کیفی نمونه‌های آب برای مصارف مختلف بر اساس شاخص WQI ۱۶۳
- جدول ۴-۱۸- مقایسه نتایج حاصل از انواع شاخص‌های کیفی و وضعیت کیفی ۱۶۶

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه، ضرورت و هدف مطالعه

حیات از آب شروع شده و عدم وجود آن به معنای نابودی حیات خواهد بود. با توجه به رشد جمعیت، اقتصاد، بهداشت، تمدن و فرهنگ و نیز با توسعه شهری و پیشرفت‌های صنعتی نیاز به منابع آبی بیشتر شده و این امر باعث کمبود این منابع در اثر استفاده نادرست و یا آلودگی آن در اثر تخلیه فاضلاب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری می‌گردد. بنابراین علاوه بر کمیت آب، کیفیت منابع آبی نیز مهم می‌باشد.

در مورد آگاهی از شرایط کیفی آبهای سطحی با توجه به پایش‌های متعددی که در طول مسیر رودخانه در زمان‌های مختلف صورت می‌گیرد، اطلاعات پایه و اولیه برای سنجش کیفیت آب به دست می‌آید که به روش‌های مختلفی وضعیت کیفی آب را مشخص می‌کند. یکی از این روش‌ها، شاخص‌های کیفی آب می‌باشد که به بیانی ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری گویای شرایط کیفی آب در طول زمان و مکان است و لذا می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب باشد (Simoes et al., 2008). از آنجا که رودخانه‌ها مهمترین منابع تجدید شونده و حیاتی آب‌شیرین برای استفاده در امور کشاورزی، شرب و صنعت به‌شمار می‌روند، لذا مدیریت و کنترل کمی و کیفی و اتخاذ شیوه‌هایی برای کاهش آسیب به آنها ضروری خواهد بود.

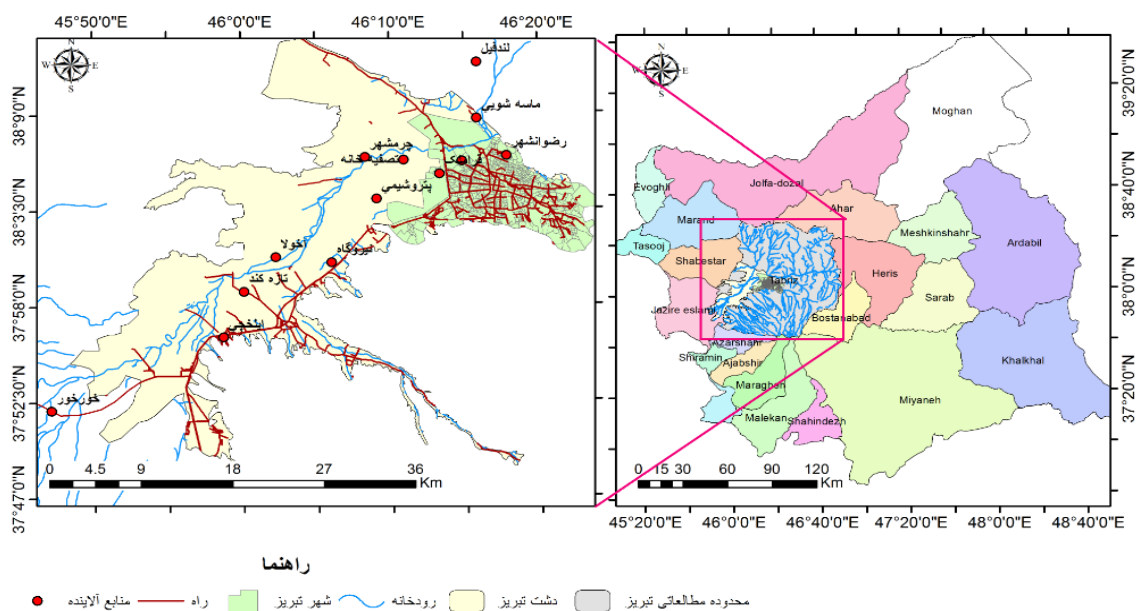
رودخانه آجی‌چای به طول حدود ۲۶۵ کیلومتر از رودخانه‌های مهم استان آذربایجان شرقی است که حدود ۶۰ کیلومتر آن در دشت تبریز جاری می‌باشد. در دشت تبریز به علت تمرکز و تجمع کارخانجات منابع انتشار آلاینده‌های صنعتی و شهری، نسبت به منابع انتشار آلاینده‌های کشاورزی مشهودتر بوده و در درجه اول اهمیت قرار دارند (فتائی و همکاران، ۱۳۸۹). هدف از تحقیق حاضر ارزیابی کیفی و پهنه‌بندی رودخانه آجی‌چای با استفاده از

شاخص‌های کیفی برای برنامه‌ریزی بهتر و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی آن است. با توجه به این که آب این رودخانه در پایین دست به دریاچه ارومیه می‌ریزد، حفظ کیفیت آب این رودخانه و دریاچه ارومیه و نیز منابع آبی وابسته به آن از نظر زیست محیطی دارای اهمیت زیادی است. در این تحقیق بخشی از رودخانه آجی‌چای که در محدوده دشت تبریز جاری است، مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

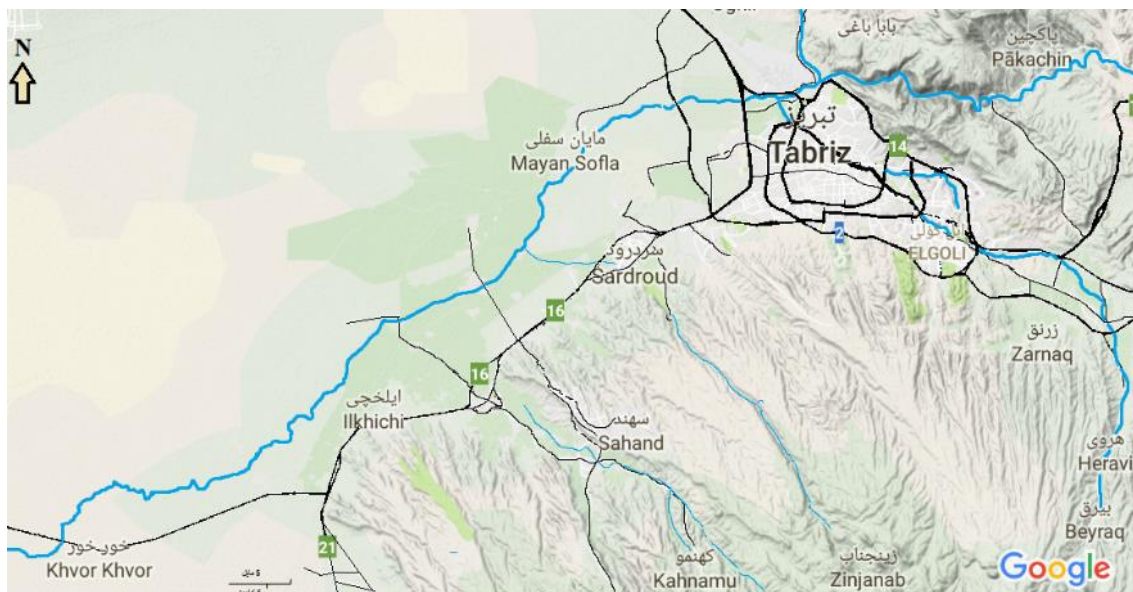
۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تبریز در استان آذربایجان شرقی و در حد فاصل $20^{\circ} 48' 45''$ تا 25° $51' 46''$ طول شرقی و $32^{\circ} 45' 37''$ تا $25^{\circ} 28' 38''$ عرض شمالی و در حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد. محدوده مطالعاتی تبریز بزرگترین محدوده مطالعاتی استان آذربایجان شرقی و مساحت آن برابر ۵۳۹۲ کیلومتر مربع است (مشاور یکم ۱۳۹۱). این محدوده از شمال به محدوده مطالعاتی اهر- ورزقان و جلفا- دوزال، از شرق به محدوده‌های بیلوردی- دوزدوزان و بستان آباد، از شمال غرب به محدوده مطالعاتی مرند، از غرب به محدوده شبستر- صوفیان و از جنوب تا کنار شوره‌زارهای دریاچه ارومیه و محدوده مطالعاتی جزیره اسلامی و آذرشهر ادامه دارد. شهر تبریز در شمال شرقی این محدوده قرار گرفته است. دشت آبرفتی کم و بیش بزرگی در بخش انتهایی حوضه آبریز آجی‌چای و در کنار دریاچه ارومیه تشکیل شده که دشت تبریز نامیده می‌شود. این دشت از دامنه‌های غربی بلندی‌های سهند و از دامنه‌های جنوبی بلندی‌های شمال شهر تبریز به سمت دریاچه ارومیه امتداد یافته و در سمت غرب به شوره‌زارهای بین دشت تبریز و دشت شبستر می‌رسد. وسعت کل دشت تبریز در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد (مشاور یکم ۱۳۹۱). آجی‌چای بزرگترین رودخانه دائمی محدوده مطالعاتی تبریز به‌شمار می‌رود که از دامنه‌های جنوب شرقی کوه سبلان و دامنه‌های شمالی رشته کوه بزقوش سرچشمه گرفته و

پس از گذر از محدوده‌های مطالعاتی سراب، بیلوردی- دوزدوزان و بستان آباد وارد این محدوده مطالعاتی و دشت تبریز می‌شود (شکل ۱-۱). تعدادی رودخانه فصلی و دائمی نیز از بلندی‌های شمال محدوده مطالعاتی تبریز (کوه‌های مورو و میشو) سرچشمه می‌گیرد که مهمترین آنها نهندچای، پاژچای (خواجه)، گمناب‌چای و امندچای هستند. تعدادی از این رودخانه‌ها مانند نهند چای و پاژچای به رودخانه آجی‌چای در بالادست شهر تبریز می‌پیوندند و تعدادی از آنها نیز وارد دشت تبریز شده و در دشت تبریز به آجی‌چای می‌ریزند. مهران‌رود که از بهم پیوستن رودخانه‌های سعیدآباد و لیقوان تشکیل می‌شود پس از گذر از شهر تبریز به آجی‌چای می‌ریزد. در شمال غربی کوه سهند نیز تعدادی رودخانه فصلی جریان دارد که مهمترین آنها زینجناب چای و عنصر چای هستند که به دشت تبریز وارد می‌شوند (مشاور یکم ۱۳۹۱). دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق راه‌های اصلی تبریز- صوفیان و تبریز- آذرشهر امکان‌پذیر است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱-۲- نقشه راه‌های دسترسی به رودخانه آجی‌چای در محدوده دشت تبریز

۱-۳- وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اهمیت آب و هوا و رابطه آن با تغییرات کیفی و کمی منابع آبی، در این بخش به بررسی عناصر هواشناسی منطقه شامل دما، بارش، رطوبت نسبی و تبخیر پرداخته می‌شود. جهت بررسی شرایط هواشناسی و اقلیم منطقه مورد مطالعه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک تبریز استفاده شده است. آمار و اطلاعات مربوطه از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی برای دوره ۳۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۶۴) اخذ گردیده است.

۱-۳-۱- دما

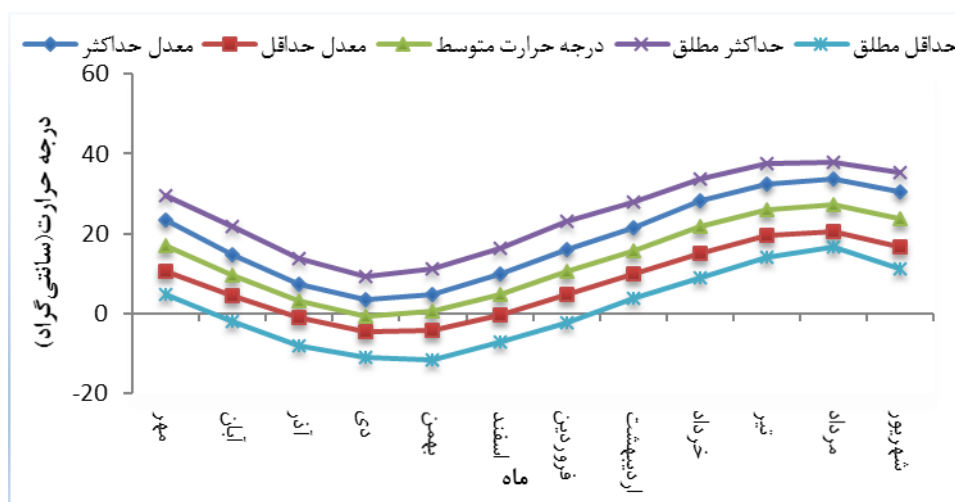
دمای هوا به عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی شناخت اقلیم می‌باشد. با توجه به آمار ۳۰ ساله، متوسط دمای سالانه ایستگاه معرف ۱۳/۳۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. برای دوره آماری ۳۰ ساله، مرداد ماه گرمترین ماه سال با میانگین حداکثر درجه حرارت ۳۳/۷۸ و سردترین ماه سال، دی ماه با میانگین حداقل دمای ۴/۶۳- درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۱-۱). تغییرات متوسط درجه حرارت ماهانه نسبت به حداقل و حداکثر آن در این دوره آماری در شکل ۱-۳ نشان

جدول ۱-۱ پارامترهای درجه حرارت ایستگاه سینوپتیک تبریز برای دوره آماری ۳۰ سال

ماه	درجه حرارت معدل حداکثر	درجه حرارت معدل حداقل	درجه حرارت متوسط	درجه حرارت حداکثر مطلق	درجه حرارت حداقل مطلق
مهر	۲۳/۳۵	۱۰/۵۸	۱۶/۹۰	۲۹/۴۱	۴/۸۹
آبان	۱۴/۷۲	۴/۲۹	۹/۶۰	۲۱/۸۳	-۱/۹۹
آذر	۷/۳۱	-۱/۱۳	۳/۲۰	۱۳/۷۱	-۸/۱۵
دی	۳/۴۶	-۴/۶۳	-۰/۶۰	۹/۲۷	-۱۱/۰۹
بهمن	۴/۷۸	-۴/۳۴	۰/۵۰	۱۱/۳۴	-۱۱/۷۶
اسفند	۱۰/۰۰	-۰/۲۲	۴/۹۰	۱۶/۴۵	-۷/۲۷
فروردین	۱۵/۹۹	۴/۷۸	۱۰/۴۰	۲۳/۱۲	-۲/۳۷
اردیبهشت	۲۱/۵۲	۹/۸۳	۱۵/۷۰	۲۷/۹۲	۳/۸۰
خرداد	۲۸/۲۵	۱۵/۰۹	۲۱/۶۰	۳۳/۶۳	۸/۹۲
تیر	۳۲/۵۳	۱۹/۴۱	۲۶/۰۰	۳۷/۳۸	۱۴/۰۲
مرداد	۳۳/۷۸	۲۰/۵۵	۲۷/۲۰	۳۷/۹۶	۱۶/۵۰
شهریور	۳۰/۵۵	۱۶/۶۳	۲۳/۶۰	۳۵/۳۸	۱۱/۲۱
متوسط دمای سالانه					۱۳/۳۰

ماخذ داده‌ها: اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی

داده شده است.



شکل ۱-۳ نمودار درجه حرارت متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۹۴-۱۳۶۴)

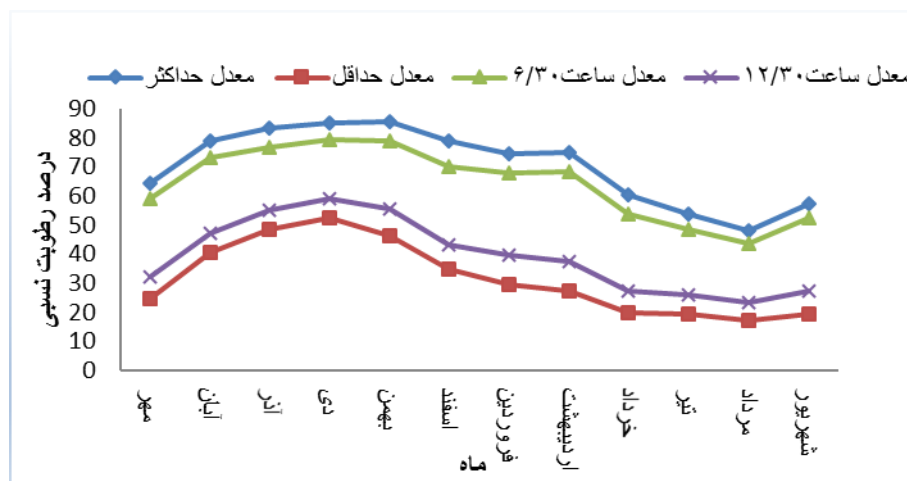
۱-۳-۲- رطوبت نسبی

به مقدار بخار آب موجود در هوا رطوبت (نم) گفته می‌شود که از دیگر نمایه‌های هواشناسی است. در جدول ۱-۲ پارامترهای رطوبت (نم) نسبی ماهانه ایستگاه سینوپتیک در طول دوره آماری ۱۶ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۴) نشان داده شده است. برای این دوره آماری متوسط حداکثر رطوبت نسبی در بهمن ماه به میزان ۸۵/۳۷ درصد و متوسط حداقل آن در مردادماه به میزان ۱۷/۰۶ درصد است (شکل ۱-۴).

جدول ۱-۲ پارامترهای رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک تبریز برای دوره آماری ۱۶ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۴)

ماه	رطوبت نسبی معدل حداکثر	رطوبت نسبی معدل حداقل	رطوبت نسبی معدل ساعت ۶/۳۰	رطوبت نسبی معدل ساعت ۱۲/۳۰
مهر	۶۴/۲۵	۲۴/۶۳	۵۹/۱۳	۳۲/۱۳
آبان	۷۸/۸۸	۴۰/۳۸	۷۳/۰۰	۴۷/۳۱
آذر	۸۳/۳۱	۴۸/۵۶	۷۶/۹۴	۵۵/۰۶
دی	۸۵/۱۳	۵۲/۵۶	۷۹/۴۴	۵۹/۲۵
بهمن	۸۵/۳۸	۴۶/۴۴	۷۸/۷۵	۵۵/۳۱
اسفند	۷۸/۷۵	۳۴/۷۵	۶۹/۹۴	۴۳/۱۳
فروردین	۷۴/۶۳	۲۹/۳۸	۶۷/۶۹	۳۹/۵۶
اردیبهشت	۷۵/۱۳	۲۷/۲۵	۶۸/۳۸	۳۷/۳۸
خرداد	۶۰/۵۰	۱۹/۷۵	۵۳/۵۶	۲۷/۱۳
تیر	۵۳/۸۸	۱۹/۴۴	۴۸/۴۴	۲۶/۱۳
مرداد	۴۷/۸۸	۱۷/۰۶	۴۳/۶۳	۲۳/۱۳
شهریور	۵۷/۳۱	۱۹/۲۶	۵۲/۶۳	۲۷/۳۸

ماخذ داده‌ها: اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی



شکل ۱-۴- رطوبت نسبی متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۷۹-۱۳۹۴)

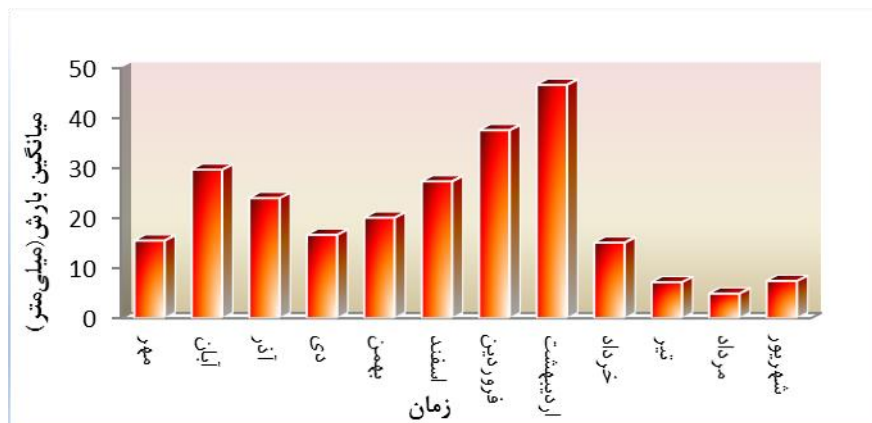
۱-۳-۳- بارش

یکی از اساسی‌ترین پارامترهای هواشناسی در مطالعات منابع آب بارندگی است، زیرا کلیه منابع آبی یک حوضه آبریز از طریق آن تأمین می‌گردد و مقدار و شدت آن بسته به شرایط مکانی و زمانی متغیر می‌باشد. حداکثر بارندگی ماهانه برای دوره آماری ۳۰ ساله در ایستگاه سینوپتیک تبریز، به طور متوسط ۴۶/۵۹ میلی‌متر در اردیبهشت ماه و حداقل متوسط بارندگی به میزان ۴/۹۳ میلی‌متر در مرداد ماه اندازه‌گیری شده است (جدول ۱-۳). تغییرات میزان بارندگی ماهانه در طول دوره آماری ۳۰ ساله در شکل (۱-۵) آورده شده است. بر اساس نتایج متوسط بارندگی سالانه در محدوده مورد مطالعه ۲۴۵/۵ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱-۳- تغییرات میزان بارندگی در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴

ماه	میانگین بارش ماهانه	ماه	میانگین بارش ماهانه
مهر	۱۵/۵۰	فروردین	۳۷/۵۲
آبان	۲۹/۶۵	اردیبهشت	۴۶/۵۹
آذر	۲۳/۹۷	خرداد	۱۵/۰۷
دی	۱۶/۶۴	تیر	۷/۱۹
بهمن	۲۰/۰۶	مرداد	۴/۹۳
اسفند	۲۷/۳۱	شهریور	۷/۴۴

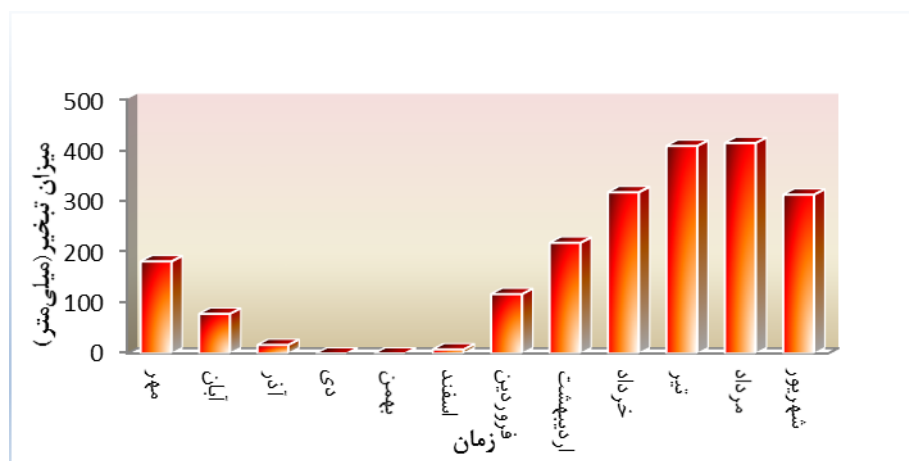
مأخذ داده‌ها: اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی



شکل ۱-۵- نمودار میانگین بارش متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۶۴-۱۳۹۴)

۴-۳-۱- تبخیر

تبخیر یکی از مولفه‌های اصلی چرخه آب و از عوامل موثر در برقراری بیلان آب است. با توجه به شکل ۱-۶ در مرداد ماه بیشترین میزان تبخیر و در دی و بهمن ماه کمترین میزان تبخیر در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌گردد.



شکل ۱-۶- نمودار میزان متوسط تبخیر ماهانه ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۷۹-۱۳۹۴)

۵-۳-۱- اقلیم

اقلیم یا همان آب و هوا نتیجه تأثیر توأم پدیده‌های هواشناسی است و حالت متوسط هوا را در یک نقطه نشان می‌دهد. مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی در تعیین اقلیم یک

منطقه نقش دارند که در مطالعات هیدرولوژی فقط عوامل هواشناسی منظور و تأثیر سایر عوامل در نظر گرفته نمی‌شود. برای تعیین اقلیم هر منطقه تقسیم بندی‌های مختلفی ارائه شده است. در این تحقیق با استفاده از دو روش دمارتن و آمبرژه وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف) تقسیم بندی اقلیمی منطقه در سیستم دمارتن

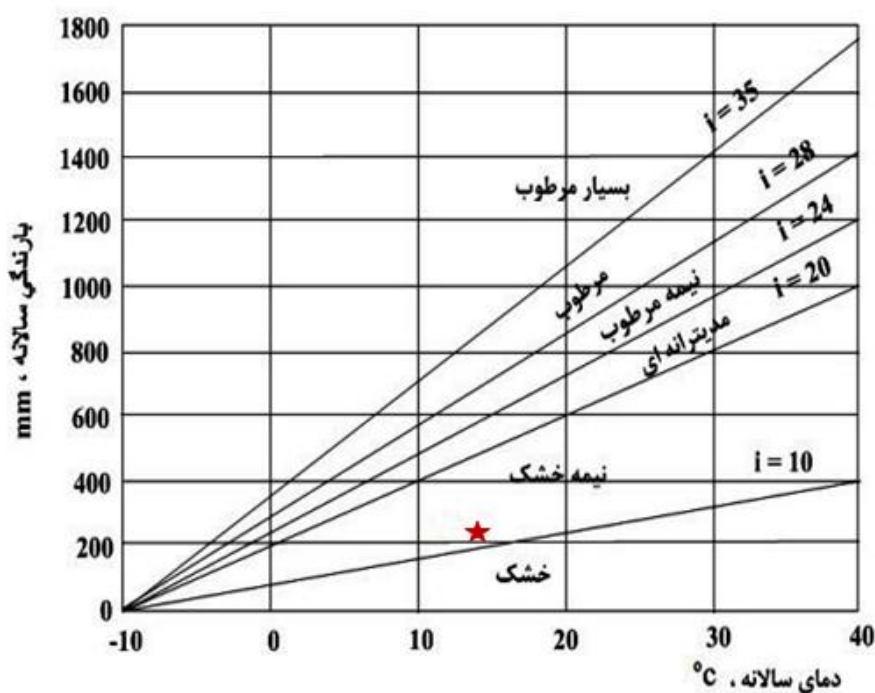
تقسیم بندی اقلیمی دمارتن بر اساس مقدار متوسط بارش سالانه به میلی متر (P) و میانگین سالانه دمای روزانه به درجه سانتیگراد (T) بر مبنای ضریب خشکی (i) به صورت زیر برآورد می‌شود.

$$i = \frac{P}{T} + 10 \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

بر اساس فرمول دمارتن شش نوع آب و هوا طبقه‌بندی شده است که منطقه مورد مطالعه بر اساس این طبقه‌بندی دارای اقلیم نیمه خشک قرار می‌گیرد (جدول ۴-۱). وضعیت اقلیم منطقه بر روی اقلیم نمای دمارتن (شکل ۷-۱) که محور عمودی آن بارش سالانه (بر حسب میلی‌متر) و محور افقی دمای سالانه (بر حسب درجه سانتی‌گراد) است نیز نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن

محدوده ضریب خشکی	نوع اقلیم	میانگین بارش سالانه (mm)	P	۲۴۵/۵
کوچکتر از ۱۰	خشک	متوسط درجه حرارت سالانه (°C)	T	۱۳/۳۰
۱۰ تا ۱۹/۹	نیمه خشک	ضریب خشکی	i	۱۰/۵۳
۲۰ تا ۲۳/۹	مدیترانه‌ای			
۲۴ تا ۲۷/۹	نیمه مرطوب			
۲۸ تا ۳۴/۹	مرطوب			
بزرگتر از ۳۵	بسیار مرطوب			



شکل ۷-۱ نمودار طبقه‌بندی دمارتن

ب) تقسیم بندی اقلیمی در سیستم آمبرژه

براساس طبقه‌بندی آمبرژه عوامل تعیین کننده اقلیم منطقه در جدول (۵-۱) آورده شده است. اقلیم نمای آمبرژه از دو محور عمود بر هم تشکیل شده است که در محور افقی مقدار m (بر حسب درجه کلونین) در محور عمودی مقدار Q می‌باشد. مبنای این طبقه بندی اقلیمی، براساس فرمول زیر استوار است (علیزاده ۱۳۸۰).

$$Q = 2000 \times \frac{P}{M^2 - m^2} \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

که P بارندگی سالانه (میلی متر)، M و m به ترتیب متوسط حداکثرهای درجه حرارت در گرمترین ماه سال و متوسط حداقل های درجه حرارت در سردترین ماه سال می باشند.

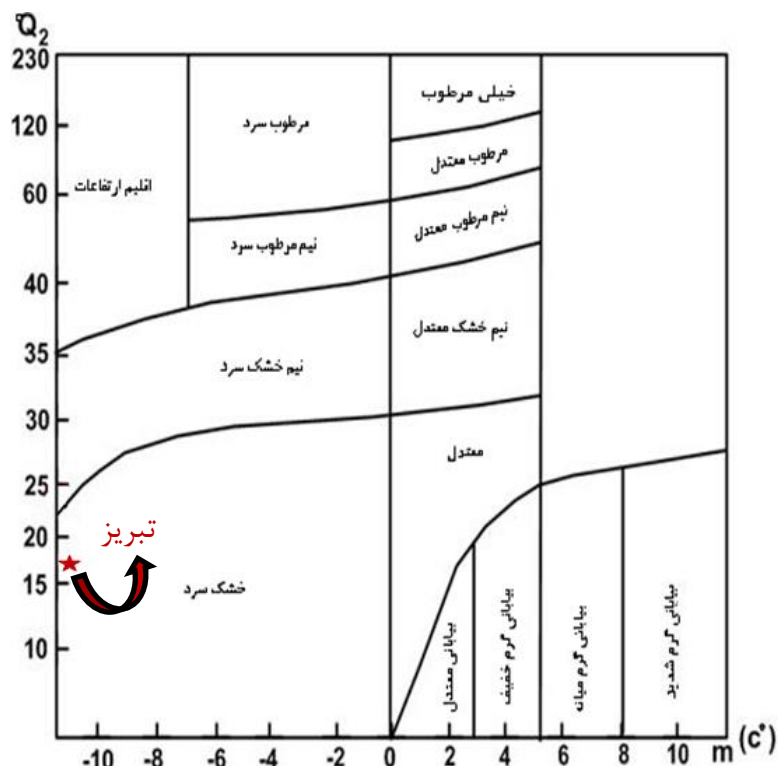
با توجه به اقلیم نمای آمبرژه اقلیم منطقه مورد مطالعه برای ارتفاعات و دشت، خشک سرد است (جدول ۶-۱ و شکل ۸-۱).

جدول ۵-۱ عوامل تعیین کننده اقلیم در سیستم آمبرژه

کلوین	سانتی گراد		
۳۱۰/۹۷	۳۷/۹۷	M	متوسط حداکثرهای درجه حرارت در گرمترین ماه سال
۲۶۱/۲۳	-۱۱/۷۷	m	متوسط حداقل های درجه حرارت در سردترین ماه سال
	۲۴۵/۵۴	p	بارندگی سالانه (میلی متر)
		$Q = ۱۷/۲۶$	

جدول ۶-۱ طبقه بندی اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس سیستم آمبرژه

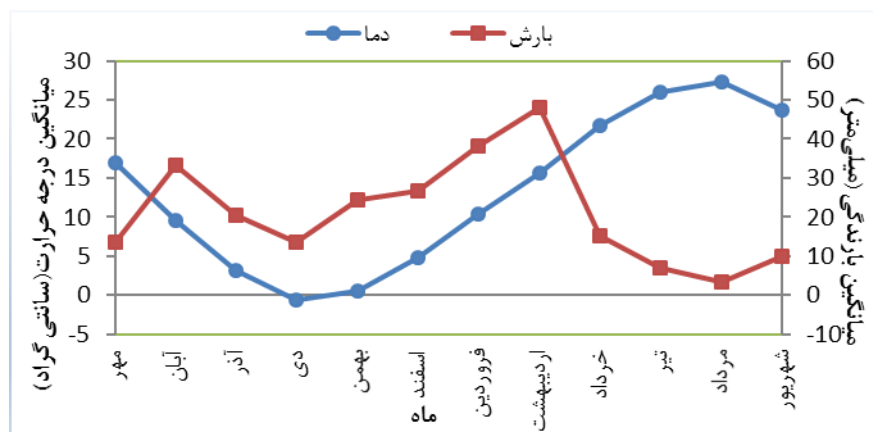
نوع اقلیم Q	محدوده ضریب خشکی
بیابانی	کوچکتر از ۱۰
خشک سرد	۱۰ تا ۲۸
نیمه خشک	۲۸ تا ۲۸/۱
نیمه مرطوب	۲۸/۱ تا ۵۵
مرطوب	۵۵ تا ۱۱۰
خیلی مرطوب	بزرگتر از ۱۱۰



شکل ۸-۱- وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه

ج) نمودار آمبروترمیک

نمودار یا منحنی آمبروترمیک نموداری است که برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی به کار می‌رود و خاص مناطقی است که اغلب بارندگی آنها زمستانی می‌باشد (علیزاده ۱۳۸۰). شکل ۹-۱ نمودار آمبروترمیک منطقه را همراه با دوره‌های خشک و تر نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار هفت ماه از سال در دشت تبریز دوره مرطوب و پنج ماه دیگر دوره خشک محسوب می‌شود. دوره خشک دشت تبریز در فاصله زمانی خرداد تا مهر ماه می‌باشد. از آبان ماه تا اردیبهشت هر سال نیز دوره مرطوب در این منطقه است.



شکل ۱-۹- نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک تبریز (۱۳۷۹-۱۳۹۴)

۴-۱- زمین‌شناسی منطقه

نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی در شکل ۱-۱۰ ارائه شده است. مهمترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه به شرح زیر می‌باشد (مشاور یکم ۱۳۹۱):

سازندهای کوه مورو

کوه مورو با وسعتی حدود ۴۰ کیلومتر مربع در شمال غرب تبریز و در فاصله تقریبی ۲۰ کیلومتری سمت راست جاده تبریز- صوفیان واقع شده است. سازندهای زمین‌شناسی گوناگون در این مجموعه رخنمون دارند. این مجموعه متشکل از واحدهای سنگی زیر می‌باشد:

- شیست و کوارتزیت‌های سازند کهر، شیل، ماسه سنگ و دولومیت‌های سازند بایندر، دولومیت‌های چرت‌دار سلطانیه.

- سازندهای پالئوزوئیک شامل دولومیت‌ها و شیل‌های سازند باروت، ماسه سنگ‌های قرمز رنگ و شیل‌های میکادار سازند زاگون و لالون، آهک، دولومیت و شیل‌های خاکستری رنگ سازند میلا، ماسه سنگ‌های سازند دورود، آهک‌های خاکستری رنگ و دولومیت‌های توده‌ای سازند روته.

- واحدهای سنگی مزوزوئیک شامل آهک‌های مارنی و دولومیت‌های خاکستری سازند الیکا

(تریاس)، شیل‌ها و ماسه سنگ‌های سبز رنگ و آهک‌های خاکستری تیره سازند شمشک (ژوراسیک). رخنمونی از آهک‌های کرتاسه که در قطعات کم وسعت در این مجموعه واقع شده است. همچنین قطعاتی از سنگ‌های آذرین از جنس گرانودیوریت و گابرو در این مجموعه دیده می‌شود.

سازندهای میوسن

سازندهای متعلق به این دوره به صورت گوناگون شامل کنگلومرا با میان لایه‌های مارنی در دامنه‌های شمالی کوه مورو، تناوبی از مارن‌های سبز، خاکستری و قرمز رنگ، میان لایه‌های مارنی- ماسه سنگی گچ‌دار در ناحیه بارنج و شرق باغمیشه، مارن‌های قرمز رنگ به همراه ماسه سنگ در حوضه سینخ چای و نواحی شمالی کوه مورو و ماسه سنگ و مارن قرمز که در سطحی بسیار گسترده در ارتفاعات شمال شرق دشت تبریز در کوه عون بن علی رخنمون دارند. همچنین کنگلومرای قرمز رنگ با تناوبی از ماسه سنگ و مارن که در ارتفاعات شمال بابا باغی در سطحی گسترده مشاهده می‌شود.

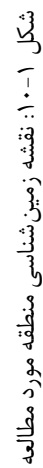
پلیوسن

واحدهای سنگی پلیوسن در دامنه ارتفاعات جنوبی دشت و کوهپایه‌های سهند به شکل لایه‌هایی از رسوبات دانه‌ریز آواری و توف همراه با دیاتومیت با گسترش محدود در حاشیه دشت و نهشته‌هایی از جنس کنگلومرای نیمه سیمانی شده همراه با لایه‌هایی از ماسه سنگ، پومیس، خاکستر و عناصر آذرآواری در سطحی بسیار گسترده سرتاسر ارتفاعات جنوبی دشت و دامنه‌ای سهند را پوشانده است.

کواترنر

نهشته‌های کواترنر در دشت تبریز به شکل اراضی تپه ماهور با رسوبات تراسی و مخروط افکنه به ویژه در دامنه کوه مورو و دره امند، رسوبات تراسی جوان‌تر که پهنه اصلی دشت

تبریز را می‌پوشاند (Qt_2) و بالاخره پهنه‌های کاملاً مسطح و دانه‌ریز میان دشت (Q_{sf}) است که شامل اراضی شور بوده و در انتها به پهنه‌های مسطح تبخیری و شورزارهای حاشیه دریاچه ارومیه می‌رسد. بستر رودخانه‌ها به ویژه در ابتدای ورود به دشت پوشیده از عناصر آبرفتی دانه درشت می‌باشد که ذخایر بسیار غنی برای تولید بتون فراهم نموده است.



۱-۵- هیدرولوژی منطقه

آجی چای یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین رودخانه‌های جاری در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. این رودخانه همچنین بزرگترین رود ورودی به دریاچه ارومیه است. آجی چای از دامنه‌های کوه‌های سبلان و بزقوش در منطقه سراب سرچشمه گرفته و پس از گذر از محدوده مطالعاتی دوزدوزان به محدوده مطالعاتی تبریز می‌رسد. سرشاخه‌های مهمی از جمله نهندچای، گمناب‌چای، سنیخ‌چای، مهران‌رود، سردرود، عنصررود در داخل محدوده تبریز به این رودخانه می‌پیوندند. آجی چای روند شرقی-غربی داشته و حوضه آبریز آن از سمت شمال به کوه‌های سبلان، قوشه‌داغ و ارسباران و از سمت جنوب به کوه‌های سه‌پند و بزقوش محدود شده و پس از گذر از شمال شهر تبریز (دره شمال کوه عینالی) و جلگه تبریز از شمال شرقی جزیره اسلامی به دریاچه ارومیه سرازیر می‌شود. طول رودخانه آجی چای در ابتدای محدوده مطالعاتی تبریز ۲۰۴ کیلومتر و در انتهای دشت تبریز ۲۶۲ کیلومتر می‌باشد (مشاور یکم ۱۳۹۱). بیشترین ارتفاع حوزه آبریز آجی چای برابر ۳۸۸۲ متر در شمال شرقی و کمترین ارتفاع آن برابر ۱۲۸۰ متر در سواحل دریاچه ارومیه می‌باشد (مشاور قدس نیرو، ۱۳۸۵).

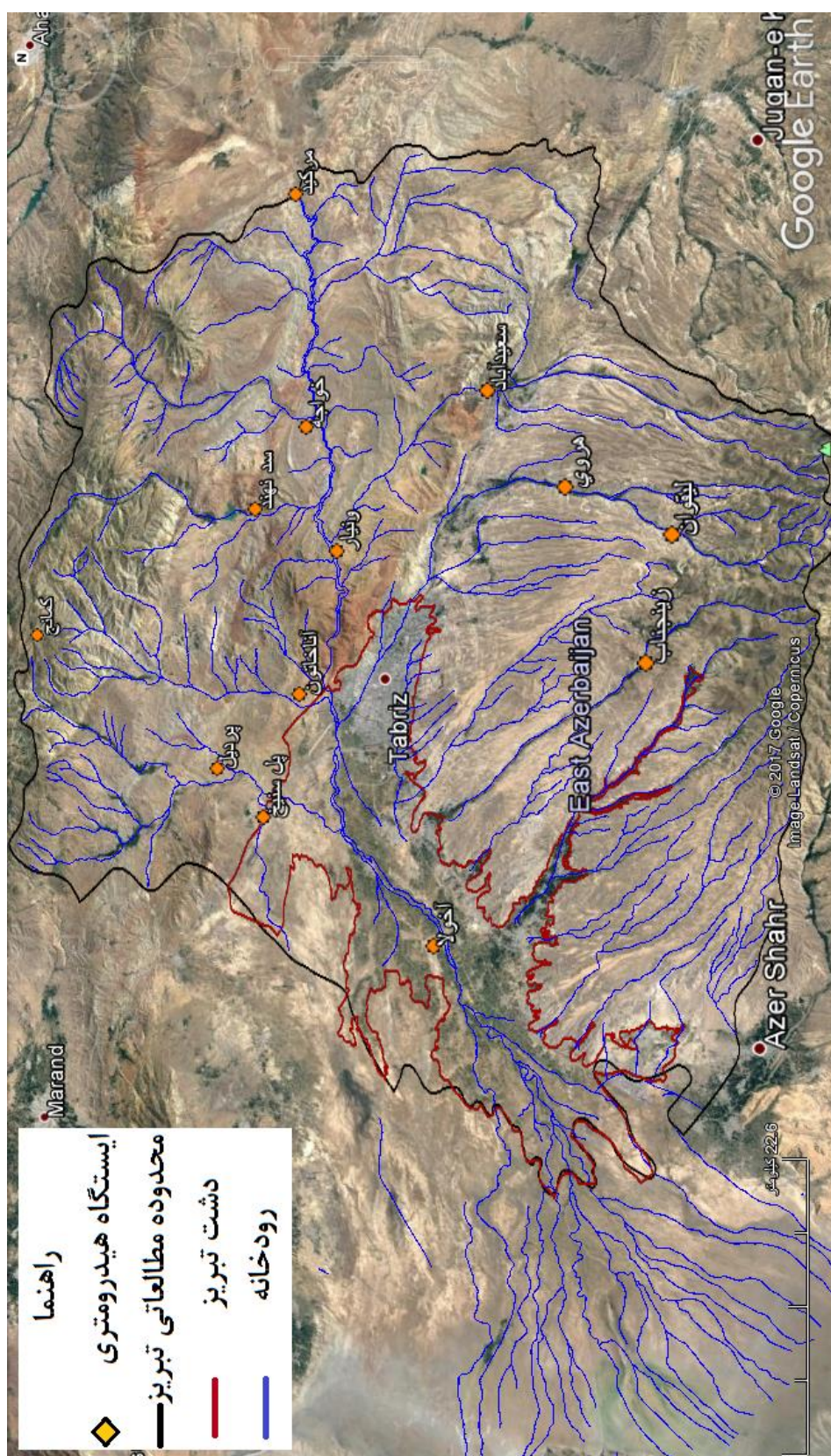
از شاخه‌های آجی چای گمناب‌چای (کموچای) می‌باشد که در شمال دشت تبریز جریان دارد و از ارتفاعات غرب آبادی شاه بلاغ (جنوب کوه قصبه) واقع در حدود ۴۴ کیلومتری شمال شهر تبریز سرچشمه می‌گیرد و آبادی‌های ساری قیه، کنز تق و اولی کندی را مشروب ساخته، در ۲ کیلومتری شمال شهر تبریز به رودخانه آجی چای می‌ریزد.

زینجناب رود (سردرود) با طول ۵۰ کیلومتر از دیگر شاخه‌های آجی چای است که در جنوب و جنوب غرب مرکز شهر تبریز جریان دارد و از کوه‌های واقع در حدود ۲۸ کیلومتری جنوب شرقی شهر اسکو سرچشمه می‌گیرد و آبادی‌های زینجناب، هزه‌بران، انرجان، اسپینجان، زرنق، خلجان و سردرود را مشروب ساخته و در نهایت به صورت شاخه‌های متعدد به رودخانه آجی چای می‌ریزد.

مهران رود یکی دیگر از شاخه‌های آجی‌چای با طول ۴۹ کیلومتر که در جنوب شرق، شرق و شمال غرب مرکز شهرستان تبریز جریان دارد و از به هم پیوستن دو رودخانه بارلی‌چای و باغچه دره سی واقع در حدود ۱۷ کیلومتری جنوب شهر باسمنج تشکیل می‌شود و آبادی‌های لیقوان، بیرق، هروی، دیزج لیلی خانی، حاج عبدال، شهر باسمنج، کندرود، نعمت آباد، کرگج، بارنج و شهر تبریز را مشروب ساخته و در شمال غرب شهر تبریز به آجی‌چای می‌ریزد. پنج ایستگاه هیدرومتری در شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای واقع گردیده که شامل ایستگاه‌های سرانسر، مرکید، خواجه، ونیار و آخولا است (شکل ۱-۱۱)

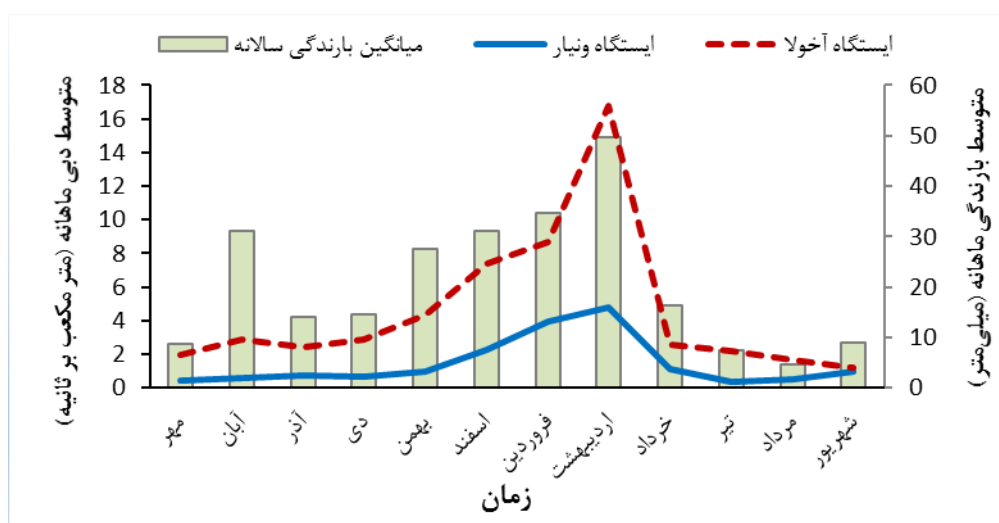
رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی ورودی به دشت تبریز، دارای رژیم برفی- بارانی هستند و بخشی از حجم جریان‌های بهاره را ذوب برف تشکیل می‌دهد (مشاور یکم ۱۳۹۱). آبدهی متوسط سالانه رودخانه اصلی آجی‌چای در ایستگاه هیدرومتری ونیار به عنوان ورودی جریان آجی‌چای به محدوده دشت تبریز ۱۷/۴ مترمکعب بر ثانیه و در ایستگاه هیدرومتری آخولا به عنوان خروجی جریان آجی‌چای از محدوده دشت تبریز ۵۵/۰۸ مترمکعب بر ثانیه است. بررسی آبدهی فصلی این ایستگاه‌ها در دوره آماری ۱۰ ساله نشان می‌دهد فصل بهار در هر دو ایستگاه ونیار و آخولا به ترتیب با متوسط آبدهی ۳۲/۸ و ۸۷/۹ مترمکعب بر ثانیه، پرآب‌ترین و فصل تابستان به ترتیب با متوسط آبدهی ۶/۱۶ و ۱۷/۰۷ مترمکعب بر ثانیه کم‌آب‌ترین فصل سال هستند. میزان دبی رودخانه آجی‌چای در سال ۹۵، در فصل تر و خشک در ایستگاه هیدرومتری ونیار به ترتیب ۳/۹ و ۰/۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه و در ایستگاه هیدرومتری هروی (مهران‌رود) به ترتیب ۲/۷۶ و ۰/۰۰۶ متر مکعب بر ثانیه و در ایستگاه هیدرومتری آناختون (گمناب‌چای) به ترتیب ۱/۳ و صفر متر مکعب بر ثانیه گزارش شده است که این موضوع نشان‌دهنده بالا بودن دبی رودخانه مهران‌رود نسبت به شاخه اصلی و گمناب‌چای در فصل خشک در این سال است. میانگین دبی ماهانه در طول دوره آماری ۱۰ ساله به تفکیک دو ایستگاه هیدرومتری ونیار و آخولا در شکل (۱-۱۲) ارائه شده است. بیشترین میزان آبدهی رودخانه آجی‌چای

در اردیبهشت ماه و کمترین میزان آبدهی آن در شهریور ماه می باشد.



شکل ۱۱-۱ موقعیت ایستگاه های هیدرومتری واقع در مسیر رودخانه آجی چای در محدوده مطالعاتی تبریز

تغییرات دبی رودخانه در هر دو ایستگاه مورد بررسی نشان دهنده ارتباط منطقی بارندگی و دبی رودخانه در طول سال می باشد (شکل ۱-۱۲).



شکل ۱-۱۲ متوسط آبدهی ماهانه ایستگاههای هیدرومتری ونیار و آخولا در دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۵)

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

کیفیت آب در هر محل منعکس کننده اثر عوامل مختلف مانند زمین شناسی، شرایط اقلیمی و منابع آلاینده انسانی می باشد. پایش کیفیت منابع آب اغلب موجب تولید داده های پیچیده ای می شود که حاوی اطلاعات زیادی درباره رفتار منابع آب بوده و نیاز به روش های مناسبی برای تحلیل و تفسیر دارند. شاخص های کیفی ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب هستند که در آنها داده های مربوط به چند پارامتر کیفیت آب در یک فرمول ریاضی وارد می شوند که با یک عدد، میزان سلامتی آب را نشان می دهد. این عدد با یک مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد تا عالی است، دسته بندی می شود. در این فصل ابتدا به بیان عوامل تأثیرگذار بر شیمی آب های سطحی و منابع آلوده کننده آن پرداخته شده و در انتها انواع شاخص های کیفی جهت پایش کیفی منابع آبی ارائه می گردد.

۲-۲- عوامل تأثیرگذار بر شیمی آب های سطحی

از مواردی که بر شیمی آب های سطحی تأثیر می گذارد می توان به جنس خاک و سنگ (رسوبات بستر) و پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نظیر دما، pH، پتانسیل ردوکس، فرآیندهای جذب و واجذب از مواد آلی و غیر آلی، تبادل کاتیونی، رقت، تبخیر و حضور میکروارگانیسم ها در آب اشاره نمود. جریان آب بر روی سنگ آهک pH آب را تا ۸ بالا خواهد برد. در حالیکه جریان آب روی گرانیت که به طور عمده شامل کواتز و فلدسپات است، pH آب را تا حدود ۶ می رساند. اگر پیریت وجود داشته باشد اکسیداسیون مواد معدنی موجب اسیدی شدن آب خواهد شد و می تواند باعث حلالیت و تحرک پذیری فلزات سنگین شود. افت pH به ۵ یا پایین تر از آن باعث مشکلات جدی در اکوسیستم های آبی خواهد شد (Bradl, 2005).

کیفیت آب رودخانه علاوه بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه یعنی آبدهی و دفعات سیل در هر سال به رواناب سطحی و زیر سطحی و آب زیرزمینی نیز بستگی دارد. رواناب سطحی به طور کلی با کدورت آب و حمل مقادیر زیادی از کل مواد جامد معلق از جمله کربن آلی ذره‌ای، رواناب زیرسطحی با شستن کربن آلی محلول و مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) از خاک و آب‌های زیرزمینی با انحلال بسیاری از عناصر حاصل از هوازدگی و انحلال سنگ‌ها (سدیم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم) عناصر را وارد آب‌ها می‌کنند. اتمسفر منبع اصلی کلر و سولفات به همراه سدیم بویژه در حوضه‌هایی که در آنجا هیچ سنگ تبخیری یا پیریت وجود ندارد می‌باشد (Chapman, 1996).

عوامل انسان‌زاد نیز به صورت نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای باعث تغییر ترکیب آب‌ها می‌شوند. منابع نقطه‌ای آلودگی می‌تواند خروجی مربوط به یک واحد بوده که در صورت عدم تصفیه یا تصفیه ناقص ایجاد می‌شود. تخلیه فاضلاب احتمالاً هنوز هم منبع نقطه‌ای مهم آلودگی آب در جهان است. دیگر منابع نقطه‌ای مهم آلودگی شامل زهاب معادن و پساب‌های صنعتی است (Chapman, 1996).

از منابع غیرنقطه‌ای می‌توان به رواناب‌های کشاورزی اشاره کرد که با فرسایش خاک و زهکشی سطحی، انتقال ذرات آلی و غیرآلی و مواد مغذی خاک، آفت‌کش‌ها و علف‌کش را به آب‌های مجاور سبب می‌شوند. رواناب‌های شهری و مناطق اطراف آن شامل آلاینده‌های احتمالی مانند مشتقات احتراق، سوخت‌های فسیلی، باکتری‌ها، فلزات (بویژه سرب) و یا آلاینده‌های صنعتی بویژه PCB ها، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های مورد استفاده در محوطه‌های باغبانی و محل دفن زباله‌های جامد شهری و صنعتی هستند (Chapman, 1996).

فلزات سنگین به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی محیط زیست، منابع مختلفی دارد که می‌تواند طبیعی یا غیر طبیعی (انسان‌زاد) باشد. از جمله منابع طبیعی فلزات در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌توان به سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی اشاره کرد. فلزات سنگین توسط بسیاری از فعالیت‌های انسانی نیز به محیط زیست وارد می‌شوند. آنها همچنین در انواع زیادی از محصولات

صنعتی که در دراز مدت باید به عنوان زباله دفن گردند نیز استفاده می‌شوند (Bradl, 2005). انتشار فلزات سنگین به محیط زیست در آغاز زنجیره تولید در زمان استخراج سنگ معدن، در طول استفاده از محصولات حاوی آنها و همچنین در پایان زنجیره تولید رخ می‌دهد. منابع انسانزاد شامل فعالیت‌های کشاورزی که در آن از کودهای شیمیایی و حیوانی و آفت‌کش‌های حاوی فلزات سنگین به طور گسترده استفاده می‌شود، فعالیت‌های معدنکاری (فرآوری و استخراج) و دیگر منابع از قبیل تولید انرژی و حمل و نقل، محصولات میکروالکترونیک و در نهایت تخلیه پسماندها به محیط زیست (به صورت گازی، ذرات معلق و یا جامد و یا مایع) منابع اصلی ورود فلزات سنگین به محیط هستند (Bradl, 2005). نسبت اشکال فلزات سنگین در آب‌های طبیعی (حل شده، کلوئیدی و معلق) برای فلزات مختلف و برای آب‌های مختلف متفاوت است. در نتیجه پتانسیل ته‌نشینی و سمیت فلزات بسته به شکل آن تغییر می‌کند (Chapman, 1996). فلزات سنگین ممکن است توسط کانی‌های رسی و هیدرواکسیدهای آهن و منگنز و یا گیاهان جذب شوند و تجمع یابند و به این طریق وارد زنجیره غذایی موجودات در سطوح پایین و خسارت به موجودات دیگر در سطوح تغذیه‌ای بالاتر شوند (Bradl, 2005).

۲-۳- شاخص کیفیت آب

تا اواخر ۱۹۶۰، کمیت آب مد نظر بود. مگر در شرایطی که کیفیت نامطلوب آب کاملاً آشکار بود که در این صورت آب به طور خودکار غیر قابل مصرف تلقی می‌شد. تنها در سه دهه آخر قرن بیستم نگرانی برای کیفیت آب احساس شد. در حال حاضر، کیفیت آب اهمیت زیادی نسبت به کمیت آب دارد (Abbasi, 2012). یکی از اولین شاخص‌های کیفیت آب شاخص ساپروبیک^۱ است که به عنوان درجه‌ای برای تعیین بارگذاری ماده آلی تجزیه‌پذیر در جریان آب مطرح شد (از انواع شاخص‌های

^۱ Saprobic Index

بیولوژیک). نرخ ساپروبیک با انجام مطالعات تجربی تعیین شد و به جای اختصاص دادن یک مقدار عددی برای نشان دادن کیفیت آب، آب را به چند رده و یا سطوح آلودگی دسته‌بندی نمود (Abbasi, 2012). سیستم درجه‌بندی کیفیت آب با استفاده از این شاخص ناقص و در زمان‌هایی غیر عملی بوده و بنابراین جستجو در دهه‌های بعد برای یک سیستم بهتر ادامه یافت. از زمان بوجود آمدن مفهوم کیفیت آب در قالب شاخص ساپروبیک، بیش از یک قرن به توسعه شاخص‌های عددی برای ارزیابی کیفیت آب پرداخته شده است (Lumb et al., 2011). در سال ۱۹۶۵، یک روش جدید در قالب یک سیستم عددی برای طبقه‌بندی کیفیت آب ارائه شد و شکل ریاضی از WQI^1 با انتخاب، امتیاز و یکپارچه‌سازی قابل توجه پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در نمونه آب بوجود آمد (Lumb et al., 2011). تدوین و استفاده از شاخص به شدت توسط سازمان‌های مسئول تأمین آب و کنترل آلودگی آب حمایت می‌شود (Abbasi, 2012).

۲-۴- اهمیت شاخص کیفیت آب

هنگامی که داده‌های کیفیت آب از طریق نمونه‌برداری و آنالیز نمونه آب جمع‌آوری شدند، نیاز به تفسیر آنها به شکلی ساده و قابل درک می‌باشد. شاخص کیفی آب (WQI) به عنوان یک ابزار مناسب برای بررسی روند کیفی، نشان دادن شرایط خاص زیست محیطی و برای کمک به تصمیم‌گیرندگان دولتی در ارزیابی کارایی برنامه‌های نظارتی مفید می‌باشد (Abbasi, 2012). در واقع، تقریباً تمام اهدافی که برای نظارت بر کیفیت آب؛ ارزیابی، استفاده، تصفیه، تخصیص منابع، اطلاعات عمومی و برنامه‌ریزی زیست محیطی لازم می‌باشند در این شاخص‌ها دنبال می‌شود. علاوه بر این، انتقال و استفاده از داده‌های کیفیت آب توسط شاخص‌ها بسیار ساده‌تر و شفاف‌تر می‌باشد. به عبارت دیگر، شاخص کیفیت آب کمک می‌کند در:

¹ Water Quality Index

تخصیص منابع: شاخص‌ها ممکن است در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با آب، برای کمک به مدیران در تخصیص بودجه و تعیین اولویت به کار رود.

رتبه‌بندی: شاخص‌ها ممکن است برای کمک در مقایسه کیفیت آب در مکان‌های مختلف و یا مناطق جغرافیایی به کار رود.

اعمال استانداردها: شاخص‌ها ممکن است در مکان‌های خاص برای تعیین میزان مطابقت با استانداردهای قانونی و معیارهای موجود و یا تعیین میزان بالاتر بودن از حد استاندارد و معیارها به کار رود.

روند آنالیز: شاخص‌ها ممکن است از اطلاعات کیفی آب در نقاط مختلف نسبت به زمان، برای تعیین تغییرات کیفی (تنزل و یا بهتر شدن) که در طولانی مدت رخ داده است، استفاده شود.

اطلاعات عمومی: رتبه‌بندی شاخص برای درک آسان اندازه‌گیری سطوح کیفیت آب، برای حفظ عمومی و اطلاع از کیفیت آب مطرح می‌شود.

تحقیقات علمی: خصوصیت ذاتی شاخص که مقدار زیادی از داده‌ها را به امتیاز واحد تفسیر می‌کند، در تحقیقات علمی برای مثال در تعیین اثر بخشی اقدامات بازسازی سازگار با محیط زیست‌های مختلف و یا استراتژی‌های تصفیه آب، تأثیر فعالیت‌های توسعه بر کیفیت آب بسیار ارزشمند است (Abbasi, 2012).

۲-۵- انواع شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی

شاخص‌های کیفی با توجه به اهداف استفاده از آنها به پنج گروه تقسیم می‌شوند:

۱- شاخص‌های عمومی کیفی آب ۲- شاخص‌های مصارف ویژه ۳- شاخص‌های طراحی ۴-

شاخص‌های آماری ۵- شاخص‌های بیولوژیکی

دو فرم اصلی و ابتدایی برای شاخص‌ها وجود دارد:

شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها افزایش می‌یابد به نام شاخص آلودگی شناخته می‌شوند.

شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها کاهش می‌یابد به نام شاخص کیفی آب شناخته می‌شوند (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۵-۱- شاخص‌های عمومی کیفی آب

در شاخص‌های عمومی به نوع کاربری و مصارف آب (شرب، کشاورزی، استفاده تفریحی، حفظ حیات آبریان و حیات وحش) توجهی نمی‌شود و بدون در نظر گرفتن نوع مصرف آب به تعیین وضعیت کیفی آب پرداخته می‌شود.

۲-۵-۱-۱- شاخص کیفی Horton

مطالعات بسیاری در زمینه شاخص‌های کیفی انجام گرفته است که در این میان هورتون در سال ۱۹۶۵ (Horton, 1965)، اولین شاخص کیفی آب را برای رتبه‌بندی کیفیت آب در قالب یک سیستم عددی ارائه کرد. او شکل ریاضی شاخص کیفیت آب (WQI) را با تعیین، رتبه‌بندی و تلفیق پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تعریف نمود، که هنوز از لحاظ علمی قابل دفاع می‌باشد (Lumb et al., 2011). هورتون برای خود معیارهای زیر را هنگام توسعه اولیه WQI در نظر گرفت (Abbasi, 2012):

۱. تعداد متغیرهای به کار گرفته شده توسط شاخص برای جلوگیری از ایجاد شاخص با گستردگی کم، باید محدود شود.
۲. متغیرها باید در بسیاری از مناطق دارای اهمیت باشند.
۳. فقط متغیرهایی که داده‌های قابل اعتماد، در دسترس دارند را باید در نظر گرفت.

هورتون از ۱۰ متغیر کیفی شامل اکسیژن حل شده، pH، کلی فرم، هدایت ویژه، قلیائیت، کلرید، درصد تصفیه فاضلاب و کربن کلروفرم استفاده کرد و به هر پارامتر، وزنی اختصاص داد. فاکتور وزنی در شاخص هورتون از ۱ تا ۴ متغیر می‌باشد. شاخص کلی به صورت زیر است:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i I_i}{\sum_{i=1}^n w_i} M_1 M_2 \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

که در آن: n تعداد پارامترها، I_i زیرشاخص هر پارامتر و W_i فاکتور وزنی می‌باشد. ضرایب M_1 و M_2 به پارامترهای درجه حرارت و آلودگی آشکار بستگی دارند (Lumb et al., 2011). آلودگی آشکار در اینجا به آلودگی ملموس که شامل تشکیل لجن، رسوب، حضور روغن، مواد زائد، فوم، و غیره که باعث ایجاد رنگ یا بوی زننده می‌شوند اشاره می‌کند (Lumb et al., 2011). در صورتی که درجه حرارت کمتر از ۳۴ درجه سانتی‌گراد باشد M_1 برابر $\frac{1}{2}$ و در غیر این صورت برابر ۱ خواهد بود، همچنین اگر در جریان لجن، روغن، نخاله، فوم، مواد شناور و یا فاضلابی باشد که تولید رنگ و بو نماید، M_2 برابر $\frac{1}{2}$ در نظر گرفته می‌شود و در غیر این صورت برابر ۱ خواهد بود (Lumb et al., 2011). تعیین این ضرایب، به تشخیص فردی بستگی دارد (Abbasi, 2012). از مزایای این روش کاربرد ساده آن می‌باشد. یکی از چالش‌ها در مفهوم هورتون عملکرد خودسرانه او در انتخاب پارامترهای موجود در WQI بوده است که نیاز به بهبود دارد (Lumb et al., 2011).

۲-۵-۱-۲- شاخص کیفی آب سازمان بهداشت ملی آمریکا (NSFWQI)

براون و همکاران (Brown et al., 1970) شاخصی را در ساختاری مشابه با شاخص هورتون، توسعه دادند. انتخاب پارامترها نسبت به شاخص هورتون با توسعه مقیاس مشترک و تخصیص وزن به روش

¹ National Sanitation Foundation Water Quality Index

دلفی با دقت بسیار بیشتری انجام گرفت. برای این کار پرسشنامه‌هایی به ۱۴۲ نفر از افراد متخصص در مدیریت کیفیت آب داده شد و از آنها خواسته شد تا نظر خودشان را در مورد گنجاندن ۳۵ پارامتر در شاخص‌ها ارائه دهند. آنها در اضافه کردن پارامتر انتخابی خود مختار بودند. رتبه‌بندی در مقیاسی از ۱ (بالاترین) تا ۵ (پایین‌ترین) قرار گرفت (Akkoyunlu et al., 2012). در نهایت از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا ۱۵ پارامتری که بیشترین اهمیت را دارند، انتخاب کنند. لیستی کامل از پارامترها بر اساس کاهش درجه اهمیت، مرتب شد و به عنوان میانگین امتیازهای مهم تعیین شد و به هر یک از اعضا ارائه گردید (Abbasi, 2012). در ادامه لیست نهایی شامل ۱۱ پارامتر 'DO', 'BOD', 'pH', دما، فسفر کل، نیتрат، کدورت، کل مواد جامد، کلی‌فرم مدفوعی، آفت‌کش‌ها و ترکیبات سمی برای این روش ارائه گردید.

برای محاسبه زیرشاخص‌ها از مجموعه‌ای از نمودارها استفاده گردید. در مورد مواد آفت‌کش، اگر مقدار آنها از 0.1 mg/l بیشتر شود و یا مواد سمی اگر از مقادیر مجاز خود تجاوز نماید، مقدار شاخص برابر صفر در نظر گرفته می‌شود (Lumb et al., 2011). همچنین می‌توان از یک تابع حاصلضربی در صورت شرایط بد زیست محیطی نیز استفاده کرد. این شاخص یک شاخص با مقیاس کاهش می‌باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲).

تحقیقات بعدی نشان داد که این فرم سازگاری بهتری با نظر کارشناسان نسبت به فرم افزایشی دارد، در حالیکه هر دو آنها در حال استفاده است (Lumb et al., 2011). شاخص NSFQI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها از آن زمان تاکنون در جهان است (Lumb et al., 2011).

¹ Dissolved Oxygen

² Biological Oxygen Demand

۲-۵-۱-۳- شاخص مصارف عمومی دینگر و لندور

دینگر و لندور (Deininger & Landwehr, 1971) شاخص آبی برای استفاده عمومی ارائه دادند که در آن ۱۱ پارامتر برای منابع آب سطحی و ۱۳ پارامتر برای آب‌های زیرزمینی به کار می‌رود. دو تابع تجمع از فرم افزایشی (رابطه ۲-۲) و میانگین هندسی (رابطه ۳-۲) در نظر گرفته شد. برای هر تابع تجمع، نسخه ۱۱ و ۱۳ متغیره از شاخص محاسبه شد (Abbasi, 2012):

$$PWS = \sum_{i=1}^n w_i I_i \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

$$PWS = \left(\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

که در آن $n = 11$ برای نسخه ۱۱ متغیره و $n = 13$ برای نسخه ۱۳ متغیره است، I_i زیرشاخص هر پارامتر و W_i فاکتور وزنی می‌باشد.

متغیرهای به کار رفته در این شاخص به طور کلی شامل اکسیژن محلول، کلی فرم مدفوعی، نیترات، pH، BOD، دما، کدورت، جامدات حل شده، فنول، رنگ، سختی، فلورید و آهن بوده که برای هر کدام از پارامترها وزن‌هایی اختصاص می‌یابد (Abbasi, 2012).

۲-۵-۱-۴- شاخص آلودگی پراتی (Prati)

این شاخص در سال ۱۹۷۱ بر اساس استانداردهای کیفی آب توسط پراتی و همکاران (Prati et al., 1971) توسعه داده شد. این شاخص، شاخصی با مقیاس کاهشی می‌باشد. برای ارائه این طرح در مرحله اول، کیفیت آب در مقابل تمام پارامترها بر اساس استانداردهای کیفی آب طبقه‌بندی می‌شود. در مرحله دوم، یک آلاینده به عنوان مرجع در نظر گرفته شده و مقادیر واقعی آن به طور مستقیم به عنوان شاخص مرجع در نظر گرفته می‌شود و در مرحله سوم، هر یک از مقادیر آلاینده به بیان

ریاضی در زیرشاخص تبدیل می‌گردد. پارامترهای استفاده شده در این شاخص که هر کدام توسط توابع خاصی محاسبه می‌گردند، شامل DO، BOD، COD، pH، کلرید، نیتрат، پرمنگنات، آمونیاک، جامدات معلق، آهن، منگنز، آلکالی بنزن سولفانات و کربن کلی فرم می‌باشند (Abbasi, 2012). این شاخص طبق رابطه ۴-۲ محاسبه می‌شود.

$$I = 1.13 \sum_{i=1}^{13} I_i \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

که در آن I_i زیرشاخص هر پارامتر می‌باشد.

۲-۵-۱-۵- شاخص دینیوس (Dinius)

دینیوس (Dinius, 1972) برای برآورد هزینه‌ها و تأثیر تلاش‌ها بر کنترل آلودگی، یک سیستم بررسی اجتماعی اولیه را پیشنهاد کرد. هدف او از این عمل ارائه یک روش برای تنظیم گزارشات آگاهی دهنده به عموم و دولت از میزان و موقعیت آلودگی منابع آبی بود، همچنین با این عمل هزینه لازم جهت کنترل آلودگی در منابع طبیعی به دست می‌آمد (الباجی و همکاران، ۱۳۹۳). در این شاخص ۱۱ پارامتر (DO ، BOD_5 ، تعداد کلی فرم‌ها، $E. coli$ ، pH، آلکالیتی، سختی، هدایت ویژه، دما، رنگ) مورد استفاده قرار می‌گیرند (Abbasi, 2012).

رابطه شاخص به صورت زیر می‌باشد. در این شاخص نیز I_i زیرشاخص هر پارامتر و W_i فاکتور وزنی می‌باشد.

$$WQI = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{11} w_i I_i \quad \text{رابطه (۵-۲)}$$

^۱ *Escherichia Coli*

۲-۵-۱-۶- شاخص آلودگی رودخانه (RPI)

مک دافی و هانی (McDuffie & Haney, 1973) شاخص کیفی ساده آب به نام شاخص آلودگی رودخانه را ارائه نمودند. آنها ۸ متغیر آلاینده را انتخاب کردند. اگر چه هشت متغیر آلاینده انتخاب گردید، اما تعداد کمتر یا بیشتر از هشت متغیر را بسته به در دسترس بودن داده‌ها می‌توان در شاخص گنجاند (Lumb et al., 2011). بیشتر زیرشاخص‌ها به شکل عمومی خطی هستند. ۶ پارامتر درصد کمبود اکسیژن، مواد آلی قابل تجزیه، مواد آلی مقاوم، جامدات محلول غیر فرار، مواد مغذی و نمک‌های محلول توابع خطی و ۲ پارامتر دما و تعداد کلی فرم توابع غیر خطی دارند (Abbasi, 2012). این شاخص شامل pH و مواد سمی نمی‌شود.

۲-۵-۱-۷- شاخص عمومی لهستان

دوچلیدو و همکاران (Dojlido et al., 1994)، از شاخص WQI دو لایه استفاده کردند. این شاخص بر اساس ۷ پارامتری که بیشتر در کنترل کیفیت آب مورد استفاده هستند، شامل BOD_5 ، جامدات معلق، فسفات، آمونیاک، مواد جامد محلول، COD^2 و اکسیژن محلول استوار است. در سطوح بالاتر «پارامترهای فرعی» شامل COD، نیتрат، جیوه، سرب، کروم ۶، کل کروم، روی، کادمیوم، نیکل و سیانید به حالت آزاد در نظر گرفته شد. پارامترهای فرعی تنها در حالتی که زیر شاخص آنها کمتر از شاخص محاسبه شده پارامترهای اصلی باشد وارد محاسبات می‌گردد. این بدان معنی است که در تمام موارد شاخص کیفیت آب برای پارامترهای فرعی محاسبه می‌شود. زیرشاخص پارامترهای واحد، بر

^۱ River Pollution Index

^۲ Chemical Oxygen Demand

اساس استاندارد وزارت لهستان توسعه داده شد و برای محاسبه شاخص اولیه از رابطه میانگین هارمونیک مرتبه دوم استفاده گردید (Dojlido *et al.*, 1994).

اگر $x_i \neq 0$ باشد، برای هر i :

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2}}} \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

اگر $x_i = 0$ باشد، برای هر i ، WQI صفر خواهد بود. که در اینجا n تعداد پارامترها و x_i شاخص واحد هر پارامتر می باشد.

در این شاخص چهار کلاس برای آب فرض شده است: عدد شاخص کوچکتر از ۰ تا ۲۵ نشان دهنده آب بسیار آلوده و یا کلاس IV می باشد، عدد شاخص ۲۶ تا ۵۰ نشان دهنده آب آلوده و یا کلاس III می باشد، عدد شاخص ۵۱ تا ۷۵ نشان دهنده آب تمیز و یا کلاس II می باشد، عدد شاخص ۷۶ تا ۱۰۰ نشان دهنده آب بسیار تمیز و یا کلاس I می باشد.

۲-۵-۱-۸- شاخص کل آلودگی (OPI^1)

شاخص کل آلودگی (OIP) توسط سارگانکار و دیشپاند (Sargoankar & Deshpande, 2003) در مؤسسه تحقیقات ملی مهندسی محیط زیست ($NEERI^2$) ناگپور هند مطرح شد. هدف OPI ارزیابی وضعیت آبهای سطحی، به طور خاص در شرایط هند است. طرح طبقه بندی کلی بر اساس یک مفهوم مشابه با پیشنهاد پراتی و همکاران (Prati *et al.*, 1971) فرموله شده است. این طرح نشان دهنده وضعیت کیفیت آب از نظر اثرات پارامترهای مورد نظر بر آلودگی است. پنج کلاس، یعنی C1 (عالی /

¹ Overall Index of Pollution

² National Environmental Engineering Research Institute

بکر)، C2 (قابل قبول / نیاز به ضد عفونی)، C3 (کمی آلوده / نیاز به تصفیه و ضد عفونی)، C4 (آلوده / نیاز به تصفیه خاص و ضد عفونی) و C5 (به شدت آلوده / نمی توان استفاده کرد) در نظر گرفته شده است. این شاخص در سال ۲۰۱۵ توسط سینگ و همکاران (Singh et al., 2015)، با استفاده از شانزده پارامتر (کدورت، رنگ، کل جامدات محلول و pH، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیولوژیک، شفافیت، سختی، کلر، فلوراید، نیتрат، فسفات کل، آهن، سولفات، آرسنیک و کل کلیفرم) به روزرسانی شد (Singh et al., 2015).

۲-۵-۱-۹- شاخص کیفی Said

شاخص سید (Said et al., 2004) برای کمک به ارزیابی کیفیت آب برای مصارف عمومی طراحی شده است، اما می تواند در تصمیم گیری های نظارتی برای پارامترهای خاص مورد استفاده قرار گیرد. تغییرات محلی در کیفیت آب نیز ممکن است بلافاصله منعکس شود. شاخص سید می تواند برای نشان دادن آلودگی های فلزات کمیاب، آلاینده های آلی و سایر مواد معدنی نیز استفاده شود (Abbasi, 2012). پارامترهای مهم در این شاخص شامل اکسیژن محلول، کل فسفات، کدورت، هدایت ویژه، و کلی فرم مدفوعی است (Said et al., 2004). مقدار عددی این شاخص بین ۳ - ۰ می باشد. این روش به دلیل دخالت پارامتر کلی فرم مدفوعی، برای طبقه بندی آب هایی که در آنها فضولات حیوانی و انسانی وجود دارد، دارای اهمیت است (مفتاح هلقی، ۱۳۹۰). این شاخص بسیار ساده و سریع بوده و نیازی به استاندارد پارامترهای کیفیت آب و یا محاسبه زیر شاخص نداشته و برای مدیریت و بهبود شرایط کیفیت آب روش مناسبی است (Said et al., 2004). مقدار شاخص ۳-۲ نشان دهنده کیفیت قابل قبول آب، مقدار شاخص ۲-۱ نشان دهنده نیاز به تغییر سیاست های مدیریتی و مقدار شاخص ۱-۰ تغییر سیاست های مدیریتی را ضروری می داند (Said et al., 2004).

۲-۵-۱-۱۰- شاخص ویتنام

هان و همکاران (Hanh et al., 2011) برای اولین بار شاخص کیفیت آب را با هدف رسیدن به مدیریت و نظارت بر کیفیت آب‌های سطحی در ویتنام ارائه داده‌اند. این شاخص شامل بیست و هفت پارامتر کیفی آب با پوشش گسترده‌ای از متغیرهای فیزیکی و شیمیایی، روغن و گریس، کلی‌فرم‌ها و آفت‌کش‌ها می‌باشد. ایشان برای تبدیل غلظت متغیرها به امتیاز آنها از روش منحنی امتیاز کمک گرفتند. بر اساس دسته‌بندی منحنی، امتیاز نهایی برای غلظت پارامترها بین ۱ (بدترین مورد) و ۱۰۰ (بهترین حالت) در نظر گرفته شد. در این شاخص پارامترهای اصلی به سه گروه قسمت می‌شوند. گروه اول شامل مواد آلی و مواد مغذی، BOD_5 ، COD، NH_4^+ و PO_4^{3-} ، DO، فسفات و نترات است که باعث آلودگی‌های آلی و مغذی شدن آبها می‌شوند. گروه دوم به آلودگی ذره‌ای اختصاص داده شده که به شدت با مواد جامد معلق و کدورت در ارتباط است. سومین گروه توسط توزیع باکتری E.coli محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که از برخی پارامترها نیز علاوه بر پارامترهای ذکر شده مثل نیکل، سیانید، آهن، فنول و ... نیز به عنوان پارامترهای افزایشی در محاسبه شاخص استفاده می‌شود. بر این اساس، تابع تجمع برای شاخص عمومی کیفیت آب (WQI_B) به دست آمد (Abbasi, 2012):

$$WQI_B = \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 q_i \times \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 q_j \times q_k \right]^{1/3} \quad \text{رابطه (۷-۲)}$$

در اینجا q_i مقادیر زیرشاخص گروه آلی و مغذی، q_j مقادیر زیرشاخص گروه دوم و q_k مقادیر زیرشاخص گروه سوم می‌باشد. پس از آن زیرشاخص پارامترهای افزایشی کیفیت آب محاسبه شدند. هر زیرشاخص با WQI_B مقایسه شد که وقتی کمتر بود در نظر گرفته شد (Abbasi, 2012).

$$WQI_o = \left[\prod_i^n C_i \right]^{1/n} \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 q_i \times \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 q_j \times q_k \right]^{1/3} \quad \text{رابطه (۸-۲)}$$

طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس WQI_B یا WQI_O به صورت زیر می‌باشد.

۹۱ - ۱۰۰ عالی، ۷۶ - ۹۰ خوب، ۵۱ - ۷۵ نسبتاً خوب، ۲۶ - ۵۰ مرزی یا حاشیه‌ای، ۱ - ۲۵ فقیر، ناچیز، ضعیف.

۲-۵-۱۱- شاخص کیفیت منابع آب ایران

این شاخص در سال ۱۳۹۳ با هدف تهیه شاخصی با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب در ایران بوده است، به گونه‌ای که شاخص تدوین شده بتواند چشم انداز و فهم و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در ایران ارائه کند (راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران، ۱۳۹۳). این شاخص به صورت‌های زیر بیان شده است:

الف- شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$)^۱

ب- شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی ($IRWQI_{ST}$)^۲

مراحل محاسبه هر دو شاخص به صورت زیر می‌باشد.

- ۱- انتخاب پارامترها، ۲- تبدیل غلظت اکسیژن محلول (بر حسب میلی گرم بر لیتر) به درصد اشباع در صورت نیاز (فقط در محاسبه شاخص $IRWQI_{SC}$ نیاز می‌باشد)، ۳- تعیین وزن هر پارامتر، ۴- به دست آوردن مقدار شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی‌های رتبه‌بندی.

برای محاسبه شاخص $IRWQI_{ST}$ از پارامترهایی مثل آرسنیک، فنول، جیوه، دترجنت، هیدروکربن‌های نفتی، کادمیم، سرب، کروم، سیانید، آهن، و منگنز استفاده می‌شود که هر کدام از پارامترها دارای وزن‌های مربوط به خود می‌باشد.

^۱ *Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters, $IRWQI_{SC}$*

^۲ *Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Toxic Parameters, $IRWQI_{ST}$*

۲-۵-۲- شاخص کیفی مصارف ویژه

در شاخص‌های عمومی طبقه‌بندی کیفی آب به صورت کلی انجام می‌شود، حال آن که کیفیت آب برای مصارف گوناگون متفاوت بوده و در میان پارامترهای مورد استفاده برای بررسی کیفی آب، یک پارامتر برای استفاده در مصارفی شاید مهم نبوده ولی برای مصارف دیگری ممکن است مهم باشد. برای مثال غلظت اکسیژن محلول برای ماهی‌ها مهم ولی برای مصارف عمومی اهمیت چندانی ندارد. از این‌رو لازم است طبقه‌بندی آب بر اساس نوع مصارف نیز انجام گیرد.

۲-۵-۲-۱- شاخص آلودگی NPI^۱

این شاخص تأمین آب توسط نمر و سامیتومو (Nemerow & Sumitomo, 1970) به نمایندگی از آژانس محیط زیست ایالت متحده ارائه شد. این شاخص برای سه نوع استفاده شامل: تماس مستقیم با انسان (از جمله آب مورد استفاده برای نوشیدن و شنا)، تماس غیرمستقیم با انسان (ماهیگیری، فرآوری مواد غذایی و کشاورزی) و تماس از راه دور یا بسیار غیرمستقیم با انسان (در ناوبری، خنک‌کننده صنعتی، بازدید از مناطق) ارائه گردید. این محققین استفاده از ۱۴ متغیر آلودگی در شاخص را توصیه کردند (Al-Othman, 2015) ؛ (Abbasi, 2012).

۲-۵-۲-۲- شاخص O'Conner

اوکانر (O'Conner, 1972) دو شاخص کیفیت آب را برای استفاده ماهی و حیات وحش (FAWL^۱) و برای مصارف عمومی (PWS^۲) توسعه داد. هر دو شاخص با استفاده از روش دلفی برای کاهش قضاوت

^۱ Nemerow's Pollution Index

یک جنبه در انتخاب پارامترها توسعه داده شد. در محاسبه این شاخص برای استفاده ماهی و حیات وحش از اکسیژن محلول، نیتрат، فسفات، دما، کدورت، جامدات محلول، فنول، آمونیاک و pH استفاده گردید. برای مصارف عمومی نیز از اکسیژن محلول، فیکال کلی فرم، نیترات، کدورت، جامدات محلول، فنول، فلورید، کلرید، سختی، قلیائیت، رنگ، سولفات و pH استفاده شد (Abbasi, 2012). محاسبه این شاخص به صورت زیر می باشد:

$$I_{FAWL} = \delta \sum_{i=1}^9 w_i I_i \quad \text{رابطه (۹-۲)}$$

$$I_{PWS} = \delta \sum_{i=1}^{13} w_i I_i \quad \text{رابطه (۱۰-۲)}$$

w_i = وزن فاکتور و I_i = زیرشاخص هر پارامتر می باشند. اگر آفت کش ها یا مواد سمی از حد توصیه شده تجاوز نمایند $\delta = 0$ و در غیر این صورت $\delta = 1$ می باشد.

۲-۵-۳- شاخص والس کی و پارکر

این شاخص توسط پارکر و والس کی (Walski & Parker, 1974) بر اساس اطلاعات تجربی در مورد مناسب بودن آب برای استفاده خاص و به طور خاص برای استفاده تفریحی (مانند استفاده برای شنا و ماهیگیری) توسعه داده شد. ایشان چهار دسته کلی را به شرح زیر معرفی کردند:

- متغیرهایی که زندگی آبزیان را تحت تأثیر قرار می دهند (مانند DO، pH و دما)
- متغیرهایی که بهداشت (سلامت) را تحت تأثیر قرار می دهند (مانند باکتری های کلی فرم)

^۱ Fish And Wild Life

^۲ Public Water Supply

- متغیرهایی که بر طعم، مزه و بو تأثیر می‌گذارند (مانند حد آستانه بو)
 - متغیرهایی که بر ظاهر آب اثر می‌گذارند (مانند کدورت، روغن‌ها و رنگ).
- مؤلفان مقادیر پارامترهایی که به صورت مناسب، خوب، ضعیف و غیر قابل تحمل بودند را به ترتیب اعداد ۱، ۰/۹، ۰/۱ و ۰/۰۱ در نظر گرفتند. در مجموع ۱۲ متغیر آلودگی (pH، DO)، کل کلی فرم، دما، فسفات، نترات، مواد جامد، کدورت، رنگ، گریس، طعم و بو، شفافیت) در این شاخص استفاده شد (Abbasi, 2012). به مجموعه‌ای از زیرشاخص‌ها، یک میانگین هندسی متجاوز از میانگین حسابی برای جلوگیری از تحت شعاع قرار گرفتن تابع تجمع داده می‌شود که به صورت زیر است:

$$I = \left(\prod_{i=1}^{12} I_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{12}} \quad \text{رابطه (۱۱-۲)}$$

۲-۵-۲-۴- شاخص Stoner

استونر (Stoner, 1978) شاخصی را برای مصارف عمومی و آبیاری ابداع کرد و دو نوع پارامتر کیفی آب در این شاخص را استفاده نمود:

نوع ۱: پارامترهایی که به طور معمول در غلظت‌های پایین سمی در نظر گرفته می‌شد (برای مثال سرب، کلرورین و رادیوم ۲۲۶)

نوع ۲: پارامترهایی که بر بهداشت یا ویژگی‌های زیبایی‌شناسی تأثیر می‌گذارد (برای مثال کلراید، سولفور، رنگ، طعم و بو)

در متغیرهای آلاینده نوع ۱ اگر غلظت‌ها کم‌تر یا مساوی حد توصیه شده باشد عدد صفر و اگر بیشتر از حد توصیه شده باشد مقدار ۱۰۰ تعلق می‌گیرد. متغیرهای آلاینده نوع ۲ توسط توابع ریاضی نشان داده شده است. در مجموع ۲۶ متغیر آلاینده نوع ۱ در تأمین آب عمومی و ۵ متغیر نوع ۲ در تأمین آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت (Abbasi, 2012).

شاخص کلی با ترکیبی از شاخص‌های غیر وزنی نوع ۱ و شاخص‌های وزنی نوع ۲ محاسبه شد.

$$I = \sum_{i=1}^m I_i + \sum_{j=1}^n w_j I_j \quad \text{رابطه (۲-۱۲)}$$

در اینجا I_i زیرشاخص i امین متغیر آلاینده نوع ۱، w_j وزن j امین متغیر آلاینده نوع ۲ و I_j زیرشاخص j امین متغیر آلاینده نوع ۲ می‌باشند.

این شاخص، شاخصی با مقیاس کاهشی می‌باشد که بین ۱۰۰ (بهترین حالت کیفی ممکن) تا اعداد بزرگ منفی متغیر است. هر چه عدد منفی بزرگتر شود نیاز به تصفیه افزایش می‌یابد. پس از به کار بردن این شاخص در موارد مختلف به این نتیجه رسیدند که یافتن یک جریان که در آن کلیه پارامترهای لازم در شاخص مصارف کشاورزی موجود باشد، بسیار دشوار است و تعداد پارامترهایی که حذف می‌شود در نهایت نتیجه را بی‌اعتبار خواهد نمود.

۲-۵-۲-۵- شاخص کیفی آب اورگان

شاخص کیفی اورگان (Oregon et al., 1979) توسط گروه کارشناسان کیفی محیط زیست برای ارزیابی کیفی آب جهت مصارف تفریحی مانند شنا و ماهیگیری و با استفاده از روش دلفی برای انتخاب متغیرها و عامل وزنی برای هر یک از آنها بررسی و ارائه شد (Cude, 2001). در این بررسی‌ها شش متغیر شامل اکسیژن محلول، آمونیاک، نیتروژن نترات، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، pH، کل جامدات و کلی فرم مدفوعی انتخاب شدند. این شاخص با اضافه کردن دو متغیر دما و فسفر کل در سال ۲۰۰۱ به‌روز رسانی شد. در شاخص اورگان وزن محاسبه نمی‌شود (Lumb et al., 2011).

در شاخص اورگان با استفاده از رگرسیون غیرخطی، منحنی‌هایی برای زیرشاخص هر یک از پارامترها به دست آمد. علاوه بر این منحنی‌ها، از روابط زیر نیز برای محاسبه زیرشاخص هر پارامتر استفاده می‌شود (Cude, 2001).

زیرشاخص درجه حرارت

$$T \leq 11^{\circ}\text{C} \quad SI_T = 100$$

$$11^{\circ}\text{C} < T \leq 29^{\circ}\text{C} \quad SI_T = 76.54 + 4.172T - 0.1623T^2 - 2.0557E - 3 \times T^3$$

$$29^{\circ}\text{C} < T \quad SI_T = 10$$

زیرشاخص اکسیژن محلول

DO_S : اکسیژن محلول اشباع

DO_C : غلظت اکسیژن محلول

$$DO_C \leq 3.3 \text{ mg/l} \quad SI_{DO} = 10$$

$$3.3 \text{ mg/l} < DO_C < 10.5 \text{ mg/l} \quad SI_{DO} = -80.29 + 31.88DO_C - 1.401DO_C^2$$

$$10.5 \text{ mg/l} < DO_C \quad SI_{DO} = 100$$

$$DO_S \leq 100\% \quad SI_{DO} = 100$$

$$100\% < DO_S \leq 275\% \quad SI_{DO} = 100 \times \exp((DO_S - 100) \times (1.197E - 2))$$

$$275\% < DO_S \quad SI_{DO} = 10$$

زیرشاخص BOD_5 :

$$BOD \leq 8 \text{ mg/l} \quad SI_{BOD} = 100 \exp(BOD^* - 0.1993)$$

$$8 \text{ mg/l} < BOD \quad SI_{BOD} = 10$$

زیرشاخص pH

$pH < 4$	$SI_{pH} = 10$
$4 \leq pH < 7$	$SI_{pH} = 2.628 * \exp(pH * 0.52)$
$7 \leq pH \leq 8$	$SI_{pH} = 100$
$8 < pH \leq 11$	$SI_{pH} = 100 \exp((pH - 8) * -0.5185)$
$11 < pH$	$SI_{pH} = 10$

زیرشاخص آمونیاک + نیترات نیتروژن

$N \leq 3 \text{ mg/l}$	$SI_N = 100 * \exp(N * -0.4605)$
$3 \text{ mg/l} < N$	$SI_N = 10$

زیرشاخص فسفر کل

$P \leq 0.25 \text{ mg/l}$	$SI_P = 100 - 299.5 P - 0.1384 P^2$
$0.25 \text{ mg/l} < P$	$SI_P = 100$

زیرشاخص کلی فرم مدفوعی

$FC \leq 50/100 \text{ mg/l}$	$SI_{FC} = 98$
$50\#/100 \text{ mg/l} < FC \leq 1600\#/100 \text{ mg/l}$	$SI_{FC} = 98 * \exp((FC - 50) * 9.9178E - 4)$
$1600\#/100 \text{ mg/l} < FC$	$SI_{FC} = 10$

زیرشاخص کل مواد جامد

$$TS < 40 \text{ mg/l}$$

$$SI_{TS} = 100$$

$$40 < TS \leq 220$$

$$SI_{TS} = 142.6 \exp(TS - 8.862E - 3)$$

$$220 < TS$$

$$SI_{TS} = 10$$

۲-۵-۶- شاخص کیفی به کار رفته در رودخانه گنگا در هند

این شاخص توسط بارگاوا (Bhargava, 1983)، برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه گنگا در سراسر طول آن برای اقدامات فوری کنترل آلودگی توسعه داده شد. او کلیه روش‌های موجود را مطالعه نمود و به این نتیجه رسید که یک شاخص کیفی آب باید شرایط زیر را داشته باشد:

- ۱- نسبت به تغییرات مقادیر پارامترهای مرتبط با نوع کاربری حساس باشد.
- ۲- تغییر در مقادیر پارامترهایی که ارتباط بیشتری با کاربری مورد نظر دارد، تغییرات بزرگتر و محسوس‌تری ایجاد نماید که این موضوع را می‌بایست در فاکتورهای وزنی رعایت نمود.
- ۳- چنانچه متغیری که در یک کاربری بسیار مهم است به مقادیر زیر استاندارد رسیده، به طوری که کیفیت آب را برای آن کاربری نامطلوب نماید، شاخص بایستی اعداد بسیار پایین (شاید صفر) را نشان دهد. زمانی که پارامتر به مقداری می‌رسد که دیگر تغییراتش تأثیر بیشتری روی آب نمی‌گذارد، مقدار شاخص تغییر نکرده و ثابت می‌ماند.
- ۴- تغییرات شاخص بایستی بیانگر سطوح مختلف اهمیت از یک پارامتر منفرد، برای کاربری مشخص باشد.

در این روش چنین استدلال می‌شود که از آنجا که وزن هر پارامتر در تابع حساسیت هر پارامتر که در واقع مقدار پارامتر را به یک عدد به نام زیرشاخص تبدیل می‌نماید، اعمال شده است دیگر نیازی نیست که در رابطه نهایی نیز اعمال شود و به عبارتی همه پارامترها دارای

وزن یکسان بوده و لذا در رابطه میانگین هندسی قابل حذف است. رابطه محاسبه شاخص نهایی یک تابع میانگین هندسی به صورت زیر می‌باشد (Bhargava, 1983).

$$WQI = \left[\prod_{i=1}^n f_i(P_i) \right]^{\frac{1}{n}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲-۱۳)}$$

که در آن n تعداد متغیرها و $f_i(P_i)$ تابع حساسیت از i امین متغیر است.

این شاخص در سال ۲۰۱۴ توسط شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2014) به‌روز رسانی شد و برای رودخانه یامونا و گنگا با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، کل مواد جامد محلول (TDS^۱)، کاتیون‌های عمده شامل سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آنیون‌های عمده شامل فلور، کلر، برم، سولفات، نترات، فسفات و قلیائیت با روش استاندارد انجام شد. مقادیر به دست آمده با مقادیر دستورالعمل آب آشامیدنی توسط اداره استاندارد هند (BIS^۲) و سازمان بهداشت جهانی (WHO^۳) مقایسه شد. از مقادیر اندازه‌گیری شده، پارامترهای خاص تأثیرگذار بر کیفیت آب از هر سایت نمونه برای تعیین WQI انتخاب شدند. داده‌ها در دو مرحله مورد بررسی قرار گرفت که گام اول برای تعیین WQI از هر نمونه و گام دوم برای محاسبه همبستگی پیرسون بین WQI و پارامترهای مختلف کیفی آب با استفاده از SPSS بود. برای محاسبه WQI در نهایت ۱۲ پارامتر در نظر گرفته شد و به هر پارامتر وزن‌هایی با توجه به اهمیت نسبی آنها در کیفیت کلی آب در محدوده ۱ تا ۵ داده شد (Sharma *et al.*, 2014).

وزن نسبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

^۱ Total Suspended Solids

^۲ Bureau of Indian Standard

^۳ World Health Organization

$$W_r = W_{ai} \div \sum_{i=1}^n W_{ai} \quad \text{رابطه (۱۴-۲)}$$

در اینجا W_r وزن نسبی، W_{ai} وزن اختصاص داده شده به هر پارامتر و n تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده می‌باشد. در مرحله بعدی، مقیاس رتبه‌بندی کیفیت (Q_i) برای هر پارامتر با تقسیم مقادیر استاندارد مربوط به آن طبق پیشنهاد BIS و دستورالعمل‌های WHO محاسبه شد.

$$Q_i = [C_i \div S_i] \times 100 \quad \text{رابطه (۱۵-۲)}$$

Q_i مقیاس رتبه‌بندی کیفیت، C_i غلظت اندازه‌گیری هر پارامتر و S_i مقادیر استاندارد آب آشامیدنی برای هر پارامتر مطابق با BIS و WHO می‌باشند.

برای محاسبه Q_i برای DO و pH، روش‌های مختلفی استفاده شده است. مقادیر ایده‌آل (V_i)، برای pH (۷/۰) و DO (۱۴/۶) از اندازه‌گیری کم شد.

$$Q_{i_{DO,pH}} = [(C_i - V_i) \div (S_i - V_i)] \times 100 \quad \text{رابطه (۱۶-۲)}$$

$$SI_i = W_i \times Q_i \quad \text{رابطه (۱۷-۲)}$$

$$WQI = \sum SI_i \quad \text{رابطه (۱۸-۲)}$$

SI_i زیرشاخص برای محاسبه WQI می‌باشد.

مقادیر WQI با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده کیفیت آب در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید (Sharma et al., 2014).

۲-۵-۲- شاخص Bhargava

این شاخص یکی از اولین شاخص‌های گزارش شده توسط یک نویسنده آسیایی در سال ۱۹۸۵ در ارتباط با تأمین آب آشامیدنی است. به منظور توسعه این شاخص چهار گروه از پارامترها شناسایی شدند. هر گروه شامل مجموعه‌ای از یک نوع پارامترهاست. گروه اول شامل غلظت کلی فرم‌ها به نمایندگی از کیفیت باکتریایی آب آشامیدنی است. گروه دوم شامل سموم، فلزات سنگین و ... که همه یا برخی از آنها اثر سمی تجمعی بر مصرف کننده دارند، گروه سوم شامل پارامترهایی است که باعث اثرات فیزیکی مانند بو، رنگ و کدورت می‌شوند، گروه چهارم شامل مواد غیر سمی آلی و غیرآلی مانند کلرید، سولفات، عوامل کف‌زای، آهن، منگنز و روی می‌باشند. متغیرها با سطح حداکثر آلاینده‌گی مجاز خود (مطابق با سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده) و زیرشاخص‌های تعبیه شده توسط بارگوا شامل اثر غلظت پارامترهای مختلف همراه با وزنشان می‌باشد (Abbasi, 2012).

زیرشاخص‌ها به صورت زیر جمع می‌گردند:

$$WQI = \left[\prod_{i=1}^n f_i \right]^{\frac{1}{n}} \quad \text{رابطه (۱۹-۲)}$$

که در اینجا f_i زیرشاخص متغیر i ام است و n تعداد متغیر در نظر گرفته شده است.

۲-۵-۲-۸- دومین شاخص Dinius

دینیوس (Dinius, 1987) دومین شاخص خود را با در نظر گرفتن نوع مصارف آب ارائه کرد. این شاخص شامل ۱۲ آلاینده DO ، BOD_5 ، تعداد کلی فرم‌ها، $E.coli$ ، pH ، قلیائیت، سختی، هدایت ویژه، دما، رنگ و نیترات برای شش استفاده آب شامل تأمین آب عمومی، تفریحی، پرورش ماهی، آبیاری و کشاورزی و صنعت می‌شود (الباجی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۵-۲-۹- شاخص Viet و Bhargava

شاخص ویت و بارجاوا (Viet & Bhargava, 1989)، برای ارزیابی وضعیت کیفیت آب برای استفاده‌های مختلف توسعه داده شد که مبتنی بر شاخص پاکر و والس کی با تغییرات جزئی است (Abbasi, 2012).

شاخص کلی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$WQI = \left[\prod_{i=1}^n f_i(P_i) \right]^{\frac{1}{n}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲-۲۰)}$$

که در آن n تعداد متغیرها و $f_i(P_i)$ تابع حساسیت از i امین متغیر است. شاخص کلی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

طبقه‌بندی منابع آب بر اساس این شاخص نیز به صورت: عالی (>90 ، کلاس I)، مجاز (۶۵-۸۹، کلاس II)، نسبتاً مناسب (۳۵-۶۴، کلاس III)، قابل قبول (۱۱-۳۴، کلاس IV)، کاملاً نامناسب (<10 ، کلاس V) می‌باشد.

۲-۵-۲-۱۰- شاخص Smith

اسمیت (Smith, 1990) شاخصی ارائه داد که از ویژگی‌های بارز آن این است که بر اساس نظر کارشناسان و بر استانداردهای کیفیت آب استوار بوده و ترکیبی از ۲ نوع شاخص مرسوم است. علاوه بر این چهار نوع از استفاده آب را نشان می‌دهد که شامل استفاده مستقیم و استفاده غیر مستقیم از آب (استفاده عمومی از آب، استحمام (شستشو)، تأمین آب، پرورش ماهی) است (Smith, 1990). پارامترهای مورد استفاده برای ارزیابی این شاخص شامل اکسیژن محلول، جامدات معلق، کدورت، درجه حرارت، BOD_5 (فیلتر نشده)، آمونیاک و فیکال کلی فرم می‌باشد (Lumb et al., 2011).

در حال حاضر بسیاری از مقامات دخیل در امور آب در نیوزیلند از این امر به عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی و به عنوان یک وسیله ساده انتشار اطلاعات کیفیت آب استفاده می‌کنند (Lumb et al., 2011).

۲-۵-۲-۱۱- شاخص Sinha

سینها (Sinha, 1990) آب دو برکه مورد استفاده روستائیان منطقه مظفرپور بهار را با استفاده از شاخصی مشابه با شاخص براون (NSFWQI, 1973) ارزیابی کرد. او از ده پارامتر pH، DO، سختی، کدورت، کلرید، سدیم، پتاسیم، روی، آهن و کلی‌فرم در شاخص WQI استفاده کرده است (Abbasi, 2012).

۲-۵-۲-۱۲- شاخص کیفی British Columbia

شاخص کیفی بریتیش کلمبیا^۱ (BCWQI) به عنوان یک شاخص افزایشی، در سال ۱۹۹۵ توسط وزارت محیط‌زیست، پارک‌ها و زمین کانادا برای ارزیابی کیفیت آب ایجاد شد. در این روش، پارامترهای کیفی آب با یک حد معین سنجیده شده و میزان تجاوز از آن تعیین می‌گردد. این حد می‌تواند رهنمودهای توصیه شده برای حفظ قابلیت بهره‌برداری آب در طراحی مورد نظر و یا هر استاندارد که میزان مصارف مختلف آب در آن مطرح است را در بر گیرد. بنابراین یکی از مزایای این روش استفاده از استانداردهای هر حوزه، منطقه و یا کشور می‌باشد و این امکان را می‌دهد تا بر اساس تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده موجود در هر استاندارد، طبقه‌بندی کیفی صورت گیرد (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۴).

برای محاسبه شاخص نهایی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

^۱ British CoLumbia Water Quality Index

$$BCWQI = \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + \left(\frac{F_3}{3}\right)^2}}{1.453} \right] \quad \text{رابطه (۲-۲۱)}$$

F_1 : درصد پارامترهایی که از حد مجاز تجاوز نموده‌اند.

F_2 : تعداد دفعاتی که در مجموع اندازه‌گیری‌ها از حد معین تجاوز نموده‌اند (به صورت درصدی از کل دفعات برداشت).

F_3 : ماکزیمم تخطی از حد استاندارد می‌باشد.

$$\text{درصد تخطی} = \left[\frac{(\text{حد ماکزیمم مجاز} - \text{مقدار اندازه‌گیری شده})}{\text{مقدار اندازه‌گیری شده}} \right] \times 100$$

هرگاه مقدار برداشت شده ، کمتر از حد مینیمم بود:

$$\text{درصد تخطی} = \left[\frac{(\text{مقدار اندازه‌گیری شده} - \text{حد ماکزیمم مجاز})}{\text{مقدار اندازه‌گیری شده}} \right] \times 100$$

عدد ۱/۴۵۳ برای حصول اطمینان از رسیدن ماکزیمم عدد شاخص **BCWQI** به عدد ۱۰۰ انتخاب شده است. پارامترهای لازم در این شاخص شامل DO ، BOD_5 ، pH ، فسفات، نترات، کدورت، TDS ، کل کلی فرم، COD و EC^1 می‌باشد. نکته مهمی که دقت این شاخص را بالا می‌برد، تکرار نمونه‌برداری و افزایش تعداد ایستگاه‌های برداشت می‌باشد. در مورد معایب این روش باید گفت که این شاخص، روند کیفی آب را تا زمانی که از حدود استاندارد تجاوز نکرده باشد، نشان نمی‌دهد. همچنین به علت استفاده از ماکزیمم تخطی (F_3)، مشخص نمی‌شود که چه تعداد از برداشت‌ها در حدود بالای حد

¹ *Electrical Conductivity*

ماکزیمم استاندارد واقع شده‌اند. میزان شاخص بین صفر تا صد بوده و کمترین مقدار، شرایط بهتر کیفیت آب را نشان می‌دهد (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۵-۲-۱۳- شاخص کیفی کانادا

این شاخص در سال ۲۰۰۱ برای ارزیابی کیفیت آب منابع سطحی در سراسر کانادا توسط شورای محیط‌زیست وزیران کانادا به کار برده شد، که بر اساس سه فاکتور F_1 ، F_2 و F_3 توصیف می‌شود و معادله آن به صورت غیرخطی می‌باشد (ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به نیاز ارزیابی مناسب بودن آب برای مصارف مختلف، گروه شورای وزیران محیط‌زیست کانادا شاخص BCWQI را اصلاح و آن را به عنوان شاخص $CCMEWQI^1$ ارائه کردند که به عنوان یک مدل مناسب برای ارزیابی کیفیت منابع آب در سطح جهان توسط برنامه محیط‌زیست سازمان ملل که به اختصار $CWQI^2$ نام گرفته است، تأیید شده است. همچنین توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP) در سال ۲۰۰۷ به عنوان یک مدل شاخص کیفیت آب آشامیدنی جهانی (GDWQI) مورد تأیید قرار گرفته است. پارامترهایی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل اکسیژن محلول، pH، کدورت، کل جامدات محلول (TDS)، نیترات، فسفات و فلزات می‌باشد (Lumb et al., 2011).

محاسبه شاخص به صورت زیر می‌باشد:

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right] \quad \text{رابطه (۲-۲۲)}$$

که در آن؛

¹ Council of Ministers of the Environment Water Quality Index Canadian

² Canadian Water Quality Index

F_1 فاکتور بازه: از تقسیم پارامترهایی که بیشتر از حد استاندارد هستند بر کل پارامترهای اندازه‌گیری شده در یک دوره نمونه‌برداری به دست می‌آید و به صورت درصد بیان می‌شود.

F_2 فاکتور فراوانی: از تقسیم تعداد دفعاتی که در مجموع کل اندازه‌گیری‌های پارامترها از استاندارد تجاوز نموده به کل دفعات اندازه‌گیری می‌باشد و به صورت درصد بیان می‌شود.

F_3 فاکتور دامنه: مقدار آن با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse + 0.01}$$

nse : میانگین تخطی نرمالیزه :

$$nse = \frac{\text{مجموعه کل تخطی‌ها}}{\text{تعداد دفعات اندازه‌گیری}}$$

$$1 - \frac{\text{مقدار پارامترهایی که غلظت آنها (در یک زمان خاص) از مقدار استاندارد بیشتر است}}{\text{مقدار استاندارد پارامتر مورد نظر}} = \text{میزان تخطی}$$

در این شاخص محدودیت پارامتر وجود ندارد (ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). پارامترهای رایج مورد استفاده شامل آمونیاک، فسفات کل، کلرید محلول، کروم، نیکل، روی، سختی، دما، pH، عناصر سنگین، کاتیون‌های اصلی و غیره می‌باشند. هرچه تعداد پارامترها بیشتر باشد، دقت ارزیابی نیز بیشتر می‌شود. حداقل چهار بار نمونه‌برداری و چهار پارامتر برای استفاده از این شاخص مورد نیاز می‌باشد (Lumb et al., 2011).

۲-۵-۳- شاخص‌های طراحی

نوع دیگر شاخص‌های کیفی آب، شاخص‌های طراحی می‌باشند که به‌صورت خاص برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مدیریتی طرح شده است. آژانس محافظت از محیط زیست آمریکا^۱ (USEPA) برای مدیریت کیفیت آب ابتکار عمل نشان داد و با همکاری شرکت MITRE سه شاخص کیفیت آب بر خلاف شاخص‌های عمومی و مصارف ویژه، ارائه داد. اولین آنها، شاخص شیوع، استمرار و شدت آلودگی (PDI^۲) نام داشت که برای بیان اثرات آلودگی بر محیط زیست انجام می‌گرفت. شاخص دوم شاخص اولویت برنامه‌ریزی ملی (NPPI^۳) بود که برای تعیین اولویت طرح‌ها در کشور جهت اطمینان از صحیح بودن هزینه‌های تصفیه فاضلاب مطرح گردید. شاخص سوم شاخص اولویت فعالیت (PAI^۴) است که این شاخص مشابه شاخص دوم بوده با این تفاوت که پارامترهای کمتری را در نظر می‌گیرد. این سه شاخص اولین شاخص طراحی نامیده شدند و به مرور زمان انواع دیگری از شاخص‌های طراحی مثل شاخص JOHANSON AND JOHNSON, INHABER, ZOETEMAN, DEE و ... به این شاخص‌ها اضافه گشتند. در شاخص‌های طراحی پارامترهایی از قبیل تعداد جمعیت، درآمد سرانه، طول رودخانه و استفاده می‌شود. به طور کلی شاخص‌های طراحی معمولاً کیفیت آب را بیان نمی‌نمایند و برای کمک به اتخاذ تصمیمات خاص و یا حل مشکلات مشخصی مطرح شده‌اند.

^۱US Environmental Protection Agency

^۲ Prevalence, Duration and Intensity

^۳ National Planning Priorities Index

^۴ Priority Action Index

۲-۵-۴- شاخص‌های آماری

شاخص‌های آماری روش‌های آماری می‌باشد که شامل پارامترها و فاکتورهای آماری است. در این شاخص‌ها نظرات و سلیقه افراد کمتر دخالت داشته و در مقابل کاربرد آنها مشکل‌تر و پیچیده‌تر از روش‌های دیگر است. نوعی از شاخص‌های آماری روش همبستگی است که ارتباط بین پارامترها را ممکن می‌سازد، تا اهمیت هر یک از پارامترها مشخص گردد. از جمله شاخص‌های آماری می‌توان به شاخص هارکینز که یک برنامه کاربردی از روش طبقه‌بندی ناپارامتری کندال بود اشاره کرد. این روش با مرتب نمودن پارامترهای آلودگی آب از کوچک به بزرگ و شامل یک مقدار کنترل، که معمولاً استاندارد کیفیت آب و یا محدودیت‌های پیشنهاد شده توسط سازمان‌های مربوطه است به دست می‌آید. از دیگر شاخص‌ها آماری نیز می‌توان شاخص تابع BETA، شاخص تابع تجمعی، شاخص سواحل مدیترانه و ... را نام برد.

۲-۵-۵- شاخص‌های بیولوژیکی

این شاخص‌ها عموماً کیفیت آب را بر اساس ارگانیزم‌های موجود در آب ارزیابی می‌کند. به این صورت که نوعی از این شاخص‌ها مبتنی بر گونه خاصی از میکروارگانیسم‌های ساپروبیک با حضور و یا عدم حضور گونه‌های نشانگر خاص و یا تعداد گونه‌های مختلف و سطوح تغذیه‌ای مختلف (عمدتاً باکتری‌ها، جلبک‌ها، پروتوزوآها و...) و از جمله بی‌مهرگان کفزی و ماهی‌ها هستند که برای هر یک درجه آلودگی تعیین شده است، و بر اساس آن طبقه‌بندی می‌شوند. در نوع دیگر از این شاخص‌ها بر اساس اجتماع ارگانیزم‌ها در آب به عنوان شاخصی برای درجه‌بندی آلودگی آلی استفاده می‌شود. نوع دیگری از شاخص‌های بیولوژیکی که جدیدترین شاخص‌های زیستی می‌باشند، بر اساس حضور و تحمل آلودگی توسط جامعه‌ای از یک گروه خاص از ارگانیزم‌های نمونه‌برداری شده مثل موجودات

کفزی می‌باشند. واکنش موجودات در مقابل مواد سمی مثل حشره‌کش‌ها مثالی برای این نوع شاخص‌هاست.

۲-۶- مطالعات انجام شده در ایران و جهان

۲-۶-۱- مطالعات انجام شده در ایران

شمسایی و همکاران (۱۳۸۴) در طی سه سال و با به‌کار بردن شاخص‌های $OWQI$ ، $NSFWQI_m$ ، $NSFWQI_a$ و $BCWQI$ اقدام به بررسی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه کارون و دز کردند که نتیجه این مطالعه نشان داد شاخص $NSFWQI_m$ شاخصی مناسب برای پهنه‌بندی این رودخانه می‌باشد. کیفیت آب سد مخزنی کرخه در شمال غربی خوزستان به منظور انتخاب شاخص کیفی مناسب علمی برای پایش مداوم تأثیرات احتمالی این سازه بزرگ آبی بر کیفیت آب رودخانه کرخه مورد بررسی قرار گرفت (نیکونهاد و همکاران، ۱۳۸۸). در این مطالعه با استفاده از چهار شاخص کیفی معتبر $NSFWQI_m$ ، $NSFWQI_a$ ، $OWQI$ و شاخص دینیوس، کیفیت آب چهار ایستگاه نمونه‌برداری را به صورت هر دو ماه یک بار و سالیانه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مقایسه نشان داد شاخص $NSFWQI_m$ تغییرات کیفی آب سد کرخه را بهتر از دیگر شاخص‌ها نشان می‌دهد.

مفتاح هلقی (۱۳۸۹) به منظور بررسی وضعیت کیفی بخشی از آب رودخانه اترک واقع در استان گلستان، از شاخص‌های $NSFWQI$ ، $BCWQI$ و روش شاخص ساده مدیریتی سید استفاده نمود. شاخص‌های کیفی نشان دادند که به غیر از ایستگاه قازانقایه (اولین ایستگاه بالادست که در تمامی فصل‌ها وضعیت نسبی خوبی دارد) سایر ایستگاه‌ها در شرایط متوسط تا بد می‌باشد.

برای بررسی کیفیت آب دریاچه تالابی زریوار یا زریبار از شاخص‌های مؤسسه ملی بهداشت آمریکا ($NSFWQI$) با به‌کارگیری ۹ پارامتر کیفی، شاخص اورگان $OWQI$ با استفاده از ۸ پارامتر و شاخص

کیفی کانادا CWQI با کاربرد ۲۲ پارامتر اصلی استفاده گردید (ابراهیم‌پور و محمدزاده، ۱۳۹۲). نقشه پهنه‌بندی دریاچه زریوار از نظر شاخص‌های OWQI و NSFQI نشان داد که آب دریاچه زریوار با توجه به شاخص NSFQI در محدوده کیفی متوسط و از نظر شاخص OWQI در محدوده بسیار بد قرار دارد. کیفیت آب دریاچه از نظر شاخص CWQI به طور کلی بد، برای آشامیدن خوب، برای آبیاری بد و برای تفریح، آبیاری و استفاده احشام عالی بیان گردید.

الباجی و همکاران (۱۳۹۳) از ۶ ایستگاه معین بر روی رودخانه جراحی به صورت فصلی نمونه‌برداری نموده و با استفاده از شاخص کیفی آب دینیوس، رودخانه جراحی را طبقه‌بندی کردند. بر این اساس آب این رودخانه برای شرب نیاز به تصفیه پیشرفته و برای استفاده تفریحی نیاز به کنترل مداوم باکتریایی دارد. همچنین کیفیت آب برای پرورش ماهی‌های حساس مانند قزل‌آلا مشکوک بوده و برای صنایع حساس نیاز به تصفیه متناسب می‌باشد. برای صنایع معمولی، آبیاری محصولات کشاورزی و رفع شوری نیز باید برخی از پارامترهای آب نظیر EC تصفیه گردند.

۲-۶-۲- مطالعات انجام شده درجهان

بوردالو و همکاران (Bordalo et al., 2006) از شاخص عمومی اصلاح شده آب اسکاتلند بر اساس نه پارامتر فیزیکی و شیمیایی آب، برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه درو (رود مشترک پرتغال و اسپانیا) جهت تأمین آب شرب کشور پرتغال بهره گرفتند. این مطالعه طی دو فصل تر و خشک انجام گرفت. نتایج نشان داد آب دریافت شده از اسپانیا به دلیل تخلیه پساب‌های صنعتی دارای کیفیت پایینی بوده و آب رودخانه در طی دوره تر خطر بالقوه برای سلامتی داشته و نیاز به تصفیه پیشرفته دارد. کیفیت آب در دوره خشک به مراتب بدتر بود. در این مطالعه شاخص کیفی آب به عنوان مقیاس عددی برای ارزیابی کیفیت آب که به راحتی توسط مدیران قابل درک می‌باشد، معرفی گردید.

مطالعه‌ای که توسط میلیاسویک و همکاران (Milijasevic et al., 2011) بر روی کیفیت رودخانه بروسکا در شرق صربستان با استفاده از شاخص آلودگی آب انجام گرفت، نشان داد مقادیر فلزات سنگین به خصوص آهن و منگنز به عنوان شاخص آلودگی معدنی (عمدتاً به دلیل فعالیت‌های معدنکاری در منطقه) زیاد بوده، همچنین افزایش شاخص آلودگی آلی (BOD، آمونیوم و کلی‌فرم) در نتیجه عدم کنترل تخلیه فاضلاب خانگی می‌باشد.

کویونلو و همکاران (Akkoyunlu et al., 2011) مطالعه‌ای را با استفاده از شاخص کیفی بر روی کیفیت آب دریاچه سپانکا در ترکیه انجام دادند. در این مطالعه علاوه بر بیان وجود تهدیدی جدی در زیست مغذی شدن آب دریاچه به اصلاح شاخص کیفی NSFQWI، به منظور رسیدن به نتایج مفید و کافی با استفاده از پارامترهای محدودتر پرداخته شد و با توجه به عدم در نظر گرفتن پارامتر کلی‌فرم مدفوعی در شاخص اصلاح شده در مقایسه با شاخص قبلی مشخص گردید کلی‌فرم مدفوعی دارای اثر قابل توجهی بر طیف وسیعی از امتیاز WQI می‌باشد. با این وجود تعداد پارامترهای مورد استفاده برای تعیین WQI می‌تواند با پارامترهای اندازه‌گیری شده در دسترس، متفاوت باشد. بر این اساس عامل وزن نیز برای هر پارامتر متفاوت خواهد بود. لذا این محققین تفاوت در مقادیر WQI‌ها را به موجب اختلاف در انتخاب پارامترهای کیفی آب بیان نمودند.

لامب و همکاران (Lumb et al., 2011) به مدت ۵ سال با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از ۳۰ ایستگاه نمونه‌برداری در سراسر رودخانه‌ای در انتاریو کانادا، به مطالعه و مقایسه دو فرم شاخص NSFQWI و CCMEWQI پرداختند. این مطالعه نشان داد که فرم‌های افزایشی و ضربی NSFQWI مقادیر بالاتری را نسبت به شاخص CCMEWQI نشان می‌دهند. همچنین معلوم شد که از لحاظ نشان دادن کیفیت آب فرم‌های NSFQWI نسبت به شاخص CWQI برتری دارد. از نظر امتیاز کیفیت آب، در بین شاخص‌های OWQI و CWQI، شاخص CWQI مقادیر نزدیک‌تر و بهتری را

نشان داد. به طور کلی مشخص گردید شاخص CWQI دقیق‌ترین مدل پس از OWQI برای استفاده آبریان باشد.

مطالعه دیگری که توسط لامب و همکاران (Lumb *et al.*, 2011) انجام گرفت، تفاوت عمده شاخص‌های مختلف کیفیت آب را در سبک ادغام آماری و تفسیر مقادیر پارامترها دانستند. همچنین شاخص NSFQI را هر چند قابل درک و محاسبه آسانتر دانستند، اما فاقد حساسیت در اثر یک پارامتر بد در WQI بیان کردند. از طرفی دیگر فرم ضربی NSFQI را بهتر از فرم افزایشی آن معرفی نموده و بیان کردند که تمام شاخص‌ها دارای محدودیت‌هایی هستند و جستجو برای یک شاخص بی‌عیب هنوز هم یک چالش است.

شارما و همکاران (Sharma & Kansal, 2011) با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از نتایج آنالیز آب رودخانه یامونا در دهلی نو به مدت ۱۰ سال در چهار ایستگاه موجود در طول رودخانه، با توجه به تخلیه انواع فاضلاب‌ها به آن، نشان دادند که حتی پس از اجرای طرح کاهش آلودگی، رودخانه یامونا بسیار آلوده بوده و برای هیچ استفاده‌ای مناسب نمی‌باشد.

امدی و همکاران (Amadi *et al.*, 2012) با استفاده از شاخص آلودگی فلزی و تکنیک‌های آماری، با تعیین دوازده محل نمونه‌برداری در طول رودخانه چنچاگا در شمال نیجریه نشان دادند که کیفیت آب رودخانه تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسان‌زاد در حوضه آبریز می‌باشد، به طوری که غلظت بالای کلسیم و منیزیم در برخی نقاط به دلیل هوازدگی و انحلال سنگ بستر، نیترات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، کود و رواناب شهری و غلظت فلزات را به اکتشاف و بهره‌برداری از طلا در منطقه مرتبط دانستند. همچنین وجود برخی فلزات در باطله‌ها به دلیل زیست تجزیه‌پذیر بودن آنها، در طول سال در خاک تجمع یافته و توسط رواناب به رودخانه وارد شده و سبب کاهش کیفیت آن

می‌شوند. بنابراین شاخص فلزی نشان داد که آلودگی فلزات می‌تواند تا حدودی به دلیل کانه‌زایی طلا و معدنکاری در اطراف رودخانه باشد.

مطالعه دیگری که بر روی کیفیت رودخانه آبا در جنوب شرقی نیجریه با استفاده از شاخص آلودگی فلزی و همبستگی پیرسون انجام شد (Amadi Akobundu, 2012) نشان داد غلظت بالای فلزات آهن، مس، روی و سرب ناشی از فعالیت‌های آبکاری، لحیم‌کاری و شارژ باطری در منطقه علاوه بر وجود خاک‌های لاتریتی می‌باشد. همچنین بالا بودن سرب را به طور عمده از فاضلاب‌های صنعتی و خانگی بیان کردند.

تیاجی و همکاران (Tyagi *et al.*, 2013) به مقایسه چند مورد از انواع شاخص‌های کیفی آب پرداختند. ایشان علاوه بر در نظر گرفتن مزایا و معایب شاخص‌های مطالعه شده، هدف شاخص‌های کیفی را اختصاص دادن یک ارزش واحد کیفیت آب به منابع مختلف آن، همراه با کاهش هر چه بیشتر تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده دانستند که به بیان ساده‌تر به تفسیر راحت‌تر داده‌های کیفی و نیز نظارت بهتر بر کیفیت آب می‌پردازد.

کیفیت رودخانه گنگا و محل تلاقی آن با رودخانه یامونا در منطقه الله‌آباد هند با استفاده از شاخص کیفی بررسی شد (Sharma *et al.*, 2014). برای ارزیابی کیفیت رودخانه پس از باران‌های موسمی در هشت محل از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری و آنالیز شد. سپس نتایج با مقادیر استاندارد آب آشامیدنی هند و استاندارد بهداشت جهانی مقایسه شده و نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه گنگا در طول مسیر خود به دلیل تخلیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و نیز رها کردن خاکستر مردگان به داخل رودخانه کاهش یافته است.

گوهر و همکاران (Goher et al., 2014) از WQI برای ارزیابی کیفیت آب کانال اسماعیلیه (از شاخه‌های رود نیل) در مصر استفاده کردند. هدف آنها از این مطالعه تبدیل داده‌های پیچیده کیفیت آب به اطلاعات قابل فهم و قابل استفاده توسط عموم مردم بود. در این مطالعه از شاخص فلزی و شاخص آلودگی فلزات نیز استفاده گردید. در نهایت اگرچه نتایج WQI کیفیت آب کانال اسماعیلیه را از لحاظ شرب و زندگی آبریان خوب تا ضعیف و از لحاظ آبیاری عالی نشان داد، اما برای مصارف مختلف از نظر آلودگی فلزات سنگین به‌خصوص در برخی نواحی آلوده تشخیص داده شده و نیاز به کنترل پساب‌های ورودی به این کانال می‌باشد.

افندی و همکاران (Effendi et al., 2015) در مطالعه خود کیفیت آب رودخانه کامبالوانگ واقع در پارک ملی هالیمون سالاک را با استفاده از شاخص NSFQI، مورد بررسی قرار دادند. ایشان شاخص کیفی را مناسب برای ارزیابی و مدیریت کیفی آب و نیز مفید برای اقدامات لازم جهت بهبود کیفیت آب دانسته و بر اساس تجزیه و تحلیل شاخص آلودگی، آب رودخانه را در رده خوب طبقه‌بندی نمودند. همچنین از آنجا که در بالادست این رودخانه فعالیت‌های کشاورزی و نیز نیروگاه کوچک آبی وجود داشت، به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های مردم و نیروگاه، هیچ تأثیر منفی بر کیفیت آب این رودخانه ندارد.

ال-ادمان (Al-Othman, 2015) مطالعه‌ای را برای ارزیابی کیفیت کانال آب در ریاض (عربستان سعودی) واقع در منطقه وادی الحنیفه با در نظر گرفتن ۲۹ پارامتر کیفی و با استفاده از استانداردهای متفاوت برای مصارف مختلف انجام دادند. در این مطالعه از WQI، شاخص آلودگی نمره (NPI) و درصد سدیم استفاده گردید. نتایج حاصل از WQI نشان داد که در اکثر مکان‌های نمونه‌برداری شده کیفیت آب پایین بوده که دلیل آن را تخلیه فاضلاب‌های صنعتی واقع در طول مسیر آب دانستند. نتایج حاصل از شاخص نمره نیز نشان داد که ۵٪ از نمونه‌های آب در رده خوب، ۳۷٪ کمی آلوده، ۵۷٪ آلودگی متوسط و ۱٪ از نمونه‌های آب نیز در رده به شدت آلوده قرار گرفتند. در این مطالعه

شاخص کیفیت آب (WQI) یک ابزار ارزشمند برای نظارت و مدیریت زیست‌محیطی آلودگی آب بیان گردید.

سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2015) با مطالعه‌ای که بر روی کیفیت آب رودخانه یامونا و دریاچه ساگار در هند و سد تاحتالی در ترکیه با استفاده از توسعه شاخص کل آلودگی (OPI) انجام دادند آب رودخانه یامونا را در رده خوب و قابل قبول، کیفیت آب سد تاحتالی را در رده نسبتاً خوب و کیفیت آب دریاچه ساگار را در رده متوسط طبقه‌بندی نمودند. نویسندگان شاخص کل آلودگی را به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران کیفیت آب پیشنهاد دادند.

وندا و همکاران (Wanda *et al.*, 2015) برای ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی استان پومالانگا در شمال غربی آفریقای جنوبی از WQI بهره گرفتند. در این مطالعه از هشت متغیر کیفی آب استفاده کردند که در نهایت کیفیت آب را به سه دسته ضعیف، متوسط و خوب در سطح استان طبقه‌بندی کرده و اظهار داشتند که نیاز مبرم جهت تصفیه پیشرفته و معمولی آب در استان وجود دارد. همچنین WQI را یکی از مهمترین ابزارهای موثر در دسترس پژوهشگران، جهت بررسی پایداری کیفیت آب دانستند، چرا که یک رتبه‌بندی آسان و قابل فهم را از کیفیت آب بر اساس مقیاس رتبه‌بندی از صفر تا صد و با وزن‌دهی متفاوت به چندین پارامتر ارائه می‌کند.

مطالعه کیفیت سه سد موجود بر روی رودخانه یلو واقع در شرق چین و سه مخزن موجود در کوه‌های اطراف با استفاده از WQI و در نظر گرفتن نه پارامتر کیفی طی شش سال نمونه‌برداری فصلی (Hou *et al.*, 2015) نشان داد که آلودگی اصلی هر پنج محل به دلیل وجود جیوه به خاطر سوزاندن زغال سنگ و آلودگی فسفات و سولفات به ترتیب به خاطر رواناب سطحی و رسوب جوی می‌باشد.

سان و همکاران (Sun et al., 2016) با استفاده از WQI به ارزیابی کیفیت آب رودخانه دونگجیانگ در جنوب چین طی دو فصل تر و خشک منطقه پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که رودخانه در قسمت‌های بالادست دارای کیفیت عالی بوده و به تدریج به سمت پایین دست به دلیل عوامل انسانزاد (افزایش جمعیت، صنعت و مقادیر بالای فاضلاب شهری) کیفیت متوسط را نشان می‌دهد.

مطالعه دیگری با استفاده از شاخص WQI بر کیفیت رودخانه الغراف (یکی از شاخه‌های فرعی رود دجله) در جنوب عراق با در نظر گرفتن ۱۱ پارامتر کیفیت آب انجام گرفت (Ewaid & Abed, 2017). محاسبه WQI در این مطالعه به دلیل کدورت بالای رودخانه به دو حالت (با در نظر گرفتن کدورت و بدون در نظر داشتن آن) انجام شد و نتایج نشان داد در هر دو روش محاسبه کیفیت رودخانه در تمام طول آن پایین بوده و برای استفاده شرب نامناسب می‌باشد.

۲-۷- جمع‌بندی مطالعات پیشین

شاخص‌های کیفی آب ابزاری ساده و مناسب برای ارزیابی کیفیت آب‌های مختلف، مقایسه کیفیت آب منابع مختلف، ایجاد ارتباط بین نتایج و عوامل موثر آنها، تخصیص منابع و مدیریت سازگار با محیط زیست با دیدی دقیق و قابل فهم می‌باشند. شاخص‌های کیفی مختلف صرفاً در سبک ادغام آماری و نحوه تفسیر مقادیر پارامترها در هر کشور تفاوت دارند.

در میان انواع شاخص‌های کیفی استفاده شده در جهان شاخص NSFQI در بسیاری از کشورها مورد استفاده بوده و در آمریکا همچنان روشی متداول می‌باشد. بنابراین یک شاخص پرکاربرد می‌باشد. استفاده این شاخص برای ارزیابی کیفیت آب از طرف اکثر محققان و همچنین سازمان محیط زیست ایران مورد تأیید می‌باشد. مطالعات انجام شده نشان داد که فرم ضربی این شاخص بهتر از فرم افزایشی آن به بیان شرایط بد زیست‌محیطی می‌پردازد. شاخص پرکاربرد دیگر که در اکثر مطالعات به طور گسترده استفاده شده است شاخص CWQI است که این شاخص برای پایش و

ارزیابی کیفیت آب به صورت مستمر مفید می‌باشد. در مطالعات انجام گرفته، شاخص WQI نیز به دلیل ارزیابی کیفیت آب با در نظر داشتن نوع مصارف بر اساس معیارها و استانداردهای تعیین شده در هر کشور نیز بیشتر استفاده شده و پرکاربرد می‌باشد ولی شاخص NSFQI و CWQI نتایج بهتری از کیفیت آب ارائه می‌دهند و مناسب‌تر می‌باشند. به طور کلی با همه تلاش‌ها برای ارائه یک شاخص جهانی بهتر، تا کنون شاخصی مناسب‌تری یافت نشده و جستجو برای یک شاخص پذیرفته شده جهانی هنوز هم ادامه دارد

فصل سوم

روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

برای رسیدن به اهداف تحقیق، جمع‌آوری و کسب اطلاعات در زمینه‌های مختلف لازم می‌باشد. در این تحقیق به منظور پایش و پهنه‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای با استفاده از شاخص‌های کیفی، در ابتدا با بهره گرفتن از نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و بازدید از منطقه و با در نظر گرفتن شاخه‌های فرعی و منابع آلاینده در طول مسیر رودخانه آجی‌چای، نقاط نمونه‌برداری انتخاب و طی دو فصل تر (اردیبهشت ۹۵) و خشک (شهریور ۹۵) نمونه‌برداری انجام شد. پارامترهایی که در نمونه‌های برداشته شده از رودخانه اندازه‌گیری گردید شامل EC، TDS، pH، کدورت، جامدات معلق، یون‌های اصلی، یون‌های فرعی (نیتрат و فسفات)، عناصر بالقوه سمی، مواد آلی (BOD، COD و TOC) و مواد بیولوژیکی (کلی‌فرم) می‌باشند. در این فصل روش تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و نحوه نمونه‌برداری از آب رودخانه و آنالیز نمونه‌ها بیان می‌شود. همچنین روش محاسبه شاخص‌های کیفی مورد استفاده در این تحقیق نیز در انتهای فصل ارائه می‌گردد.

۳-۲- تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری

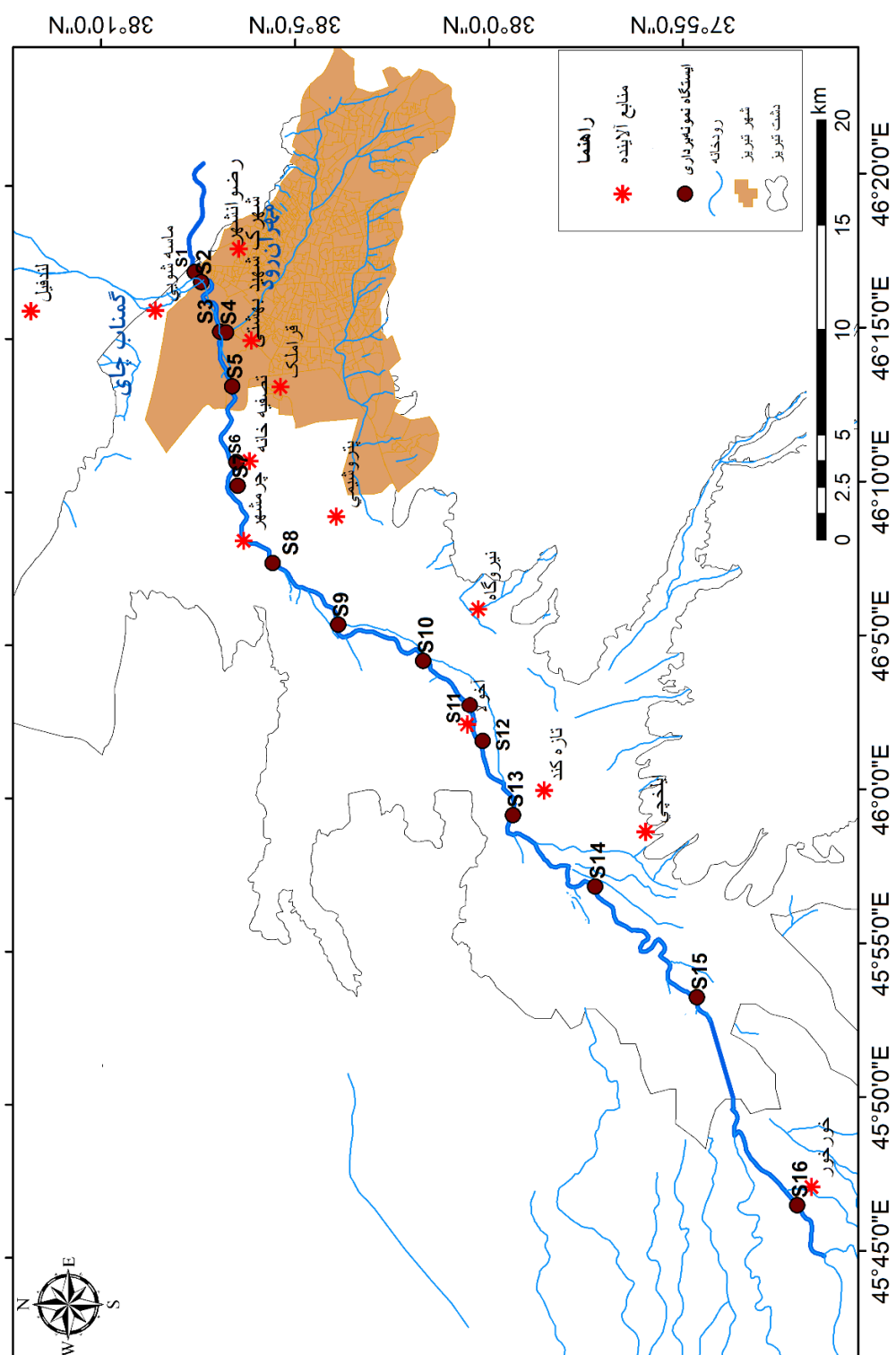
با استفاده از تصاویر Google Earth و انجام عملیات صحرایی جهت شناسایی منابع آلاینده آب در طول مسیر رودخانه آجی‌چای، تعداد ۱۶ ایستگاه در محدوده دشت تبریز انتخاب شده و نمونه‌برداری از محل هر ایستگاه طی دو فصل تر و خشک انجام گرفت. لازم به ذکر است در شهریور ماه به علت خشک بودن رودخانه در قسمت‌های انتهایی فقط از ۱۳ ایستگاه، نمونه‌برداری انجام گردید. جدول ۳-۱ مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری و شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی آنها را در طول مسیر رودخانه آجی‌چای نشان می‌دهد. به جز ایستگاه‌های S_2 و S_4 که به ترتیب در انتهای شاخه فرعی گمناب‌چای و مهران‌رود انتخاب شده‌اند، سایر ایستگاه‌ها در مسیر شاخه اصلی آجی‌چای قرار دارند. در شکل ۳-۲

تصاویری از برخی ایستگاه‌ها و نیز فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه آجی‌چای

شماره ایستگاه	مختصات جغرافیایی		محل ایستگاه نمونه‌برداری
	Y	X	
S₁	۴۲۲۰۷۷۶	۶۱۲۶۳۹	ورودی رودخانه آجی‌چای به دشت تبریز
S₂	۴۲۲۰۴۶۵	۶۱۲۱۶۳	انتهای شاخه فرعی گمناب‌چای (۳ km پایین‌تر از ماسه شویی)
S₃	۴۲۱۹۵۵۲	۶۰۹۸۰۲	شاخه اصلی آجی‌چای (بعد از کانال تخلیه فاضلاب رضواشهر و ...)
S₄	۴۲۱۹۲۸۱	۶۰۹۷۶۹	انتهای شاخه فرعی مهران‌رود
S₅	۴۲۱۸۹۸۶	۶۰۷۱۹۰	شاخه اصلی آجی‌چای (پایین‌تر از شهرک صنعتی شهید بهشتی)
S₆	۴۲۱۸۷۸۴	۶۰۳۵۸۹	شاخه اصلی آجی‌چای (نرسیده به تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز)
S₇	۴۲۱۸۷۲۸	۶۰۲۴۵۸	شاخه اصلی آجی‌چای (بعد از تصفیه‌خانه)
S₈	۴۲۱۷۰۵۴	۵۹۸۷۸۲	شاخه اصلی آجی‌چای (بعد از کانال تخلیه فاضلاب چرمشهر)
S₉	۴۲۱۳۹۳۲	۵۹۵۸۳۳	شاخه اصلی آجی‌چای (بعد از کانال پتروشیمی، ایران مایه و موتوژن)
S₁₀	۴۲۰۹۸۷۸	۵۹۴۱۱۱	شاخه اصلی آجی‌چای (بعد از کانال تخلیه پساب نیروگاه حرارتی)
S₁₁	۴۲۰۷۶۶۱	۵۹۱۹۹۱	شاخه اصلی آجی‌چای (نرسیده به آخولا)
S₁₂	۴۲۰۷۰۴۸	۵۹۰۳۰۰	شاخه اصلی آجی‌چای (بعد از آخولا)
S₁₃	۴۲۰۵۵۹۸	۵۸۶۷۶۸	شاخه اصلی آجی‌چای (تازه‌کند)
S₁₄	۴۲۰۱۶۸۷	۵۸۳۳۶۷	شاخه اصلی آجی‌چای (ایلخچی)
S₁₅	۴۱۹۶۸۳۹	۵۷۸۰۷۸	شاخه اصلی آجی‌چای (انتهای دشت)
S₁₆	۴۱۹۲۰۴۶	۵۶۶۶۳۸	شاخه اصلی آجی‌چای (خورخور)

توضیح: لازم به ذکر است ایستگاه‌های **S₁₄** تا **S₁₆** در شهریور ماه به دلیل خشک بودن رودخانه نمونه‌برداری نشده است.



شکل ۱-۳ موقعیت نقاط نمونه برداری و منابع آلاینده رودخانه آجی چای در محدوده دشت تبریز



شکل ۳-۲ - تصاویری از برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه آجی‌چای و فاضلاب‌های تخلیه شده به آن

۳-۳- نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها

نمونه برداری از آب رودخانه در ماه های اردیبهشت (مرحله اول) و شهریور (مرحله دوم) سال ۹۵ که به ترتیب نماینده دوره تر و دوره خشک در منطقه مورد مطالعه هستند، انجام گرفت. در تمام مراحل نمونه برداری روش ها و اصول استاندارد رعایت شده است. تمام بطری های مورد استفاده برای نمونه برداری از جنس پلی اتیلن بوده و ظروف مورد استفاده برای نمونه برداری به منظور آنالیز BOD، COD و TOC تیره رنگ انتخاب شدند. نمونه ها در حین انتقال به آزمایشگاه در محفظه با یخ خشک خنک نگهداری شده تا از فعالیت میکروارگانیسم ها در مدت انتقال به آزمایشگاه جلوگیری شود. برای آنالیز میکروبی (کلی فرم ها) و نیز برای آنالیز BOD از ظروف شیشه ای تیره رنگ استریل شده استفاده گردید. نمونه برداری از ۵ سانتیمتری زیر سطح آب پس از چند بار شستشوی بطری ها با آب رودخانه انجام شده و پس از پر شدن کامل بطری ها و خروج هوای داخل آنها درب بطری محکم بسته شد. لازم به ذکر است درب بطری های استریل شده در زیر آب باز شده و بعد از پر شدن آب دوباره در زیر آب بسته شد. به نمونه های برداشت شده جهت آنالیز فلزات بعد از فیلتر کردن حدود ۲ سی سی اسید نیتریک اضافه شده تا با کاهش pH به حدود دو از رسوب فلزات جلوگیری شود.

آنالیز یونهای اصلی در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود، عناصر بالقوه سمی، نیترات، فسفات و TOC در آزمایشگاه کنترل کیفی آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی، آنالیز BOD و COD در دانشکده شیمی و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز و همچنین آنالیز میکروبی در آزمایشگاه دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز انجام شده است. روش های آنالیز در جدول ۳-۲ خلاصه شده و در ادامه به تفصیل بیان شده است.

جدول ۳-۲- روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای کیفی در نمونه‌های برداشته شده از رودخانه آجی‌چای		
ردیف	پارامتر	روش اندازه‌گیری
۱	pH، EC و DO و دما	اندازه‌گیری در محل نمونه‌برداری با وسایل قابل حمل (پرتابل)
۲	جامدات معلق	وزن‌سنجی
۳	کدورت	کدورت سنج (نفلومتر)
۴	یون‌های اصلی	فیلتراسیون (کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات)، شعله‌سنجی (سدیم و پتاسیم) و توربیدیتی متر (سولفات)
۵	نیتрат	اسپکتروفتومتری UV
۶	فسفات	کالریمتری
۷	عناصر سنگین و سمی	دستگاه جذب اتمی AAS مدل ۲۲۰ ساخت VARIAN
۸	TOC	دستگاه TOC CSH مدل SHIMADZU
۹	COD	تیتراسیون
۱۰	BOD	دستگاه OxiTop IS6 محصول WTW
۱۱	کلی‌فرم	به روش MPN ۹ لوله‌ای

۳-۴- اندازه‌گیری پارامترهای کیفی

۳-۴-۱- پارامترهای صحرایی

میزان اکسیژن محلول (DO) در محل با استفاده از دستگاه DO متر (AZ مدل 8403)، pH آب با استفاده از دستگاه pH متر (AZ مدل 8601) و هدایت الکتریکی نیز با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری گردید.

۳-۴-۲- جامدات معلق (TSS)^۱

جامدات معلق نمونه‌های آب با روش فیلتراسیون و تبخیر اندازه‌گیری گردید. نمونه آب برداشته شده کاملاً مخلوط شده و از قسمت میانی بین گرداب بوجود آمده و دیواره ظرف مقدار مشخصی آب با

^۱ Total Suspended Solid

پیپت دهانه گشاد برداشت و از فیلتر (کمتر از ۲ میکرون) عبور داده شد. فیلتر مورد استفاده پس از جدا نمودن کامل مواد معلق آب، در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک گردید. اختلاف وزن فیلتر خشک شده با وزن اولیه آن نشان دهنده مقدار مواد جامد معلق آب بر حسب میلی گرم بر لیتر می باشد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- اندازه گیری جامدات معلق در نمونه های آب

۳-۴-۳- کدورت

کدورت نمونه های آب بعد از هم زدن کامل نمونه آب برداشته شده از رودخانه و بلافاصله ریختن آن درون سل دستگاه توربیدی متر بر حسب NTU^۱ اندازه گیری 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 می باشد. هرچه پراکندگی نور بیشتر باشد، کدورت نمونه بیشتر خواهد بود.

^۱ Nephelometric Turbidity Unit

۳-۴-۴- یون‌های اصلی

یون‌های اصلی در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود بر اساس روش‌های استاندارد به صورت زیر اندازه‌گیری شده است:

الف - کلسیم (Ca^{2+})

برای اندازه‌گیری کلسیم، ۲۵ سی‌سی از نمونه آب در یک ارلن تمیز ریخته شده و معرف مروکسید و ۵ سی‌سی KOH به آن اضافه می‌شود. رنگ نمونه قرمز رنگ شده و سپس با EDTA^1 عمل تیتراژ انجام شده تا رنگ محلول از قرمز به بنفش تغییر یابد. میزان EDTA مصرف شده معادل مقدار کلسیم بر حسب میلی اکی والان بر لیتر (epm) می‌باشد.

ب - مجموع کلسیم و منیزیم ($\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$)

۲۵ سی‌سی از نمونه آب در ارلن ریخته شده و ۵ سی‌سی اریوکرم بلک تی همراه با ۲ سی‌سی محلول بافر ۱۰ به آن اضافه می‌شود. محلول بنفش رنگ داخل ارلن با EDTA تیتراژ شده تا رنگ آن از بنفش به آبی تغییر یابد. مقدار EDTA مصرفی تا نقطه پایانی (تا زمانی که تغییر رنگ در نمونه آب مورد آنالیز مشاهده شود) معرف مجموع کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکی والان بر لیتر (epm) می‌باشد. پس از اندازه‌گیری مجموع کلسیم و منیزیم، غلظت منیزیم از کم کردن مقدار کلسیم از مجموع کلسیم و منیزیم محاسبه می‌گردد.

ج - سدیم و پتاسیم

برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم از روش نورسنجی شعله‌ای با دستگاه فلیم فوتومتر استفاده گردید. در این روش ابتدا محلول‌های استاندارد حاوی سدیم و پتاسیم تهیه شده و دستگاه کالیبره گردید. اساس کار این دستگاه سنجش انرژی نورانی و طیف قشری اتم‌های مورد نظر است. این نور دارای

¹ Ethylene Diamine Tetra Acetic acid

طول موج معینی است که مخصوص آن عنصر است. برای ایجاد نور از نمونه مورد آزمایش آن را به وسیله مکنده وارد شعله می‌کنیم و شعله از سوختن گاز قابل اشتعال به وجود می‌آید. در نهایت براساس نور منتشر شده غلظت سدیم و پتاسیم بر روی صفحه نمایش دستگاه نشان داده می‌شود. البته به علت شوری بالا، برخی نمونه‌ها به رقیق سازی نیاز داشتند که این رقیق سازی در هر مورد بسته به مقدار هدایت الکتریکی نمونه انجام گردید.

د- بی کربنات (HCO_3^-)

به ۲۵ سی‌سی از نمونه آب چند قطره متیل اورانژ اضافه شده تا رنگ محلول به نارنجی تغییر یابد. سپس محلول با اسید سولفوریک تیترا گردید. حجم اسید سولفوریک مصرفی برای تغییر رنگ از نارنجی به صورتی و پایان تیتراسیون، مقدار بی کربنات را بر حسب epm نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در pH کمتر از ۸/۳ یون کربنات محلول نمی‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه pH تمامی نمونه‌ها کمتر از این مقدار بوده است، از اندازه‌گیری کربنات در نمونه‌ها صرف نظر شد.

ه- کلراید (Cl^-)

چهار قطره معرف کرومات پتاسیم به ۲۵ سی‌سی از نمونه افزوده شده و با محلول نیترات نقره، عمل تیتراسیون انجام شد. پایان تیتراسیون تبدیل رنگ زرد نمونه به رسوب آجری رنگ خواهد بود. میزان مصرفی نیترات نقره، مقدار غلظت کلر بر حسب epm می‌باشد.

و- سولفات (SO_4^{2-})

برای تعیین سولفات نمونه‌ها از دستگاه توریدیمتری استفاده شد. ۲۵ سی‌سی از نمونه آب، با استفاده از آب مقطر به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شد. سپس ۰/۵ گرم پودر کلرید باریم با چند قطره هیدروکلریک اسید به آن افزوده شده و مقدار سولفات با استفاده از دستگاه

کدورت سنج (توربیدی متر) اندازه گیری گردید.

ت- بررسی دقت آنالیز یون های اصلی

نمونه آب از نظر الکتریکی خنثی بوده و بنابراین بار الکتریکی کلی آنیون ها و کاتیون های آنالیز شده بایستی مساوی باشد. بارهای کلی مثبت و منفی با جمع کردن اکی والان های یون های مثبت و منفی به دست می آید. طبق رابطه زیر خطای بالانس یون ها از تقسیم اختلاف غلظت کاتیون ها و آنیون ها به مجموع آنها به صورت درصد بیان می شود:

$$\text{خطا (درصد)} = \frac{|\text{مجموع آنیون} - \text{مجموع کاتیون}|}{\text{مجموع آنیون} + \text{مجموع کاتیون}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳-۱})$$

درصد خطا در آنالیز آب بایستی کمتر از ۵ باشد.

همچنین برای بررسی دقت آنالیزها می توان از نسبت EC/100 که باید مساوی مجموع آنیون ها یا کاتیون ها بر حسب epm باشد و یا از نسبت TDS/EC که از ۰/۵۵ تا ۰/۷ متغیر و قابل قبول می باشد، استفاده نمود (Standard method, 1999).

۳-۴-۵- نیتрат (NO_3^-)

در این تحقیق غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری اندازه گیری گردید. بدین منظور نمونه صاف شده و سپس به ۵۰ میلی لیتر از آن، ۵۰ میلی لیتر استوک نیترات (نیترات پتاسیم رقیق شده بعلاوه ۲ میلی لیتر کلروفرم) و یک میلی لیتر اسید کلریدریک اضافه کرده (اسیدی کردن نمونه با اسید کلریدریک از تداخلات مربوط به هیدروکسید یا کربنات جلوگیری می کند) و سپس در طول موج های مختلف در مقابل بلانک (آب مقطر) میزان جذب قرائت شده و از روی منحنی استاندارد جذب، غلظت نیترات اندازه گیری گردید.

۳-۴-۶- فسفات (PO_4^{3-})

بسته به غلظت فسفات روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری فسفر به طریق کالریمتری وجود دارد. برای غلظت فسفات در محدوده ۱-۲۰ میلی‌گرم در لیتر روش وانادو مولیبدو فسفریک اسید و برای محدوده غلظت ۰/۰۱-۶ میلی‌گرم در لیتر روش کلرید استانو مناسب می‌باشد. در این تحقیق برای آنالیز نمونه‌های مربوط به فصل خشک از روش وانادو مولیبدو فسفریک اسید و برای نمونه‌های مربوط به فصل تر از روش کلرید استانو استفاده گردید. در روش کالریمتری به علت آنکه فسفات ممکن است با مواد آلی ترکیب شود، برای تعیین مقدار کل فسفر باید روش هضم را به کار برد تا مواد آلی را اکسید کرده و فسفر را به شکل ارتوفسفات آزاد نماید. غلظت فسفات در نهایت با استفاده از منحنی‌های استاندارد و محاسبه آن با روابط ریاضی موجود به دست می‌آید.

۳-۴-۷- عناصر بالقوه سمی

غلظت عناصر سنگین و سمی در نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AA) اندازه‌گیری گردید. عناصر اندازه‌گیری شده در این تحقیق شامل کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، آرسنیک (As)، مس (Cu)، روی (Zn)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، منگنز (Mn)، کبالت (Co)، باریم (Ba)، آلومینیوم (Al)، مولیبدن (Mo) و نیکل (Ni) می‌باشد.

۳-۴-۸- مواد آلی

در این تحقیق پارامترهای کربن آلی کل (TOC)، اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) که معرف مواد آلی در نمونه‌های آب می‌باشند، اندازه‌گیری شد. غلظت کربن آلی کل (TOC) از اکسیداسیون کربن آلی به کربن دی اکسید و اندازه‌گیری کربن دی اکسید ایجاد

شده تعیین می‌شود. در این تحقیق از دستگاه TOC CSH ساخت شیمادزو^۱ جهت اندازه‌گیری غلظت کربن آلی کل (TOC) استفاده شده است.

میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) نمونه‌ها با استفاده از دستگاه OxiTop IS6 محصول WTW اندازه‌گیری گردید. اصول اندازه‌گیری در مدل‌های مختلف دستگاه‌های اندازه‌گیری BOD کمپانی WTW بر اساس روش فشارسنجی (مانومتري) بوده که سنسور فشار بر روی کلاهک هر یک از بطری‌ها قرار دارد. این سنسور نسبت به کاهش فشار اکسیژن حساس بوده و مقدار غلظت BOD بر روی صفحه نمایش کلاهک نشان داده می‌شود.

میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) نمونه‌ها نیز به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. آزمون با مقدار معین پتاسیم دی کرومات و کاتالیزور نقره در حضور سولفات جیوه (II) در محیط سولفوریک اسید قوی برای یک مدت زمان ثابت نگهداری می‌شود. در طی واکنش انجام شده بخشی از دی کرومات توسط مواد قابل اکسایش موجود احیا می‌شود. دی کرومات باقیمانده با سولفات آمونیوم آهن (II) تیترا شده و مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی از میزان دی کرومات احیا شده محاسبه می‌شود.

۳-۴-۹- پارامترهای بیولوژیکی

در این تحقیق پارامترهای بیولوژیکی شامل مجموع کلی‌فرم‌ها و کلی‌فرم مدفوعی اندازه‌گیری گردید. برای انجام این آزمایش از ۹ لوله آزمایش حاوی محیط کشت لاکتوز استفاده می‌شود. در هر کدام از این لوله‌های آزمایش مقدار مشخصی از نمونه ریخته شده و به مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت در دمای ۳۵/۵ تا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد که برای رشد کلی‌فرم‌ها مناسب می‌باشد، نگهداری می‌شود. در صورت وجود کلی‌فرم در نمونه به خاطر عمل تخمیر محلول کدر می‌شود که به کمک جدول‌های استاندارد موجود

^۱SHIMADZU

مقدار کلی فرم بر حسب $MPN^1/100\text{ ml}$ (بیشترین تعداد ممکن در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه) به دست می آید. این قسمت به نام مرحله احتمالی آزمایش معروف بوده و برای اطمینان از وجود کلی فرمها دو مرحله دیگر به نام مرحله تأییدی و تکمیلی نیز انجام می گیرد. لازم به ذکر است اندازه گیری کلی فرمهای مدفوعی (فیکال کلی فرمها) نیز مانند مراحل بالا بوده، با این تفاوت که در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد (مناسب برای رشد کلی فرمهای مدفوعی) انجام می گیرد.

۳-۵- شاخص های آلودگی و روش محاسبه آنها

۳-۵-۱- شاخص فلزی (MI)

شاخص فلزی طبق رابطه زیر تعریف می شود (Goher *et al.*, 2014):

$$MI = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{(MAC)_i} \right] \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

در این رابطه C_i غلظت فلز، MAC حداکثر مقدار مجاز فلز می باشد. برای متغیر MAC از استاندارد آب شرب ایران استفاده شده است. حد قابل قبول برای این شاخص یک می باشد و مقادیر بالاتر نشان دهنده آلودگی است. طبقه بندی کیفیت آب بر اساس MI در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۳- طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص MI

کلاس	میزان اثرگذاری	شاخص فلزی (MI)
I	خیلی ضعیف	< 0.3
II	ضعیف	$0.3 - 1$
III	متوسط	$1 - 2$
IV	کم	$2 - 4$
V	قوی	$4 - 6$
VI	خطرناک	> 6

¹Most Probable Number

۳-۵-۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده می‌شود (Ameh & Akpah, 2011):

$$HPI = \sum_{i=1}^n (Q_i W_i) / \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

که در آن Q_i شاخص فرعی پارامتر i ام و W_i واحد وزنی پارامتر i ام می‌باشند که به صورت زیر تعریف می‌شوند؛

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad \text{و} \quad K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}} \quad \text{رابطه (۴-۳)}$$

$$Q_i = 100 \frac{V_i}{S_i} \quad \text{رابطه (۵-۳)}$$

که در این روابط K ثابت تناسب، V_i غلظت اندازه‌گیری شده و S_i حد مجاز پارامتر i ام (استاندارد آب شرب ایران) می‌باشد. آبهای دارای HPI بالاتر از ۱۰۰ به عنوان آبهای آلوده به فلزات سنگین شناخته می‌شوند.

۳-۶- روش محاسبه شاخص‌های کیفیت آب

۳-۶-۱- شاخص کیفی NSFQI

شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا به صورت دو فرم افزایشی ($NSFWQI_a$) و ضربی ($NSFWQI_m$) محاسبه می‌شود که هر دو فرم رایج می‌باشند. برای محاسبه هر دو فرم شاخص از روابط زیر استفاده می‌شود (Lumb et al., 2011).

$$\text{NSFWQI}_a = \sum_{i=1}^n w_i I_i \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

$$\text{NSFWQI}_m = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \quad \text{رابطه (۳-۷)}$$

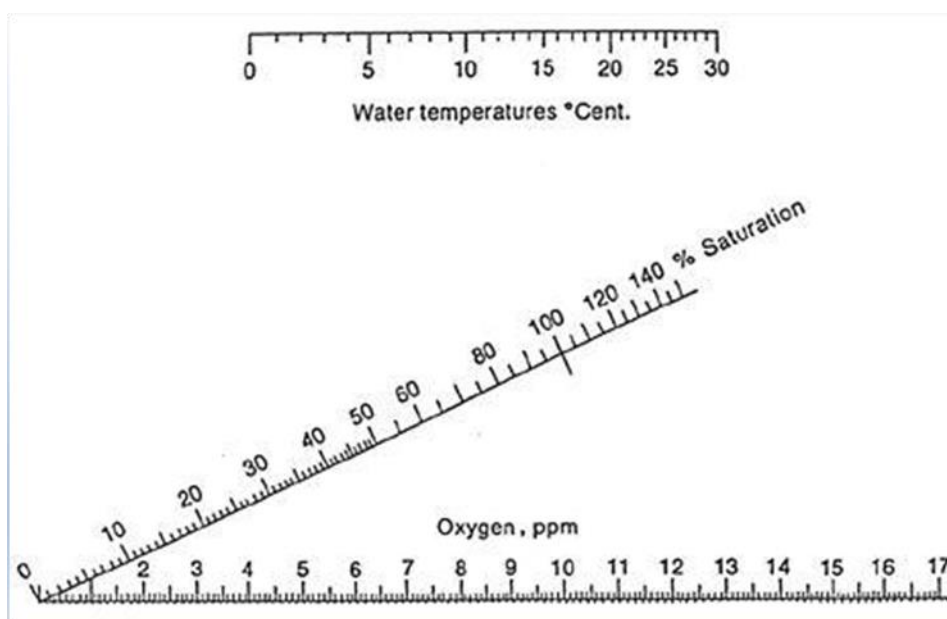
که در آن n تعداد پارامترها، I_i زیرشاخص هر پارامتر و w_i فاکتور وزنی می‌باشد. مقادیر وزن در جدول ۳-۴ برای پارامترهای مورد استفاده ارائه گردیده است. برای محاسبه مقادیر هر زیر شاخص از نرم‌افزار آنلاین WQI Calculator استفاده شده و در نهایت کیفیت آب بر اساس جدول ۳-۵ طبقه‌بندی گردید. لازم به ذکر است که قبل از به‌دست آوردن زیرشاخص اکسیژن محلول لازم است مقدار آن به صورت درصد محاسبه گردد که برای این کار از نمودار (شکل ۳-۵) استفاده گردید. جهت محاسبه درصد اکسیژن محلول با استفاده از این نمودار با در نظر داشتن دما و اکسیژن محلول نمونه آب مورد مطالعه از محور مربوط به دما تا محور مربوط به اکسیژن خط مستقیمی کشیده و محل برخورد خط با محور درصد اکسیژن، درصد اکسیژن اشباع خواهد بود. منحنی‌های امتیاز برای محاسبه مقادیر زیر شاخص هر پارامتر که در نرم‌افزار آنلاین WQI Calculator مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل (۳-۶) ارائه شده است.

جدول ۳-۴- مقادیر وزن هر پارامتر در شاخص NSFWQI (Abbasi, 2012)

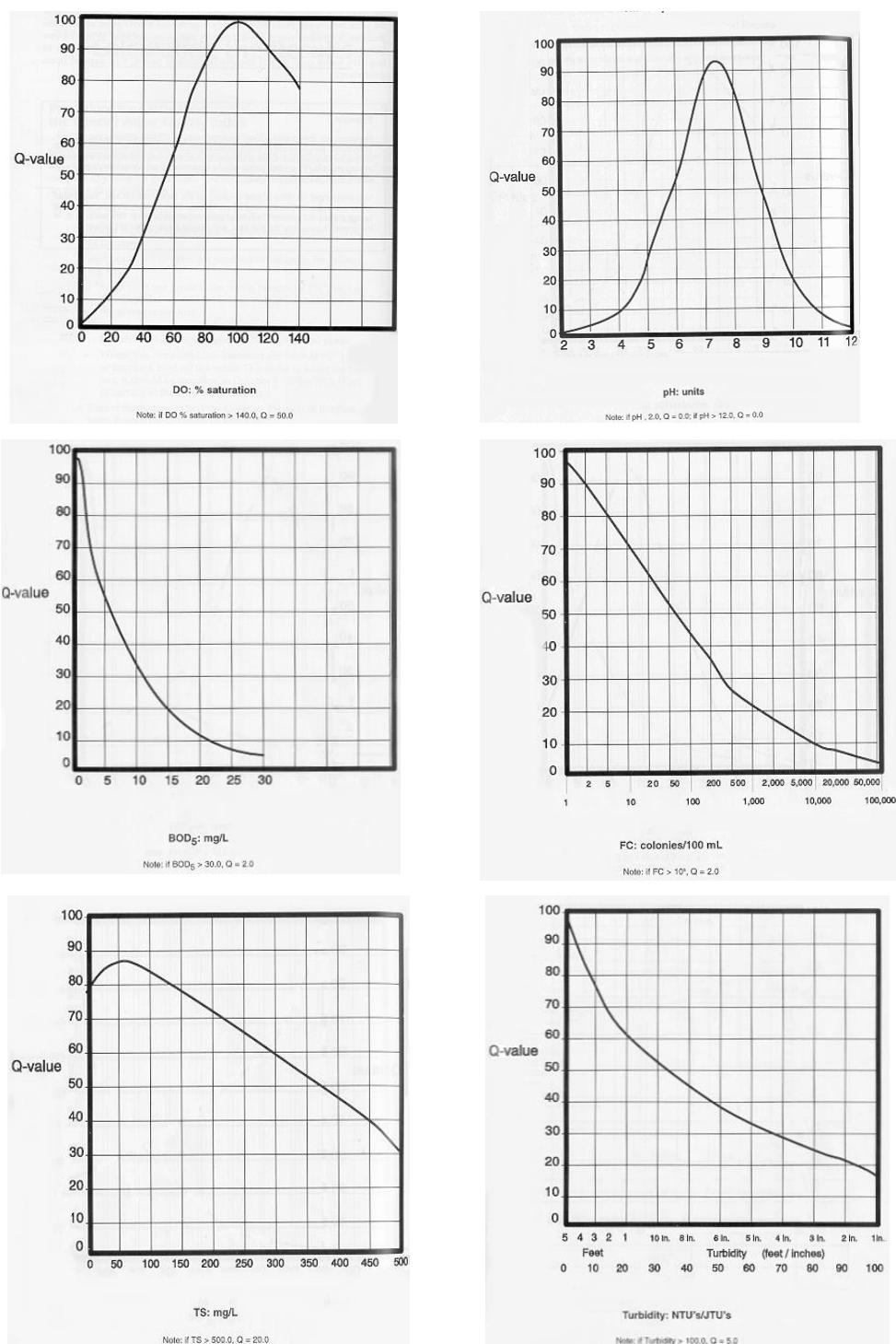
وزن (w_i)	پارامتر
۰/۱۷	اکسیژن محلول
۰/۱۶	کلی‌فرم مدفوعی
۰/۱۱	pH
۰/۱۱	اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی
۰/۱۰	نیتрат
۰/۱۰	فسفات
۰/۱۰	دما
۰/۰۸	کدورت
۰/۰۷	کل مواد جامد
۱/۰۰	جمع کل

جدول ۳-۵- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص NSFQI (ظهراپی و همکاران ۱۳۹۳)

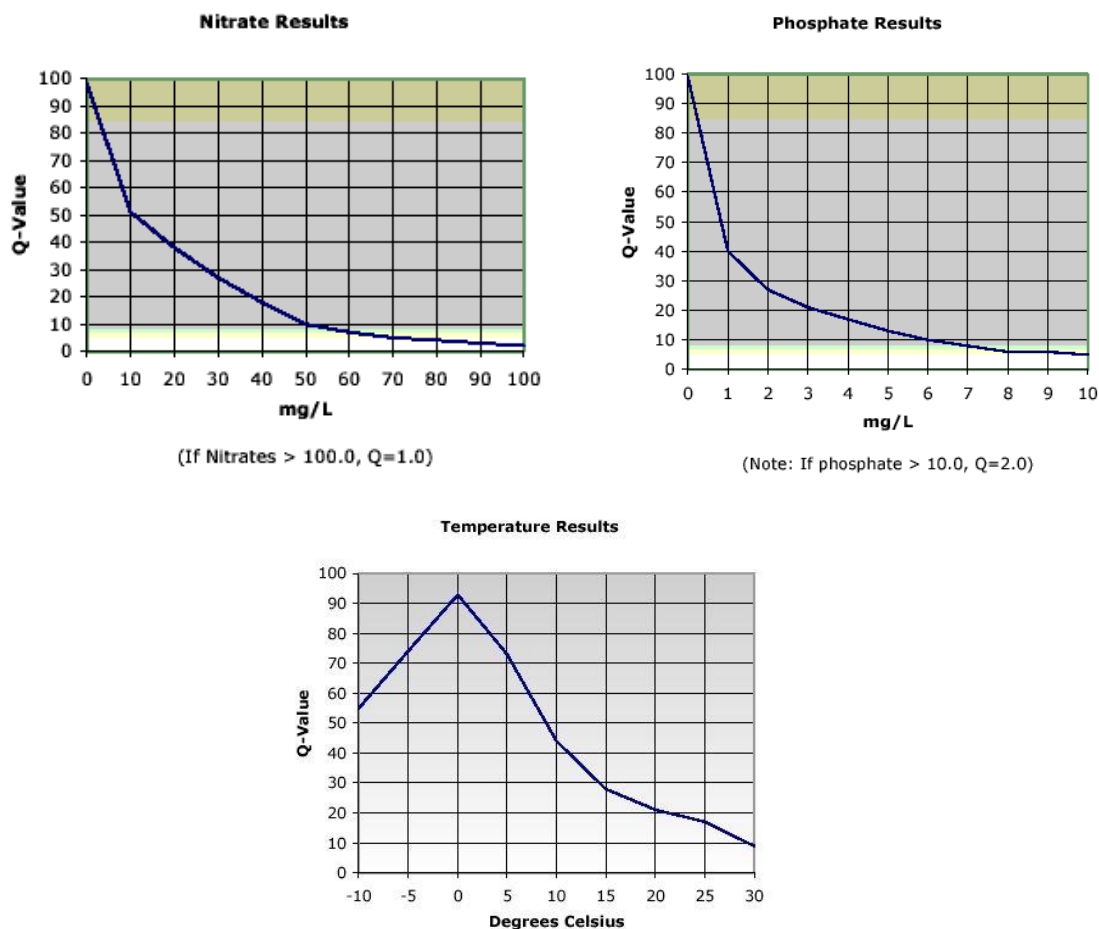
مقادیر شاخص	رده‌بندی کیفی	رنگ
۰ - ۲۵	خیلی بد	قرمز
۲۵ - ۵۰	بد	نارنجی
۵۰ - ۷۰	متوسط	زرد
۷۰ - ۹۰	خوب	سبز
۹۰ - ۱۰۰	عالی	آبی



شکل ۳-۵ - نمودار محاسبه درصد اکسیژن محلول



شکل ۳-۶- منحنی‌های امتیاز برای محاسبه مقادیر زیرشاخص هر پارامتر در شاخص NSFQI



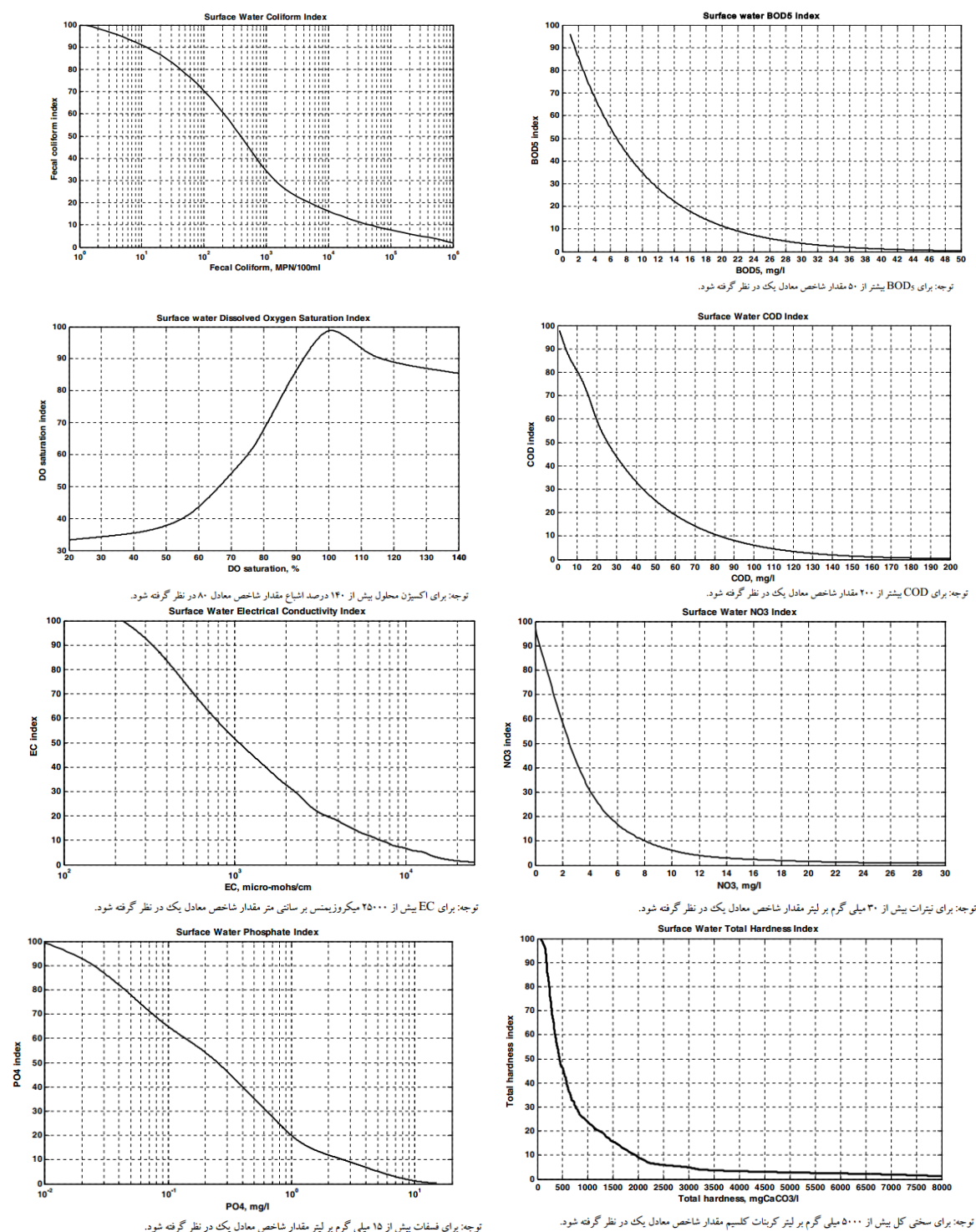
شکل ۳-۶- ادامه

۳-۶-۲- شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$)

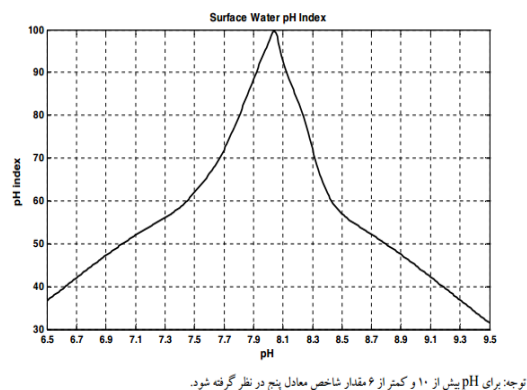
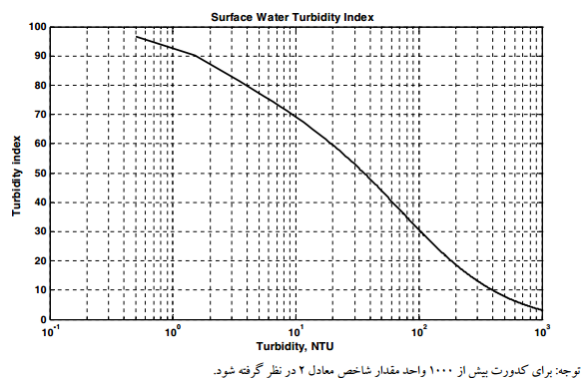
شاخص کیفی منابع آب سطحی ایران نیز بعد از تبدیل غلظت اکسیژن محلول (بر حسب میلی گرم بر لیتر) به درصد اشباع (شکل ۳-۵) و تعیین وزن هر پارامتر با استفاده از جدول ۳-۶ و در نهایت محاسبه مقادیر زیرشاخص‌ها با استفاده از منحنی امتیاز مربوطه (شکل ۳-۷) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران، ۱۳۹۳).

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \text{و} \quad \gamma = \sum_{i=1}^n w_i \quad \text{رابطه (۳-۸)}$$

که در آن w_i وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها، I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام بر اساس منحنی امتیاز می‌باشند.



شکل ۳-۷- منحنی‌های امتیاز برای محاسبه مقادیر زیرشاخص هر پارامتر در شاخص IRWQI-SC



شکل ۳-۷- ادامه

لازم به ذکر است به دلیل عدم اندازه گیری پارامتر آمونیوم در نمونه های برداشت شده از رودخانه آجی چای، عدد وزنی آن بین پارامترهای دیگر به طور یکسان پخش گردید، به طوری که مجموع وزن ها برابر یک باشد. پس از محاسبه شاخص $IRWQI_{sc}$ طبقه بندی کیفی آب مطابق جدول ۳-۷ انجام شده است.

جدول ۳-۶- مقادیر وزن هر پارامتر در شاخص $IRWQI_{sc}$

ردیف	پارامتر	وزن	توضیحات
۱	کلی فرم مدفوعی	۰/۱۴۰	بر حسب MPN/100ml
۲	BOD ₅	۰/۱۱۷	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۳	نیتрат	۰/۱۰۸	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۴	اکسیژن محلول	۰/۰۹۷	بر حسب درصد اشباع
۵	هدایت الکتریکی	۰/۰۹۶	بر حسب میکروزیمنس بر سانتیمتر
۶	COD	۰/۰۹۳	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۷	آمونیم	۰/۰۹۰	مجموع آمونیم
۸	فسفات	۰/۰۸۷	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۹	کدورت	۰/۰۶۲	بر حسب NTU
۱۰	سختی کل	۰/۰۵۹	بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم
۱۱	pH	۰/۰۵۱	واحد استاندارد

جدول ۳-۷- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص $IRWQI_{sc}$ (راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران، ۱۳۹۳)

مقدار شاخص	معادل توصیفی	رنگ
کمتر از ۱۵	خیلی بد	بنفش
۱۵ - ۲۹/۹	بد	قرمز
۳۰ - ۴۴/۹	نسبتاً بد	نارنجی
۴۵ - ۵۵	متوسط	زرد کم رنگ
۵۵/۱ - ۷۰	نسبتاً خوب	سبز روشن
۷۰/۱ - ۸۵	خوب	آبی روشن
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب	آبی تیره

۳-۶-۳- شاخص آلودگی رودخانه (RPI)

در محاسبه این شاخص عامل وزن دخالت نداشته و بعد از محاسبه زیرشاخص‌ها با استفاده از توابع ذکر شده (جدول ۳-۸) برای محاسبه شاخص نهایی، جمع خطی زیرشاخص‌ها (I_i) در مقدار $10 / (n + 1)$ ضرب می‌شود تا شاخص بین ۱۰۰ (سطح طبیعی) و ۱۰۰۰ (بسیار آلوده) متغیر باشد. شاخص نهایی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RPI = \frac{10}{n + 1} \sum_{i=1}^n I_i \quad \text{رابطه (۳-۹)}$$

که در آن I_i زیرشاخص هر پارامتر و n تعداد پارامترهای مورد استفاده می‌باشد.

جدول ۳-۸- توابع زیرشاخص هر پارامتر در شاخص آلودگی رودخانه (RPI)

پارامتر	توابع زیرشاخص
درصد اکسیژن محلول	$x = DO\%$ $I_i = 100 - x$
ماده آلی زیست تجزیه پذیر	$x = BOD_5 \text{ (ppm)}$ $I_i = 10x$
ماده آلی	$x = COD$ و $y = BOD_5$ $I_i = 5(x - y)$
کل کلی فرم	$x = T.C$ $I_i = 10(\log x / \log 3)$
جامدات معلق غیر فرار	$x = \text{Nonvolatile Suspended Solids}$ $I_i = x$
مواد مغذی	$x = \text{Total N (ppm)}$ $y = \text{Total } PO_4 \text{ (ppm)}$ $I_i = 25x + 50y$
هدایت الکتریکی	$x = EC \text{ (}\mu\text{m/cm)}$ $I_i = 0.25x$
دما	$x = T$ $I_i = x^2 / 6 - 65$

۳-۶-۴- شاخص سید (said)

شاخص سید به صورت زیر محاسبه می شود (Said et al., 2004).

$$WQI = \log \left[\frac{DO^{1.5}}{(3.8)^{TP} (Turb)^{0.15} (15)^{F.coli/10000} + 0.14 (SC)^{0.5}} \right] \quad \text{رابطه (۳-۷)}$$

که در آن DO اکسیژن محلول (برحسب درصد اشباع)، TP فسفات کل (بر حسب mg/l)، Turb کدورت (بر حسب NTU)، F.coli کلی فرم مدفوعی (بر حسب MPN)، SC هدایت ویژه (بر حسب mS/cm) می باشند. پس از محاسبه این شاخص طبقه بندی کیفی آب مطابق جدول ۳-۹ انجام می شود.

جدول ۳-۹- طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص سید Said

مقادیر شاخص	رده بندی کیفی
۲-۳	قابل قبول
۱-۲	نیاز به تغییر سیاست های مدیریتی
۰-۱	ضرورت تغییر سیاست های مدیریتی

۳-۶-۵- شاخص اورگان (OWQI^۱)

در این شاخص عامل وزن وجود نداشته و مقادیر زیرشاخص‌ها از طریق توابع مربوطه و یا با استفاده از منحنی‌های امتیاز به‌دست می‌آیند. ابتدا اکسیژن محلول به صورت درصد محاسبه شده و سپس از منحنی امتیاز مربوطه جهت محاسبه زیرشاخص آن استفاده گردید. در این مطالعه برای به‌دست آوردن مقادیر هر زیرشاخص از منحنی‌های امتیاز مربوط به هر پارامتر (شکل ۳-۸) استفاده گردید. شاخص نهایی اورگان با رابطه زیر محاسبه گردید (Lumb *et al.*, 2011):

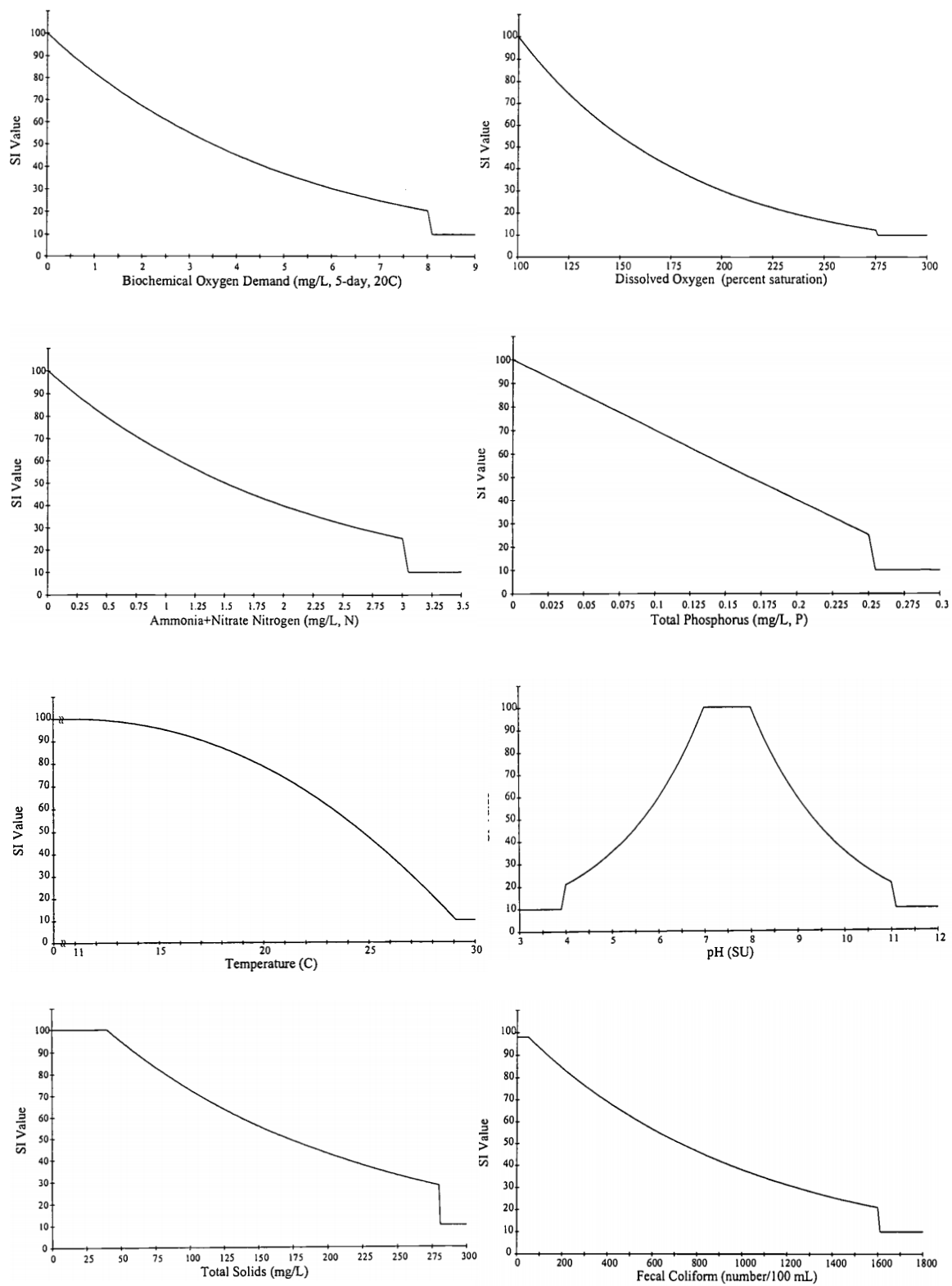
$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n 1/S_i^2}} \quad \text{رابطه (۳-۱۰)}$$

که در آن S_i زیرشاخص هر پارامتر و n تعداد کل پارامترهای مورد استفاده می‌باشد. در نهایت پس از محاسبه شاخص اورگان کیفیت رودخانه با استفاده از جدول (۳-۱۰) طبقه‌بندی می‌گردد.

جدول ۳-۱۰- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص اورگان

مقادیر شاخص	رده‌بندی کیفی
۵۹ - ۱۰	خیلی بد
۷۹ - ۶۰	بد
۸۴ - ۸۰	متوسط
۸۹ - ۸۵	خوب
۱۰۰ - ۹۰	عالی

^۱ Oregon Water Quality Index



شکل ۳-۸- منحنی‌های امتیاز برای محاسبه مقادیر زیرشاخص هر پارامتر در شاخص اورگان

۳-۶-۶- دومین شاخص دینیوس (Dinius)

در محاسبه این شاخص به دلیل عدم اندازه‌گیری پارامتر رنگ در نمونه‌های برداشت شده از رودخانه آجی‌چای، وزن آن بین سایر پارامترها به طور یکسان پخش گردید و توابع هر پارامتر محاسبه شده و مقادیر زیرشاخص‌ها به دست آمد (جدول ۳-۱۱). در نهایت شاخص دینیوس طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$WQI = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \quad \text{رابطه (۳-۱۱)}$$

I_i زیرشاخص متغیر آلاینده و w_i وزن متغیر آلاینده است.

پس از محاسبه شاخص دینیوس، طبقه‌بندی کیفی آب بر اساس مصارف مختلف مطابق جدول ۳-۱۲ انجام شد.

جدول ۳-۱۱- وزن هر پارامتر و توابع زیرشاخص هر پارامتر در شاخص دینیوس (Abbasi, 2012)

Parameter	Dimension	Weight	Function
DO	%Saturation	0.109	$0.82DO + 10.56$
5-Day BOD	mg/L, at 20 °C	0.097	$108(BOD)^{-0.3494}$
Coli	MPN-Coli/100 ml	0.090	$136(COLI)^{-0.1311}$
<i>E. coli</i>	Faecal-Coli/100 ml	0.116	$106(E-COLI)^{-0.1286}$
Alkalinity	ppm CaCO ₃	0.063	$110(ALK)^{-0.1342}$
Hardness	ppm CaCO ₃	0.065	$552(HA)^{-0.4488}$
Chloride	mg/L, fresh water	0.074	$391(CL)^{-0.3480}$
Sp. Conductance	μmhos/cm 25 °C	0.079	$506(SPC)^{-0.3315}$
pH	pH < 6.9		$10^{0.6803 + 0.1856(pH)}$
	pH – units (6.9 – 7.1)	0.077	1
	pH > 7.1		$10^{3.65 - 0.2216(pH)}$
Nitrate	as NO ₃ , mg/l	0.090	$125(N)^{-0.2718}$
Temperature	°C	0.077	$10^{2.004 - 0.0382(T_a - T_z)}$
Colour	Colour units – Pt std	0.063	$127(C)^{-0.2394}$

جدول ۳-۱۲- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس نوع مصرف در شاخص دینیوس (الباجی و همکاران، ۱۳۹۳)

مصارف صنعتی	مصارف کشاورزی	حیات آبریان	مصارف تفریحی	مصارف عمومی آب	سطح آلودگی
در این محدوده آب جهت استفاده در مصارف صنعتی نیاز به تصفیه ندارد	در این ناحیه آب جهت استفاده در مصارف کشاورزی نیاز به تصفیه ندارد	آب موجود در این محدوده جهت حیات تمامی آبریان مناسب تعیین شده است.	در این محدوده استفاده از آب جهت انجام تمامی ورزشهای آبی مناسب باشد.	آب موجود در این محدوده جهت مصارف عمومی نیاز به تصفیه ندارد.	۱۰۰
در این ناحیه تنها به منظور استفاده در صنایع حساس نیاز به تصفیه جزئی در آب وجود دارد	در این محدوده آب به منظور استفاده جهت آبیاری محصولات کشاورزی به تصفیه جزئی نیاز دارد.			در این محدوده آب به تصفیه کمی نیاز دارد.	۹۰
					۸۰
					۷۰
آب موجود در صنایع معمولی نیاز به تصفیه ندارد	آب موجود در این ناحیه جهت آبیاری اکثر محصولات کشاورزی (به جز محصولات غیر حساس) نیاز به تصفیه ندارد.	آب موجود در این ناحیه جهت حیات آبریان حساس دارای کیفیت متوسط می باشد.	در این ناحیه جهت استفاده تفریحی و تماس با آب نیاز به کنترل میکروبی وجود دارد و باید شمارش باکتریایی صورت گیرد.	در این ناحیه برای استفاده از آب جهت مصارف عمومی نیاز به تصفیه کامل وجود دارد.	۶۰
		آب موجود در این ناحیه جهت حیات آبریان حساس مشکوک بنظر می رسد			
آب موجود در این ناحیه جهت استفاده در اکثر صنایع نیاز به تصفیه دارد	آب موجود در این محدوده جهت آبیاری اکثر محصولات کشاورزی نیاز به تصفیه دارد	در این محدوده تنها امکان حیات برای آبریان مقاوم وجود دارد.	این محدوده جهت تماس با آب مشکوک می باشد.	آب موجود در این محدوده برای استفاده جهت مصارف عمومی مشکوک می باشد.	۵۰
		آب در این ناحیه تنها جهت حیات آبریان خشن (با رنج طاقت بسیار) سازگار می باشد.	در این ناحیه تنها امکان قایق سواری (بدون تماس با آب) وجود دارد.		۴۰
آب موجود در این محدوده تنها جهت استفاده در صنایع سخت و غیر حساس دارای کاربرد می باشد.	آب موجود در این ناحیه تنها جهت آبیاری محصولات کاملاً مقاوم کاربرد دارد.	در این محدوده آب عنوان محیط زیستی آلوده و غیر قابل قبول تلقی می گردد و امکان حیات برای آبریان وجود ندارد.	در این محدوده نشانه های آلودگی در آب وجود دارد	در این ناحیه استفاده از آب جهت مصارف عمومی غیر قابل قبول می باشد.	۳۰
					۲۰
کاربرد آب موجود در این ناحیه در مصارف مختلف صنعتی غیر قابل قبول می باشد.	استفاده از آب موجود در این محدوده بمنظور آبیاری محصولات کشاورزی غیر قابل قبول است.		در این ناحیه آلودگی آب بدیهی است و استفاده از آن جهت مصارف تفریحی قابل قبول نمی باشد.		۱۰
					۰

۳-۶-۷- محاسبه WQI

روش وزندهی حسابی در WQI با استفاده از پارامترهای رایج کیفیت آب انجام می‌گیرد که انتخاب این پارامترها می‌تواند بر اساس نوع مصارف موجود باشد. شاخص WQI طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود؛

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{رابطه (۳-۱۲)}$$

مقیاس رتبه‌بندی کیفیت (Q_i) برای هر پارامتر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود؛

$$Q_i = 100 \left[\frac{V_i - V_0}{S_i - V_0} \right] \quad \text{رابطه (۳-۱۳)}$$

که در آن V_i مقادیر اندازه‌گیری شده iامین پارامتر، V_0 مقادیر ایده‌آل هر پارامتر که برای همه پارامترها به‌جز pH و DO که به ترتیب برابر ۷ و ۱۴/۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند، مقدار آن برابر صفر می‌باشد. S_i مقادیر استاندارد iامین پارامتر و K ثابت تناسب است.

وزن (W_i) هر پارامتر به صورت زیر محاسبه می‌شود؛

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad \text{رابطه (۳-۱۴)}$$

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}} \quad \text{رابطه (۳-۱۵)}$$

رتبه‌بندی کیفیت آب با توجه به شاخص WQI در جدول ۳-۱۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۳- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص WQI

مقادیر شاخص	رده‌بندی کیفی	کلاس
۰ - ۲۵	عالی	A
۲۶ - ۵۰	خوب	B
۵۱ - ۷۵	بد	C
۷۶ - ۱۰۰	خیلی بد	D
بالاتر از ۱۰۰	نامناسب برای شرب	E

در محاسبه این شاخص از پارامترهای در دسترس مختلفی با توجه به نوع مصرف استفاده شد. برای محاسبه شاخص WQI بر اساس مصارف کشاورزی از پارامترهای pH، کل جامدات محلول، نسبت جذب سدیم، بی‌کربنات، کلرید و فسفات استفاده گردید. برای استفاده از آب جهت مصارف اکوسیستم‌های آبی نیز از پارامترهایی مانند pH، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیولوژیکی، کل جامدات محلول، کلرید و نیترژن نیترات و برای مصارف شرب نیز از پارامترهای pH، کل جامدات محلول، نیترژن نیترات، فسفات، سولفات، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیولوژیکی، کلرید، سدیم، کلسیم، منیزیم و سختی کل استفاده شده است (Goher et al., 2014).

برای مصارف کشاورزی از استاندارد پساب‌ها و آب‌های برگشتی در آبیاری فضای سبز به شماره ۵۳۵ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۹) و برای مصارف شرب از استاندارد آب شرب ایران (۱۰۵۳) و برای اکوسیستم‌های آبی نیز از استاندارد ملی ایران (۸۷۲۶) استفاده گردید.

فصل چہارم

نتیجہ و بحث

۴-۱- مقدمه

بررسی تغییرات کیفی و پهنه‌بندی رودخانه آجی‌چای در محدوده دشت تبریز با استفاده از شاخص‌های کیفی از اهداف این تحقیق است. در این راستا ابتدا با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده، تغییرات کیفی آب رودخانه در طول مسیر بررسی می‌شود. سپس با استفاده از شاخص‌های کیفی پهنه‌بندی کیفی رودخانه انجام شده و در انتها ضمن مقایسه نتایج شاخص‌های مورد استفاده شاخص‌های مناسب برای پهنه‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای معرفی می‌گردد.

۴-۲- ارزیابی خصوصیات کیفی رودخانه آجی‌چای

همانطور که در فصل سوم ذکر گردید پارامترهای کیفی رودخانه آجی‌چای شامل پارامترهای فیزیکی (دما، کدورت)، پارامترهای شیمیایی (یون‌های اصلی و فرعی، عناصر بالقوه سمی و مواد آلی) و پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترها طی دو فصل نمونه‌برداری تر (اردیبهشت ۹۵) و خشک (شهریور ۹۵) در جدول‌های ۴-۱ تا ۴-۵ نشان داده شده است. متوسط هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در فصل تر ۴۱۷۳/۷ و در فصل خشک ۵۱۰۵/۴ میکرو زیمنس بر سانتیمتر و متوسط TDS نمونه‌ها در فصل تر ۲۳۰۷ میلی گرم بر لیتر و در فصل خشک ۳۲۶۵ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. در میان پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب، مقادیر متوسط پارامترهای شیمیایی مثل یون‌های سولفات، منیزیم، کلسیم و فسفات از حد مجاز آب آشامیدنی ایران بالاتر است. در بین عناصر سمی متوسط غلظت آرسنیک، کادمیوم، آهن و آلومینیوم در هر دو فصل نمونه‌برداری و میانگین غلظت سرب در فصل خشک بالاتر از حد مجاز آب شرب است. مقادیر متوسط مواد آلی (BOD و COD) در هر دو فصل و میزان TOC در فصل خشک بالاتر از حد مجاز آب شرب می‌باشد. در ادامه تغییرات زمانی و مکانی هر یک از پارامترها بررسی خواهد شد.

جدول ۴-۱ - پارامترهای کیفی در نمونه‌های آب رودخانه آجی چای و شاخه‌های فرعی (S_2 و S_4) ورودی به آن در دو مرحله نمونه‌برداری

پارامتر ایستگاه	EC ($\mu\text{S/cm}$)		TDS (mg/l)		pH		دما ($^{\circ}\text{C}$)		کدورت (NTU)		TSS (mg/l)	
	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک
S1	5750	35700	2531.4	15480.2	6.3	6.17	19.7	25.4	889	14	2057.6	258
S2	3830	22000	2268.4	9503	6.31	6.81	22.5	27.5	3178.5	2760	4182	4014
S3	5390	9080	2526	4714	6.45	7.19	21.5	26.7	730	80.6	1068	234
S4	509	1506	457.3	972.8	6.91	7.7	22	28.1	591	108	3218	846
S5	4420	1838	1992	1248	6.48	7.7	17.3	22.1	922	35.4	1532	378
S6	4480	3140	2291.7	1545.3	6.51	7.62	17.4	17.6	988	63.8	2544	312
S7	3630	1430	2333.7	994	6.7	7.31	19.4	24.4	561	10	1002	336
S8	4160	2380	2674.8	1252.6	6.66	7.6	20.3	24.7	612	16.6	876	324
S9	4340	1953	2674.8	1158.7	6.75	7.7	22.3	22.5	420	85.8	113.5	384
S10	4150	2520	2679.6	1378	6.75	8.19	23.1	28.2	538	34.9	2160	264
S11	4160	2590	2335	1458.8	6.95	8.31	23.6	24.2	682	11	1436	222
S12	4280	2680	2426.3	1414	7.1	8.94	23.3	24.1	991	18.7	1688	282
S13	4400	2520	2310.7	1326	7.12	9.05	23.2	26	866	94.1	1318	438
S14	4620	خشک	2737.7	خشک	7.19	خشک	23.1	خشک	618	خشک	728	خشک
S15	4560	خشک	2302.2	خشک	7.28	خشک	23.9	خشک	446	خشک	526	خشک
S16	4100	خشک	2370.6	خشک	7.33	خشک	23.8	خشک	437	خشک	756	خشک
Min	509	1430	457.3	972.8	6.3	6.17	17.3	17.6	420	10	113.5	222
Max	5750	35700	2737.7	15480	7.33	9.05	23.9	28.2	3178.5	2760	4182	4014
Mean	4173.6	6872	2307	3265	6.8	7.7	21.6	24.7	841.8	256.3	1575.3	637.8

جدول ۴-۲- غلظت یون‌های اصلی و فرعی در نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای و شاخه‌های فرعی (S_2 و S_4) ورودی به آن

پارامتر	Mg (mg/l)		Na (mg/l)		Ca (mg/l)		K (mg/l)		Cl (mg/l)		SO_4^{2-} (mg/l)		HCO_3^- (mg/l)		NO_3^- (mg/l)		PO_4^{3-} (mg/l)		% Error	
ایستگاه	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک
S1	36.5	401	412.7	3433.2	300.6	871.7	412.7	74.4	939.5	8083	557.2	2407	274.6	201.4	3.7	7.7	0.3	1	8	10
S2	18.2	279.5	327.4	2076	360.7	691.3	327.4	64	726.8	4804	456.3	1492	366.1	85.42	4.6	9.5	0.03	1.2	2	5
S3	133.7	227.3	400.7	837.8	260.5	236.5	400.7	30	1010	2429	372.2	521.4	335.6	366.1	6.2	54	0.5	12	0.1	11
S4	20.7	46.2	45.5	114	40	72.1	45.5	16.3	81.5	184.4	117.7	180.3	134.2	329.5	11.6	17	1.2	13	9	5
S5	72.9	51	354	146	200.4	106.2	354	15.1	726.8	248.2	350.6	253	274.6	372.5	6.3	54	0.5	2.4	1.1	6
S6	91.1	55.9	355.9	236.7	310.6	104.2	355.9	16.4	815.4	567.2	336.2	269.3	366.1	274.6	7.3	17	2.8	4	3.5	12
S7	121.5	37.7	306	129.7	220.4	84.1	306	16.9	1046	244.6	325.2	177.8	262.4	256.3	39.2	34	3.1	13	7	5
S8	158	54.7	333.4	191.1	220.4	86.1	333.4	18	1276	390	378.5	275.6	256.3	207.5	40.1	17	2.3	12.5	10	6
S9	24.3	49.8	345.5	163.9	340.7	86.1	345.5	17.2	709.1	351	387.6	229.2	396.6	231.9	1.1	18	1.9	11.5	0.4	7
S10	66.8	60.7	331.7	197.5	340.7	118.2	331.7	16.1	1276	503.4	360.2	286.9	274.6	183.1	17.6	3.2	2.2	9	12	7
S11	127.6	59.5	336.3	200.4	220.4	104.2	336.3	17.3	939.5	531.8	409.7	279.3	280.7	250.2	9	3.6	2.4	12.5	4.2	12
S12	151.9	65.6	340.2	208.9	260.5	102.2	340.2	16.7	709.1	510.5	384.3	260.5	549.2	238	21	2.1	1.2	9.5	4.5	8
S13	139.8	58.3	347.8	203.3	250.5	84.1	347.8	17.6	620.4	476.1	409.7	317	518.6	161.7	14	1.2	1.3	6.8	6	10
S14	127.6	خشک	363.9	خشک	250.5	خشک	363.9	خشک	1241	خشک	444.3	خشک	268.5	خشک	31	خشک	1.4	خشک	10	خشک
S15	115.4	خشک	349.4	خشک	220.4	خشک	349.4	خشک	709.1	خشک	416	خشک	457.6	خشک	21.8	خشک	1.9	خشک	0.2	خشک
S16	151.9	خشک	334.7	خشک	260.5	خشک	334.7	خشک	744.5	خشک	400.1	خشک	427.1	خشک	39.1	خشک	2.4	خشک	5	خشک
Min	18.2	37.6	45.5	114	40	72.1	45.5	15.1	81.5	184.4	117.7	177.8	134.2	85.4	1.1	1.2	0.03	1	-	-
Max	158	401	412.7	3433.2	360.7	871.7	412.7	74.4	1276	8083	557.2	2407	549.2	372.2	40.1	54	3.17	13	-	-
Mean	97.3	111.3	330.3	626	253.6	211.3	330.3	25.8	848.1	1486.4	381.6	534.5	340.1	242.9	17.1	18.3	1.6	8.3	-	-

جدول ۴-۳- غلظت عناصر سمی در نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای و شاخه‌های فرعی (S₂ و S₄) ورودی به آن

پارامتر ایستگاه	As (ppb)		Cd (ppb)		Cr (ppb)		Zn (ppb)		Pb (ppb)		Mn (ppb)	
	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک
S1	28	23	7	38	14	12	25	10	8	40	286	21
S2	5	180	7	32	26	48	34	99	6	52	518	44
S3	160	17	8	16	9	13	31	51	7	30	394	59
S4	50	14	3	4	7	11	10	88	5	13	212	130
S5	70	100	10	6	21	6	41	22	5	15	421	87
S6	60	95	8	7	20	6	27	27	5	16	349	24
S7	140	28	6	4	6	3	0.5	42	5	5	12	3
S8	53	20	10	5	6.4	21	37	35	6	11	485	50
S9	50	17	7	5	133	83	67	33	8	14	618	122
S10	28	34	7	6	75	10	111	25.8	4	16	433	157
S11	60	38	8	6	8	19	0.5	47	5	14	16	164
S12	28	44	12	4	110	5	63	3	5	5	605	4
S13	40	48	8	7	130	358	33	558	5	20	445	138
S14	50	خشک	10	خشک	114	خشک	29	خشک	5	خشک	428	خشک
S15	52	خشک	9	خشک	35	خشک	18	خشک	5	خشک	358	خشک
S16	200	خشک	8	خشک	12	خشک	0.5	خشک	5	خشک	71	خشک
Min	5	14	3	4	6	3	0.5	3	4	5	12	3
Max	200	180	12	38	133	358	111	558	8	52	618	164
Mean	67.1	50.6	8	10.7	45.4	45.7	32.9	80	5.5	19.3	353.1	77.1

جدول ۴-۳- ادامه

پارامتر ایستگاه	Cu (ppb)		Ba (ppb)		Ni (ppb)		Co (ppb)		Mo (ppb)		Fe (ppb)		Al (ppb)	
	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک
S1	29	26	185	158	32	5	34	127	10	51	1210	350	3710	163
S2	37	90	224	269	45	136	31	98	10	62	3850	1450	6150	4958
S3	19	42	31	102	14	5	31	29	10	10	850	480	1360	478
S4	9	200	27	95	5	5	6	9	10	10	308	980	204	1158
S5	32	60	182	71	37	5	29	11	10	10	4150	520	6580	370
S6	27	175	150	69	47	5	22	17	10	10	5210	220	6230	113
S7	3	178	110	111	5	5	13	8	10	10	48	175	69	93
S8	35	210	205	85	41	5	30	11	10	10	1930	242	7180	112
S9	54	215	253	122	84	5	23	10	10	10	6180	490	9210	307
S10	45	320	218	78	58	5	18	13	10	10	6290	700	5910	778
S11	6	165	80	118	5	5	14	12	10	10	450	350	644	173
S12	43	66	206	52	71	5	36	7	10	10	6770	21	7420	15
S13	24	680	141	217	51	28	18	19	10	10	5710	1210	6210	2661
S14	20	خشک	161	خشک	41	خشک	23	خشک	10	خشک	5230	خشک	4560	خشک
S15	16	خشک	84	خشک	27	خشک	19	خشک	10	خشک	1420	خشک	3190	خشک
S16	5	خشک	111	خشک	11	خشک	13	خشک	32	خشک	99	خشک	515	خشک
Min	3	26	27	52	5	5	6	7	10	10	48	21	69	15
Max	54	680	253	269	84	136	36	127	32	62	6770	1450	9210	4958
Mean	25.2	186.6	148	119	35.8	16.8	22.5	28.5	11.3	17.1	3106.6	552.9	4321.3	875.3

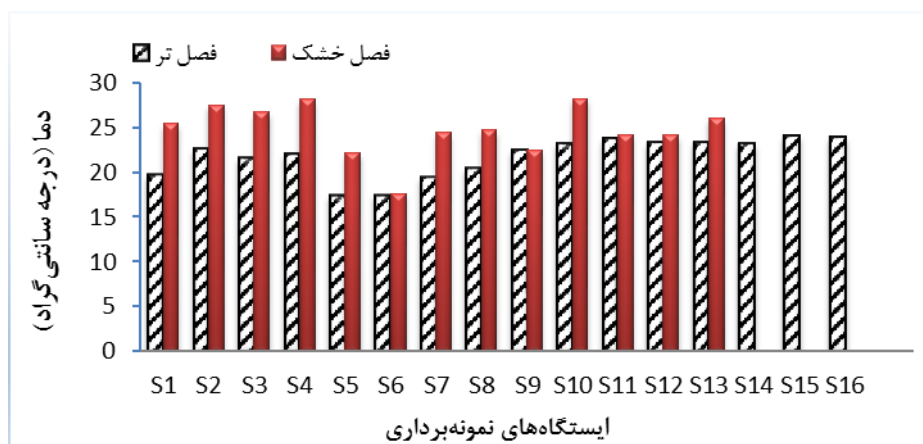
جدول ۴-۴- اکسیژن محلول، مواد آلی و پارامترهای بیولوژیکی در نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای و شاخه‌های فرعی (S₂ و S₄) ورودی به آن

پارامتر ایستگاه	DO (mg/l)		TOC (mg/l)		BOD (mg/l)		COD (mg/l)		Total Coliform (MPN)		Fecal Coliform (MPN)	
	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک
S1	7.5	4.4	0.4	2.7	100	0	2779	1440	300 >	300 >	0	0
S2	7.7	4.7	0.3	2.1	10	0	304	630	300 >	300 >	0	0
S3	4.8	0.52	0.7	27.6	100	80	3084	540	300 >	110000 <	0	110000 <
S4	2.1	0.33	0.8	13	5	65	190	110	300 >	110000 <	0	110000 <
S5	3.1	0.52	0.5	2.7	4	8	76	120	300 >	110000 <	0	110000 <
S6	4.6	0.38	5.5	3.8	10	13	380	135	300 >	110000 <	0	110000 <
S7	0.5	0.48	1.2	2.4	25	30	1650	355	300 >	110000 <	0	110000 <
S8	4.4	0.31	1	10.5	40	40	380	375	110000 <	110000 <	110000 <	110000 <
S9	0.15	0.37	2.7	14.5	60	40	647	35	110000 <	110000 <	110000 <	110000 <
S10	0.8	0.42	2.1	5.8	38	34	68.54	200	110000 <	110000 <	110000 <	110000 <
S11	3.3	0.31	1.1	4.9	32	36	38	80	110000 <	110000 <	110000 <	110000 <
S12	-	2.3	1.1	3.9	1	10	15.2	160	300 >	300 >	0	0
S13	5.4	2.7	1	7.2	20	11	457	125	300 >	300 >	0	0
S14	5.5	خشک	0.9	خشک	-	خشک	-	خشک	110000 <	خشک	110000 <	خشک
S15	3.9	خشک	1.3	خشک	20	خشک	760	خشک	300 >	خشک	0	خشک
S16	1.3	خشک	1.3	خشک	40	خشک	533	خشک	110000 <	خشک	300 >	خشک
Min	0.15	0.31	0.3	2.1	1	0	15.2	0	-	-	-	-
Max	7.7	4.7	5.5	27.6	100	80	3084	1440	-	-	-	-
Mean	3.4	1.3	1.3	7.8	31.5	28.2	710.1	286.5	-	-	-	-

۴-۲-۱- تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در رودخانه آجی چای

الف) دما

در شرایط عادی در طول ماه‌های مختلف سال، دمای هوا و در نتیجه دمای آب تغییر می‌کند. همچنین با توجه به ماه‌های خشک و تر سال، بعضی از پارامترهای کیفی آب تغییر خواهد کرد (دستورالعمل پایش آبهای سطحی، ۱۳۸۸). عوامل انسانی نیز می‌تواند بر دمای آب‌ها اثر بگذارد. در شرایط طبیعی درجه حرارت آب بین ۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. در آب در حال جریان، درجه حرارت به طور معمول به تدریج از سرچشمه تا محل تخلیه افزایش می‌یابد (Chapman, 1996). دمای آب رودخانه آجی چای در حد طبیعی بوده و از ۱۷/۳ تا ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد در فصل تر و ۱۷/۶ تا ۲۸/۲ درجه سانتی‌گراد در فصل خشک متغیر می‌باشد (شکل ۴-۱). دمای آب در ایستگاه‌های ابتدایی و شاخه‌های فرعی به‌ویژه در فصل خشک بالاتر از سایر نقاط نمونه‌برداری است. دما در محل ایستگاه‌های ۵ و ۶ به طور شاخص کاهش یافته و پس از آن به سمت انتهای رودخانه روند افزایشی نشان می‌دهد. کاهش دمای آب در ایستگاه ۵ و ۶ احتمالاً به دلیل تأثیر فاضلاب شهرک صنعتی شهید بهشتی بر آب رودخانه آجی چای بوده است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۱- تغییرات دما در طول مسیر رودخانه آجی چای

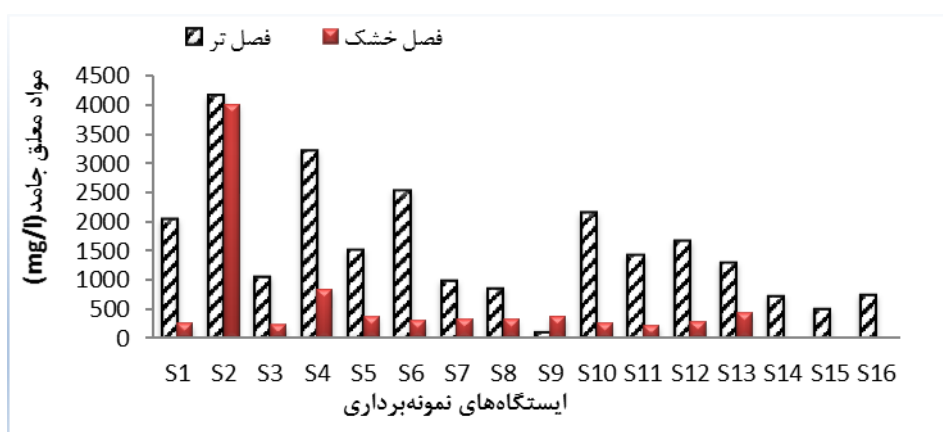


شکل ۴-۲ - نمایی از تخلیه فاضلاب صنعتی به رودخانه آجی چای قبل از ایستگاه S5

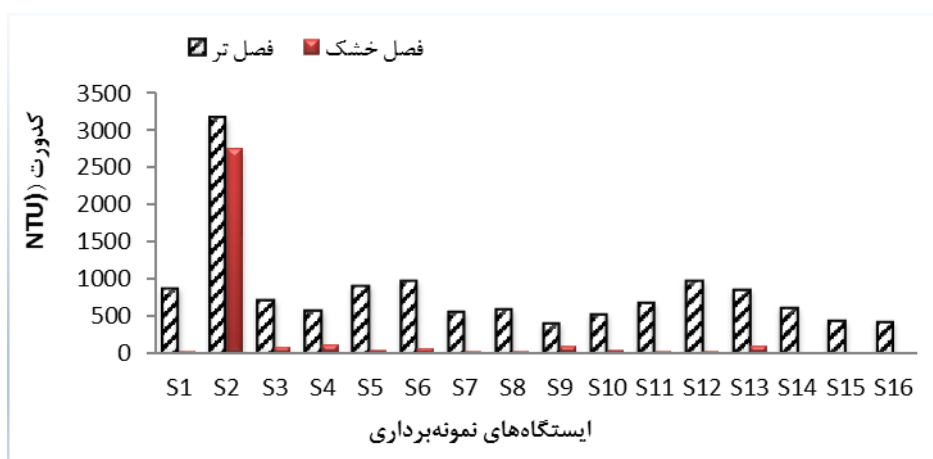
ب) جامدات معلق و کدورت آب

نوع و غلظت مواد معلق کنترل کننده کدورت و شفافیت آب است. مواد معلق شامل گل و لای، خاک رس، ذرات ریز آلی و غیرآلی، پلانکتون و دیگر موجودات میکروسکوپی است (Effendi *et al.*, 2015). شاخه اصلی رودخانه آجی چای و شاخه‌های متصل به آن در طول مسیر خود عمدتاً از سازند قرمز بالایی عبور می‌کنند، در نتیجه در دبی‌های زیاد دارای مواد معلق دانه‌ریز فراوان و در دبی‌های کم دارای شوری بالا هستند (Moghaddam & Najib, 2006). مقدار مجاز کدورت طبق استاندارد آب شرب ایران ۵ NTU بوده که مقادیر اندازه‌گیری شده در همه نمونه‌های برداشته شده از رودخانه آجی چای بالاتر از این حد می‌باشد. تغییرات مکانی مقدار مواد معلق و کدورت رودخانه آجی چای به ترتیب در شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴ نشان داده شده است. به صورت واضح در فصل تر با توجه به دبی بیشتر رودخانه مواد معلق و کدورت آب، زیادتر از فصل خشک می‌باشد. بیشترین مقدار کدورت و جامدات معلق در هر دو فصل مربوط به ایستگاه ۲ (شاخه فرعی گمناب چای) بوده که یکی از دلایل احتمالی آن را می‌توان به وجود ماسه‌شویی در قسمت‌های بالادست گمناب چای یعنی تقریباً ۳ کیلومتری

شاخه اصلی مربوط دانست که کیفیت رود اصلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۴-۵). به طور کلی میزان مواد معلق به سمت انتهایی مسیر جریان کاهش یافته که این موضوع احتمالاً ناشی از رسوب آنها از آب رودخانه به سمت پایین دست جریان در اثر کاهش سرعت آب است. کاهش بیشتر مواد معلق در ایستگاه‌های S_7 تا S_9 دیده می‌شود که می‌تواند به دلیل ورود پساب تصفیه‌خانه تبریز باشد. بررسی تغییرات کدورت در مسیر جریان هماهنگی نسبتاً خوبی با مواد معلق نشان می‌دهد. تغییرات کدورت در امتداد مسیر جریان طی فصول تر و خشک در شکل ۴-۶ نشان داده شده که افزایش شاخص در ایستگاه‌های ابتدایی طی فصل تر نسبت به فصل خشک را نشان می‌دهد.



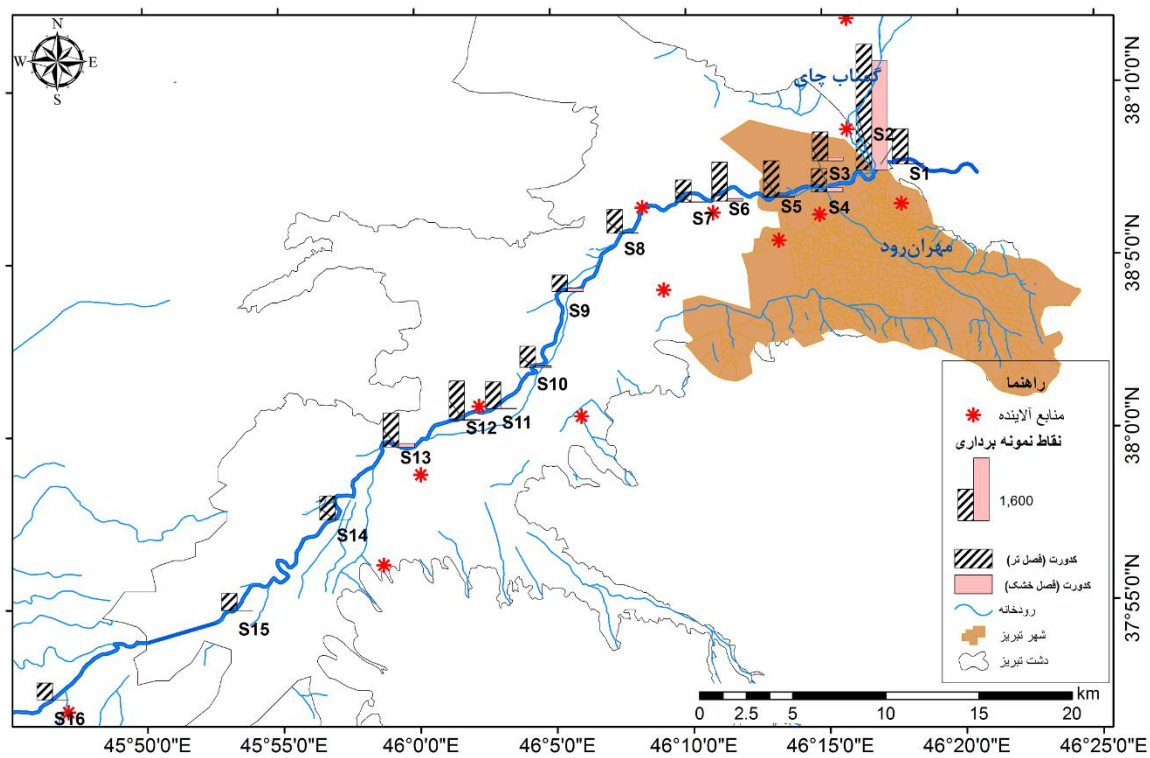
شکل ۴-۳- تغییر مقادیر جامدات معلق در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



شکل ۴-۴- تغییر میزان کدورت در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



شکل ۴-۵ - نمایی از شاخه فرعی گمنابچای ورودی به رودخانه آجیچای

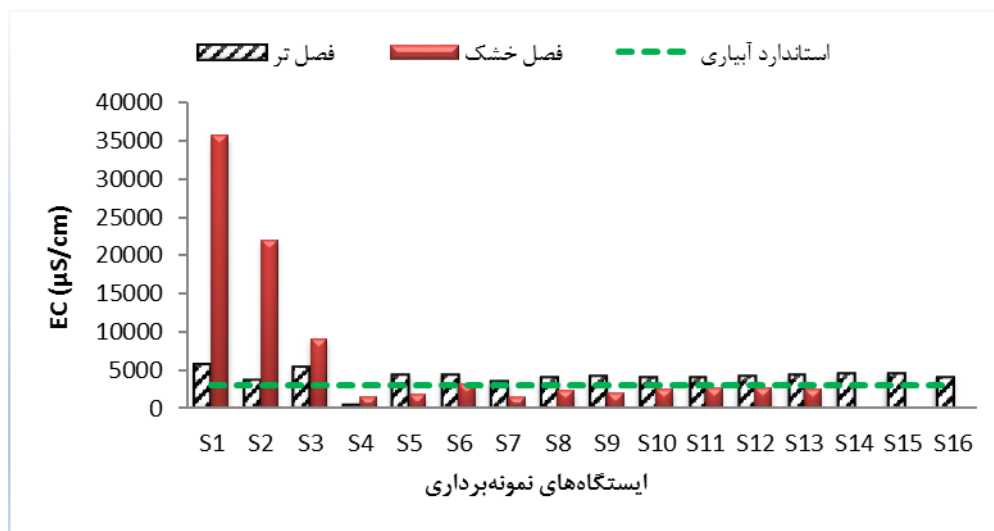


شکل ۴-۶ - تغییرات مکانی گدورت (بر حسب NTU) طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجیچای

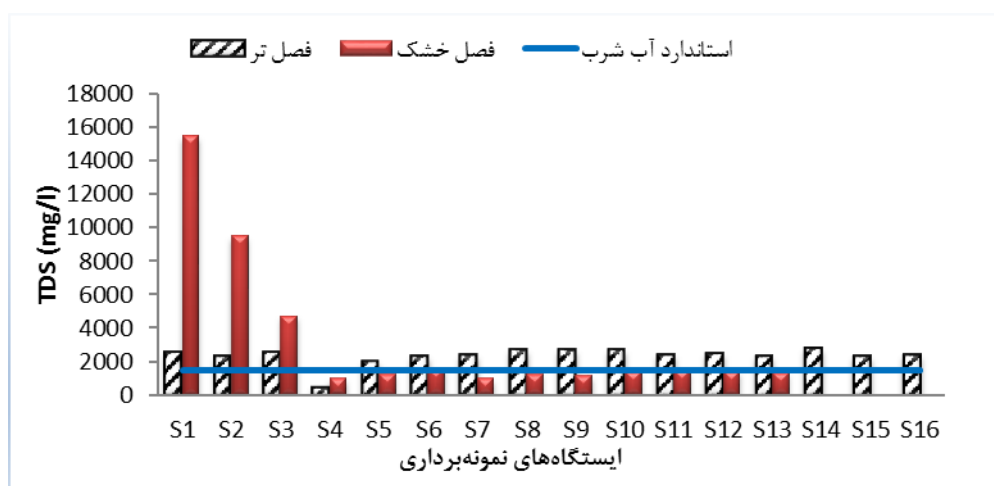
ج) تغییرات هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS)

میزان تغییرات EC رودخانه آجی‌چای از ۳۶۳۰ تا ۵۷۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در فصل تر و از ۱۴۳۰ تا ۳۵۷۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در فصل خشک متغیر است. مقادیر EC (شکل ۴-۷) و TDS (شکل ۴-۸) در ایستگاه اول (ورودی دشت) در هر دو فصل بالا می‌باشد. پایین بودن هدایت الکتریکی در شاخه‌های فرعی گمناب‌چای (S_2) و مهران‌رود (S_4) نسبت به ایستگاه‌های قبلی هدایت الکتریکی رودخانه آجی‌چای را در طول مسیر کاهش داده است. افزایش اندک هدایت الکتریکی و TDS به سمت پایین دست جریان دیده می‌شود. میزان EC شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای در ایستگاه‌های S_1 تا S_4 در فصل خشک عمدتاً به دلیل کاهش حجم جریان و متأثر از تبخیر و سازندهای زمین‌شناسی بیشتر از فصل تر است. اما از ایستگاه ۵ به سمت پایین دست جریان، مقادیر EC و TDS در فصل خشک کمتر از فصل تر می‌باشد. این موضوع ناشی از تغییر شرایط رودخانه طی فصول تر و خشک است. به عبارت دیگر در فصل تر به دلیل افزایش رواناب و نقش بیشتر شاخه اصلی و شاخه گمناب‌چای در تأمین دبی رودخانه میزان هدایت الکتریکی افزایش داشته که این موضوع با توجه به قرار داشتن سازند قرمز فوقانی در حوضه آبگیر این شاخه‌ها قابل توجیه است. اگرچه میزان هدایت الکتریکی شاخه اصلی (ایستگاه‌های S_1 و S_3) و گمناب‌چای (ایستگاه S_2) در فصل خشک به دلیل تبخیر و انحلال افزایش می‌یابد، ولی دبی کمتر این شاخه‌ها در مقایسه با دبی شاخه فرعی مهران‌رود (S_4) سبب نقش کمتر آنها در مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه‌های پایین دست می‌گردد. به عبارت دیگر رودخانه آجی‌چای در فصل خشک عمدتاً شرایطی مشابه رودخانه مهران‌رود داشته که به دلیل سهم بیشتر این شاخه فرعی در دبی رودخانه به سمت پایین دست می‌باشد. در فصل تر به دلیل سهم بیشتر شاخه اصلی و گمناب‌چای و با توجه به شوری بیشتر این شاخه‌ها، هدایت الکتریکی رودخانه بعد از ایستگاه S_4 مشابه شاخه اصلی و گمناب‌چای می‌شود. شکل ۴-۹ توزیع مکانی هدایت الکتریکی در رودخانه آجی‌چای در فصول تر و خشک را نشان می‌دهد. تأثیر شاخص ورود شاخه فرعی

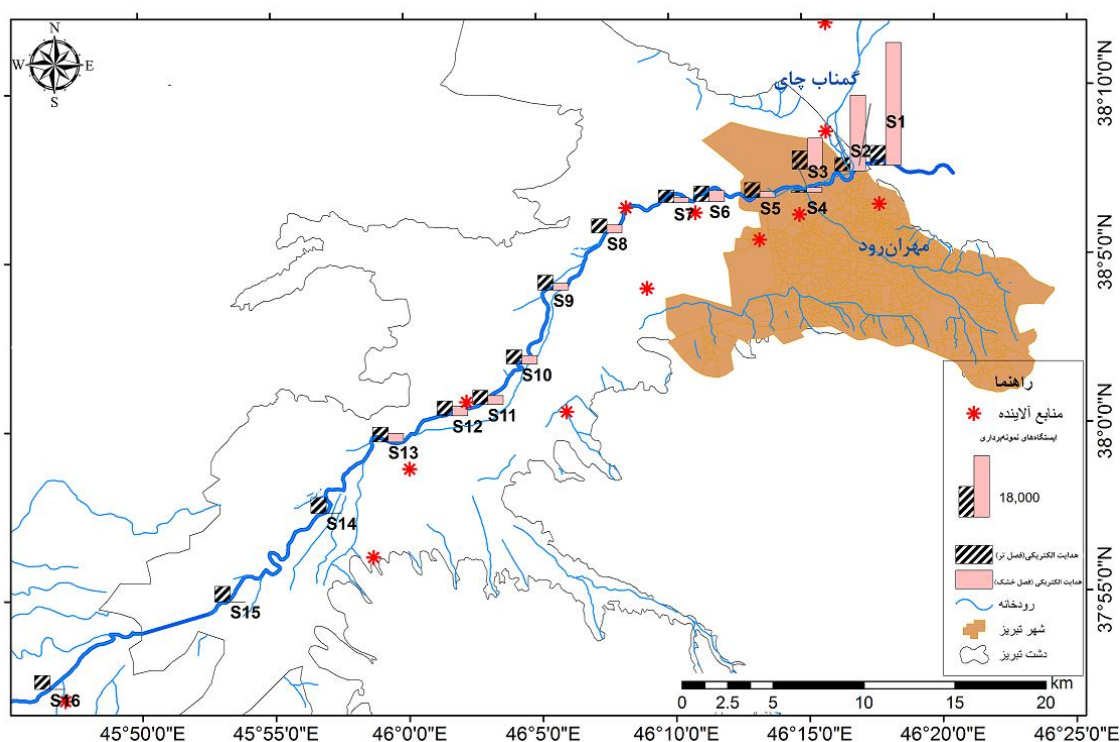
مهرانرود (S_4) بر کیفیت آب رودخانه آجی چای مشهود است.



شکل ۴-۷- تغییرات EC در مسیر رودخانه آجی چای



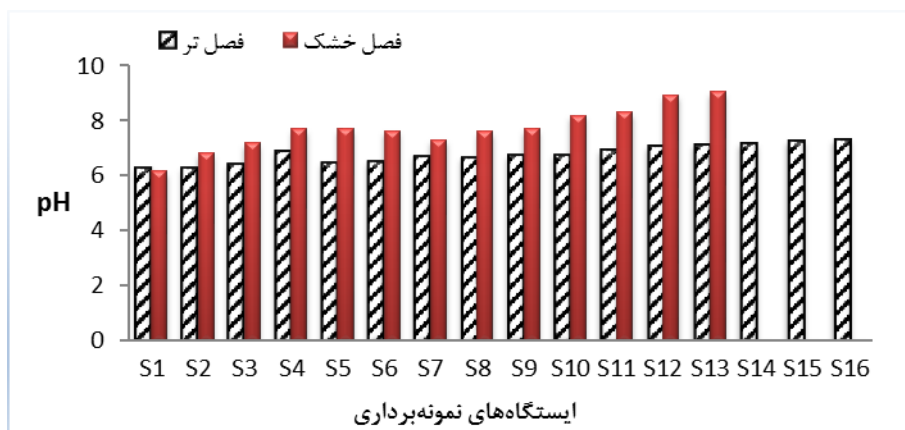
شکل ۴-۸- تغییرات TDS در مسیر رودخانه آجی چای



شکل ۴-۹- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای

د) pH

مقادیر اندازه گیری شده pH در ایستگاه های نمونه برداری تعیین شده در طول مسیر رودخانه آجی چای در محدوده دشت تبریز طی دو فصل تر (اردیبهشت ماه) و خشک (شهریور ماه) در شکل ۴-۱۰ نمایش داده شده است. مقدار pH رودخانه آجی چای از ۶/۳ تا ۷/۳ در فصل تر و ۶/۲ تا ۹ در فصل خشک متغیر می باشد. به طور کلی میزان pH در فصل خشک به دلیل تأثیر بیشتر رودخانه مهران رود در دبی رودخانه افزایش یافته و در هر دو فصل تر و خشک افزایش نسبتاً محسوسی به سمت پایین دست نشان می دهد. کاهش نسبی pH در محدوده ایستگاه ها S_6 تا S_9 مشخص می باشد. pH آب های طبیعی از ۶ تا ۸/۵ متغیر است (Chapman, 1996). افزایش pH رودخانه آجی چای به ویژه در ایستگاه های انتهایی در فصل خشک می تواند ناشی از ورود فاضلاب های شهری و صنعتی به رودخانه باشد.



شکل ۴-۱۰- تغییرات pH در مسیر رودخانه آجی چای

۴-۲-۲- تغییرات زمانی و مکانی اجزاء معدنی در رودخانه آجی چای

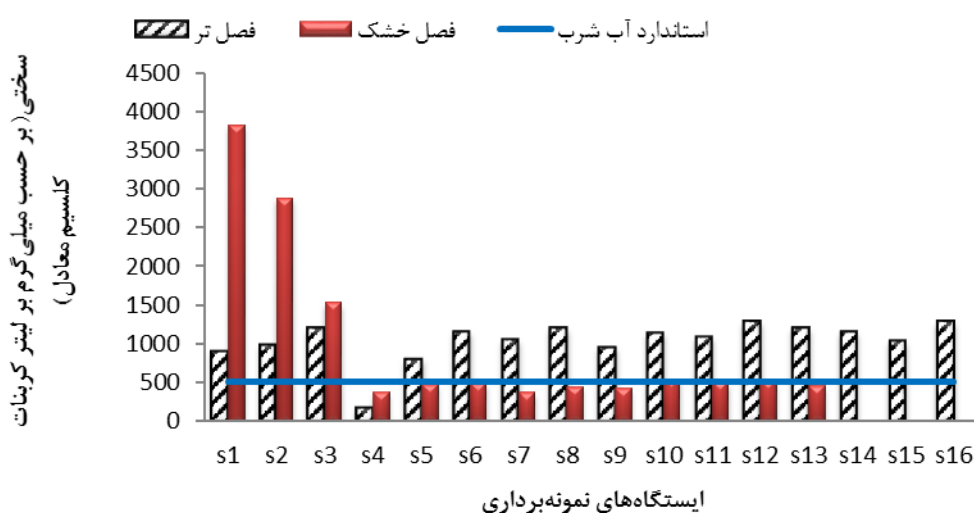
الف) یون‌های اصلی و سختی کل

مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب را سختی می‌نامند که بر حسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم بیان می‌شود. از نظر سختی آب به چهار رده طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۴-۶). مقادیر سختی کل رودخانه آجی چای در فصل تر از ۱۸۵ تا ۱۲۷۶ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم معادل و در فصل خشک از ۳۶۵/۳ تا ۳۸۲۸ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم معادل متغیر است (شکل ۴-۱۱).

جدول ۴-۶- طبقه‌بندی کیفی آب‌ها بر اساس سختی کل (Todd and Mays, 2005)

سختی کل (mg/l as CaCO ₃)	کیفیت آب
کمتر از ۷۵	آب نرم
بین ۷۵ تا ۱۵۰	نسبتاً سخت
بین ۱۵۰ تا ۳۰۰	سخت
بیشتر از ۳۰۰	خیلی سخت

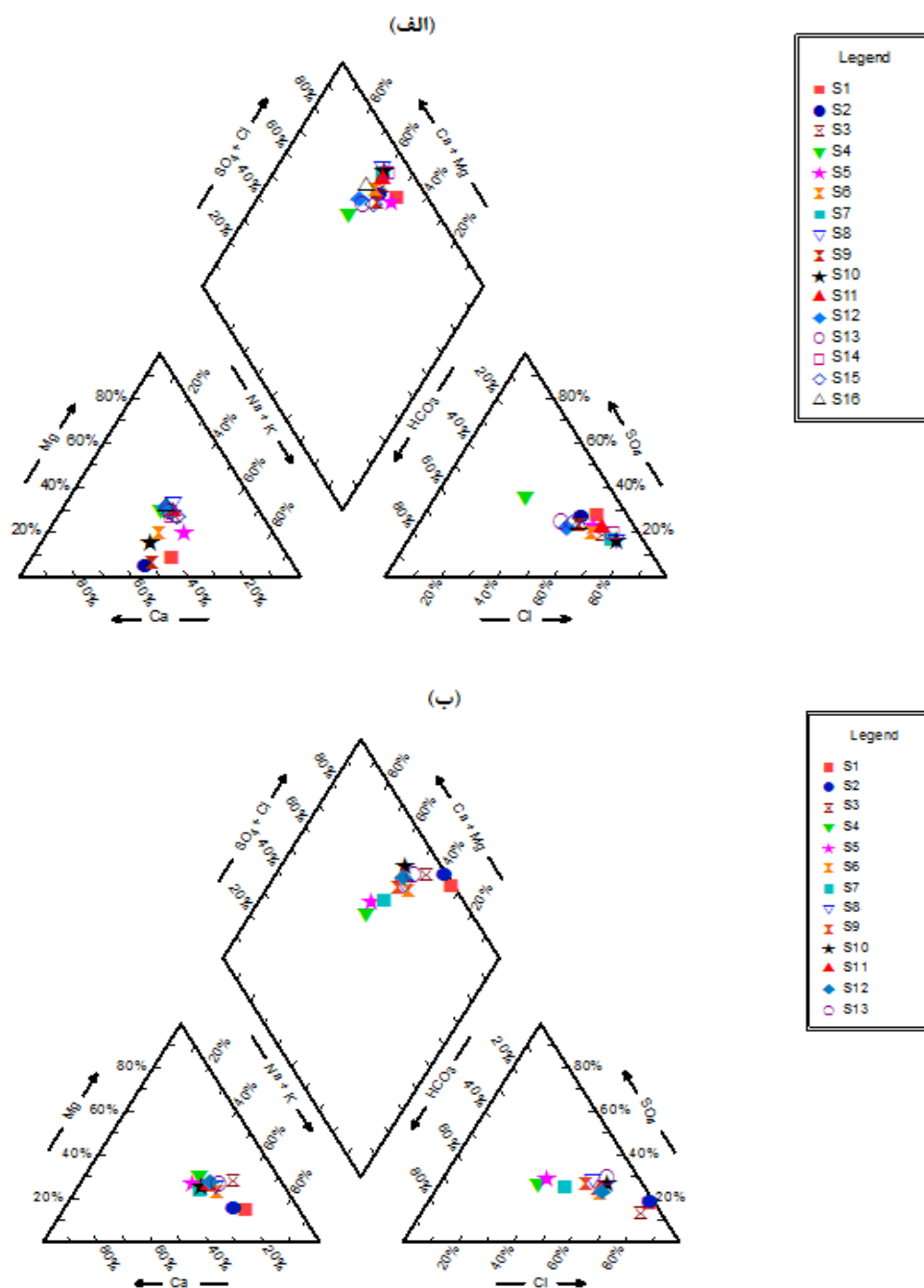
محاسبه سختی کل برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد اغلب نمونه‌های آب برداشت شده از رودخانه در رده خیلی سخت قرار می‌گیرند. میزان سختی کل در نمونه‌های S_5 به سمت پایین دست در فصل تر بیشتر بوده که این موضوع همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، ناشی از تأثیر بیشتر شاخه اصلی (ایستگاه‌های S_1 و S_3) و گمناب‌چای (S_2) در شیمی نقاط پایین دست در فصل تر است. به عبارت دیگر افزایش سختی در فصل تر ناشی از زمین‌شناسی می‌باشد.



شکل ۴-۱۱- تغییرات سختی کل در طول مسیر رودخانه آجی‌چای

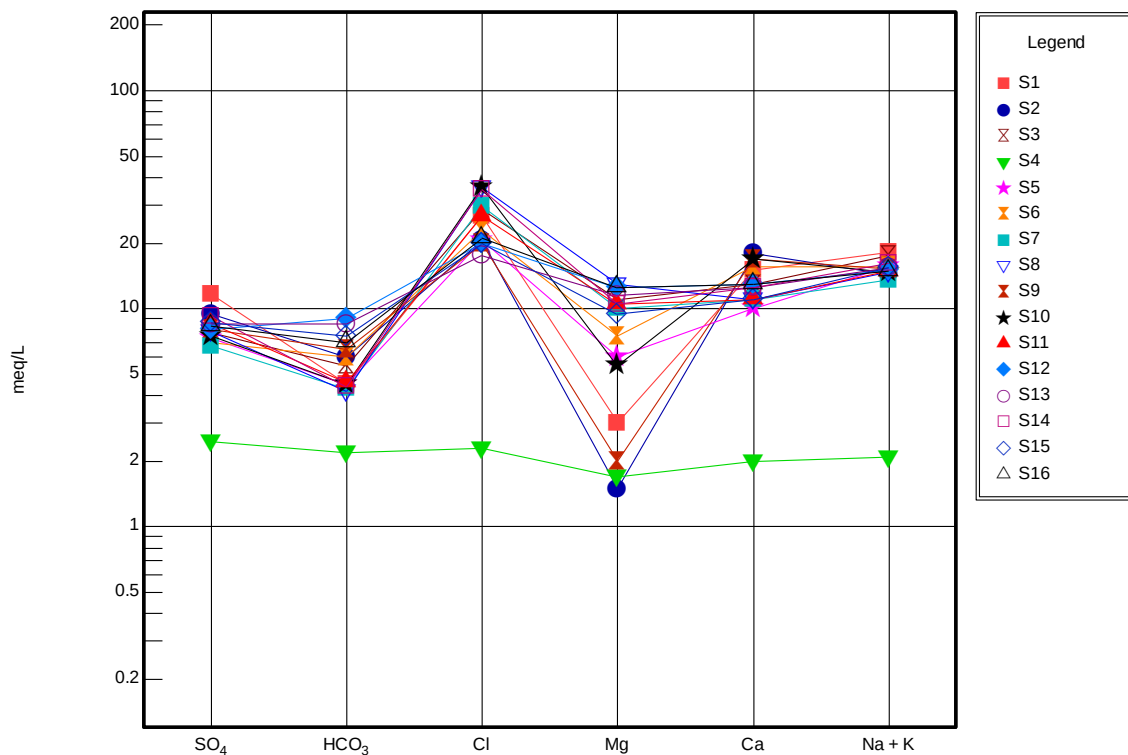
برای نشان دادن رخساره و تیپ شیمیایی نمونه‌های آب و تشخیص فرآیند غالب از نمودار پایپر استفاده شد (شکل ۴-۱۲). به جز نمونه رودخانه مهران‌رود (S_4) تیپ آنیونی تمامی نمونه‌ها در فصل تر کلروره می‌باشد. نمونه S_4 در این فصل در محلی قرار می‌گیرد که هیچ تیپ آنیونی در آن غالب نمی‌باشد. به لحاظ کاتیونی نیز کاتیون‌های سدیم و کلسیم غالب

هستند. نکته قابل توجه در این دیاگرام متمایل شدن تمامی نمونه‌های رودخانه در فصل تر به سمت نمونه‌های S_1 و S_2 به لحاظ آنیون‌ها بوده که این موضوع نشان دهنده نقش آشکار شاخه اصلی (S_1 و S_3) و گمناب‌چای (S_2) در شیمی رودخانه به سمت پایین دست در فصل تر است. در فصل خشک به جز نمونه‌های S_1 ، S_2 و S_3 که به دلیل تبخیر از سایر نمونه‌ها جدا افتاده‌اند، سایر نمونه‌ها به سمت بخش میانی نمودار و موقعیت نمونه S_4 حرکت کرده که این موضوع نیز خود تأثیر شاخه فرعی مهران‌رود در شیمی رودخانه در فصل خشک را مشخص می‌نماید. این موضوع مشابه توضیحات ارائه شده برای هدایت الکتریکی تفاوت در شیمی رودخانه در فصول تر و خشک را مشخص می‌نماید. ترسیم نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها روی دیاگرام شولر (شکل ۴-۱۳) نیز ضمن تأیید صحت آنالیزهای شیمیایی، با توجه به موازی بودن خطوط مربوط به نمونه‌ها (نسبت‌های یونی یکسان)، تغییر در شرایط شیمیایی رودخانه در فصل‌های تر و خشک را نشان می‌دهد. در فصل تر ایستگاه‌ها به صورت مشخص در محلی متفاوت نسبت به شاخه فرعی مهران‌رود (نمونه S_4) قرار گرفته‌اند. این نمونه‌ها ضمن داشتن شوری بالا تأثیر بیشتر شاخه اصلی و گمناب‌چای در شیمی رودخانه در فصل تر را اثبات می‌نماید. افزایش شوری به دلیل عبور این شاخه‌ها از سازند قرمز فوقانی (حاوی مارن قرمز، ژئپس، کنگلومرا، نمک و سنگ آهک مارنی) در بخش‌های زیادی از حوضه آبریز آنها می‌باشد. در فصل خشک به جز نمونه‌های قرار گرفته در بالادست (S_1 ، S_2 و S_3) که به دلیل تبخیر و انحلال در محلی متفاوت قرار گرفته‌اند، سایر نمونه‌ها به ترکیب شاخه فرعی مهران‌رود (S_4) نزدیک شده‌اند که این موضوع سهم اصلی شاخه مهران‌رود در شیمی رودخانه در فصل خشک را اثبات می‌نماید.

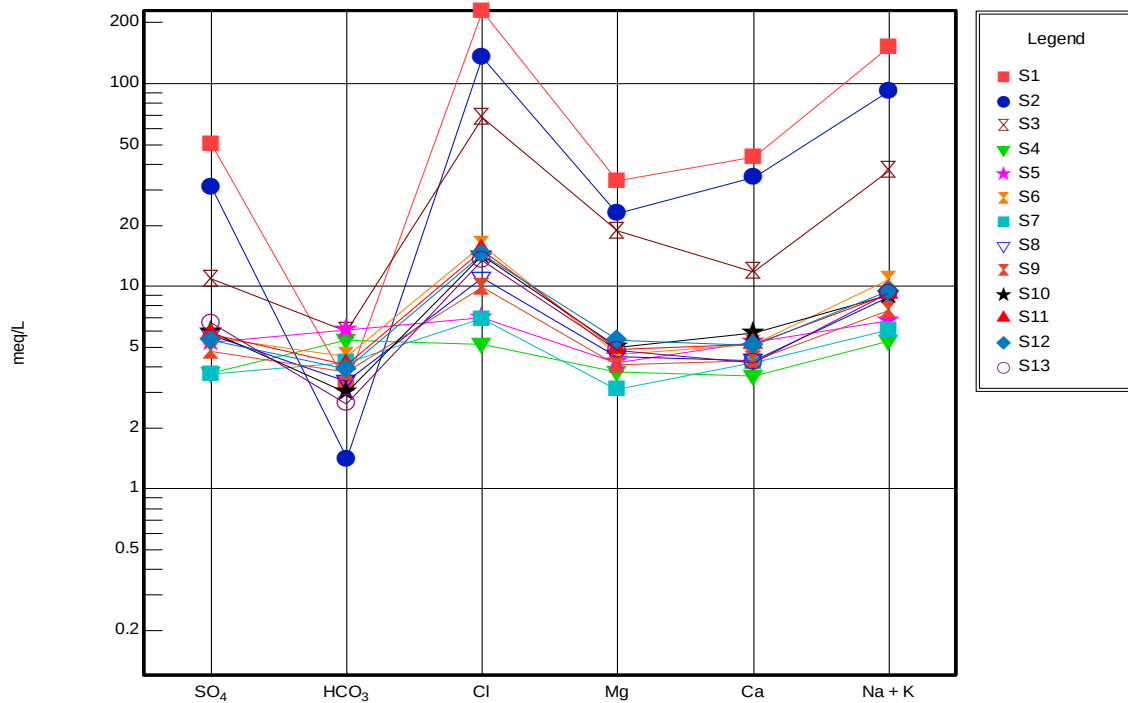


شکل ۴-۱۲- دیاگرام پایپر نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای در هر دو فصل تر (الف) و خشک (ب)

(الف)



(ب)



شکل ۴-۱۳- دیاگرام شولر برای نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای در هر دو فصل تر (الف) و خشک (ب)

با توجه به شکل ۴-۱۳ مشاهده می‌شود غلظت یون‌های کلر، سدیم و کلسیم در فصل تر و غلظت یون‌های کلر، سدیم و سولفات در فصل خشک در مقایسه با سایر یون‌ها بالاتر می‌باشد. غلظت سدیم در آب‌های سطحی متفاوت است که به طور قابل توجهی بسته به شرایط زمین‌شناسی محل، تخلیه فاضلاب و پساب‌های صنعتی و استفاده‌های فصلی از نمک در جاده‌ها است (Chapman, 1996). غلظت سدیم موجود در نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ای از ۴۵/۵ تا ۴۱۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر در فصل تر و ۱۱۴ تا ۳۴۳۳/۲ میلی‌گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند (شکل ۴-۱۴). غلظت سدیم در قسمت‌های بالادست رودخانه (از ورودی دشت تا ایستگاه S_3) مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند فرآیند تبخیر و انحلال سری میوسن (سازند قرمز) باشد که از مارن قرمز با ژئوپس، کنگلومرا، نمک (مثل هالیت، سیلویت، اپسومیت، انیدریت) و سنگ آهک مارنی تشکیل شده است. غلظت پایین سدیم در شاخه فرعی مهران رود (S_4) نسبت به ایستگاه‌های قبلی باعث کاهش غلظت سدیم در ادامه مسیر رودخانه شده است. میزان سدیم در فصل خشک در ایستگاه‌های S_1 تا S_3 به دلیل تبخیر بالاتر از فصل خشک است، لیکن به دلیل تأثیر مشخص شاخه فرعی مهران رود (S_4) در کیفیت رودخانه در فصل تر، غلظت سدیم از ایستگاه S_5 به سمت پایین دست در فصل تر بالاتر از فصل خشک می‌باشد. دلیل این موضوع قبلاً ذکر گردید. غلظت سدیم در طول شاخه اصلی آجی‌چای پس از ورود شاخه فرعی مهران رود در هر دو فصل روند نسبتاً ثابتی نشان می‌دهد.

غلظت پتاسیم در نمونه‌های آب مورد مطالعه در فصل تر از ۴/۷ تا ۱۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل خشک از ۱۵/۱ تا ۷۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. چنانچه در شکل ۴-۱۴ مشاهده می‌شود مقادیر پتاسیم در طول مسیر رودخانه آجی‌چای، در فصل خشک بالاتر از فصل تر است. بالا بودن غلظت پتاسیم در فصل خشک در قسمت‌های پایین دست

رودخانه نسبت به فصل تر با توجه به بالا بودن غلظت پتاسیم در ایستگاه S_4 (شاخه فرعی مهران رود) و تأثیر آن بر شیمی رودخانه در این فصل قابل توجه می باشد.

مقادیر اندازه گیری شده کلسیم در فصل تر در محدوده ای از ۴۰ تا ۳۶۰/۷ میلی گرم بر لیتر و در فصل خشک از ۷۲ تا ۸۷۱/۷ میلی گرم بر لیتر متغیر می باشد (شکل ۴-۱۴). چنانچه اشاره شد به دلیل انحلال واحدهای رسوبی (سازند قرمز) در بالادست رودخانه غلظت کلسیم بالا بوده، لیکن پس از ورود شاخه فرعی مهران رود (S_4) غلظت کاهش پیدا کرده است. افزایش مجدد کلسیم به سمت پایین دست در محدوده ایستگاه های S_6 تا S_{10} دیده می شود که این موضوع احتمالاً مرتبط با تخلیه فاضلابها در طول مسیر رودخانه آجی چای می باشد.

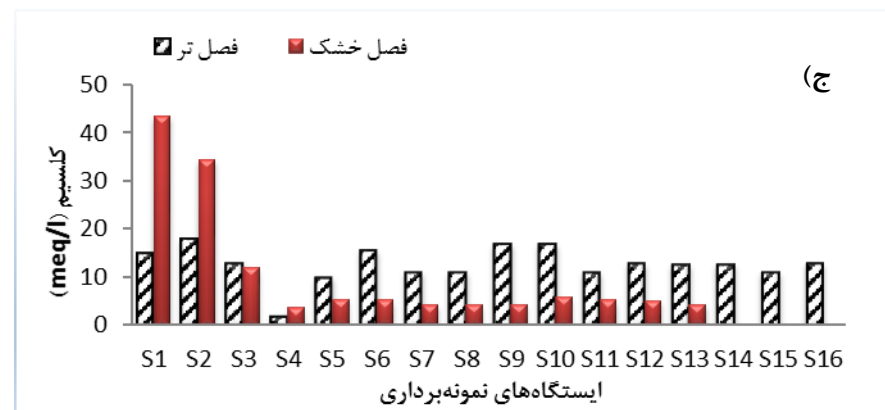
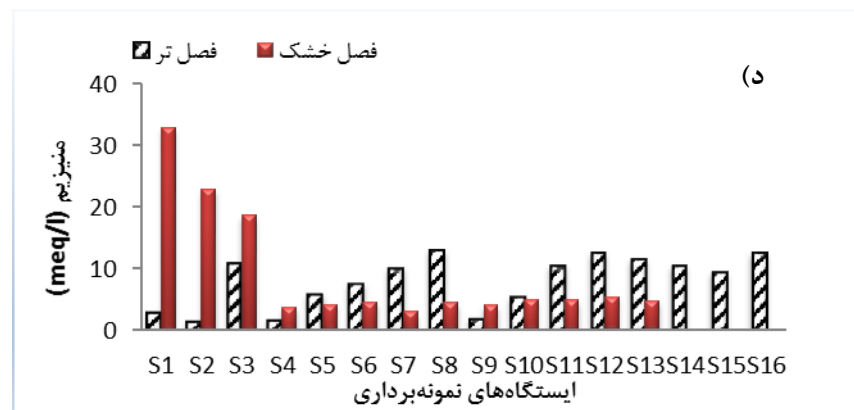
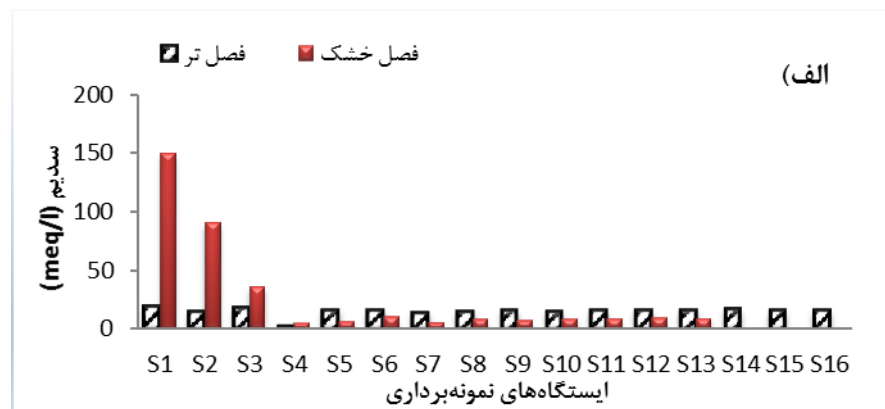
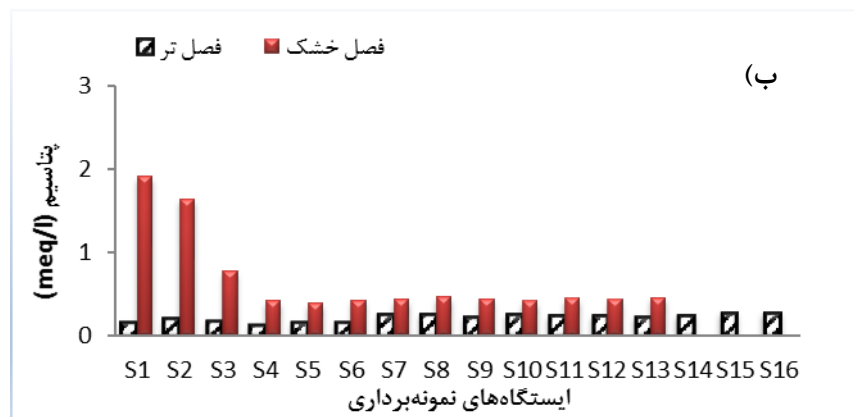
مقادیر اندازه گیری شده منیزیم در فصل تر در محدوده ای از ۱۸/۲۳ تا ۱۵۸ میلی گرم بر لیتر و در فصل خشک از ۳۷/۷ تا ۴۰۱ میلی گرم بر لیتر متغیر می باشد (شکل ۴-۱۴). تغییرات مکانی منیزیم تقریباً مشابه کلسیم بوده و به طور کلی غلظت آن به سمت پایین دست رودخانه افزایش یافته است.

بی کربنات رایج ترین شکل کربن غیر آلی است که در مقادیر pH حدود ۶ تا ۸/۲ موجود است (Chapman, 1996). منبع گونه های کربنات، CO_2 اتمسفری، احیای سولفات، کلسیت، دولومیت و به مقدار خیلی کمتر ناکولیت است (Hounslow, 1995). غلظت بی کربنات در نمونه های آب مورد مطالعه در فصل تر از ۱۳۴/۲ تا ۵۴۹/۲ میلی گرم و در فصل خشک ۸۵/۴ تا ۳۷۲/۲ میلی گرم بر لیتر متغیر می باشد (شکل ۴-۱۵). مقدار بی کربنات در طول مسیر رودخانه در هر دو فصل نوسان زیادی ندارد، هرچند مقدار آن در ایستگاه های پایانی مسیر (S_{12} به بعد) افزایش داشته است.

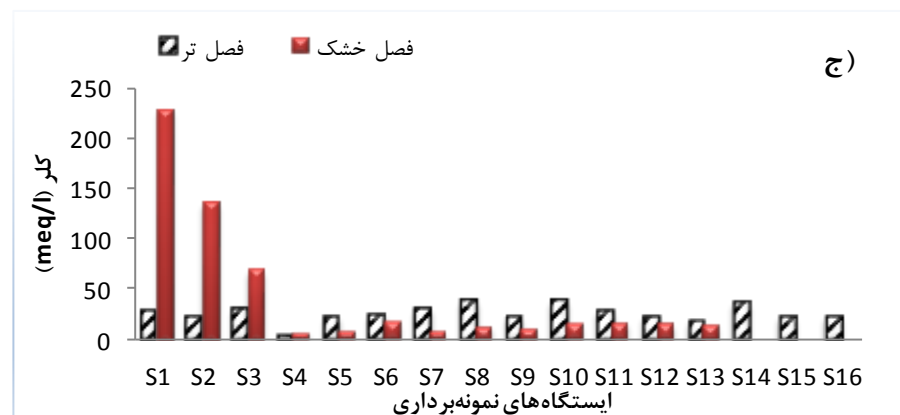
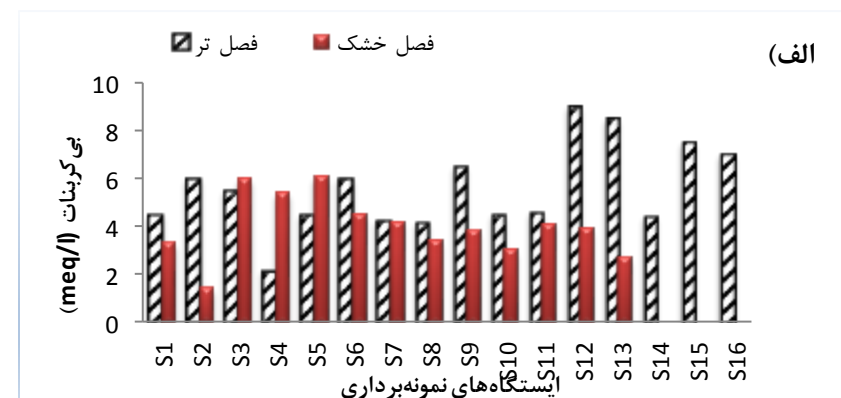
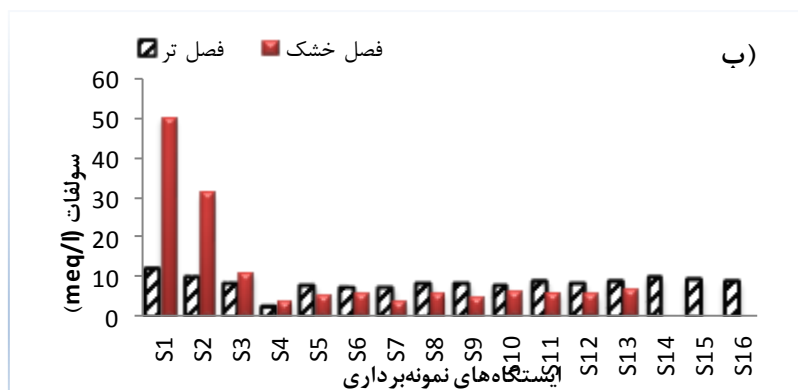
غلظت سولفات در نمونه های آب مورد مطالعه در فصل تر از ۱۱۷/۷ تا ۵۵۷/۲ میلی گرم بر

لیتر و در فصل خشک ۱۷۷/۸ تا ۲۴۰۷ میلی گرم بر لیتر متغیر می باشد (شکل ۴-۱۵). بالا بودن غلظت سولفات در بالادست رودخانه آجی چای در فصل تر احتمالاً به دلیل انحلال ژیپس موجود در سازند قرمز بوده و افزایش آن در فصل خشک نیز به دلیل تبخیر می باشد. غلظت سولفات به سمت پایین دست رودخانه در هر دو فصل افزایش جزئی نشان می دهد.

اغلب کلر موجود در آب به صورت کلرید محلول بوده و از طریق ته نشینی از اتمسفر، انحلال برخی از سنگ های رسوبی (اکثراً از نهشته های سنگ نمک)، فاضلاب ها، پساب های صنعتی، کشاورزی و رواناب های جاده ای وارد آب ها می شود (Chapman, 1996). غلظت کلر در نمونه های آب مورد مطالعه در فصل تر از ۸۱/۵ تا ۱۲۷۶ میلی گرم بر لیتر و در فصل خشک ۱۸۴/۴ تا ۸۰۸۳ میلی گرم بر لیتر متغیر می باشد. چنانچه در شکل ۴-۱۵ مشاهده می شود. غلظت کلر در بالادست رودخانه در هر دو فصل به دلیل منشأ زمین زاد (انحلال سری میوسن) بالا بوده و افزایش بیشتر غلظت آن در فصل خشک همانند غلظت سدیم به دلیل تبخیر می باشد. افزایش کلر در قسمت های میانی رودخانه آجی چای (S_7 تا S_{11}) در فصل تر احتمالاً به دلیل تخلیه فاضلاب های صنعتی می باشد.



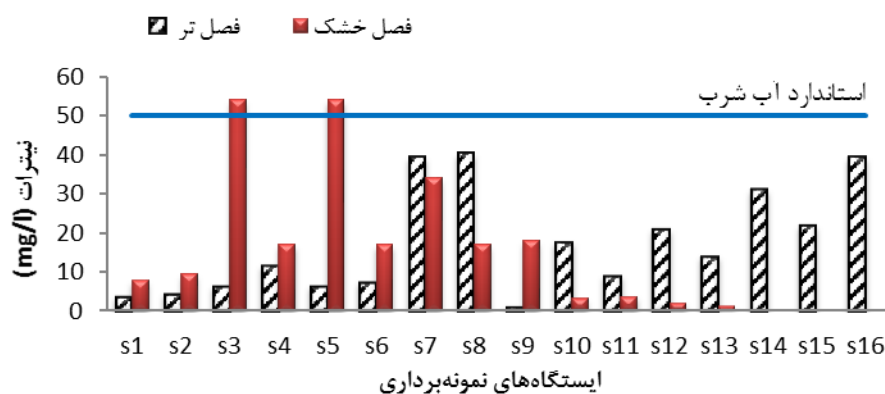
شکل ۴-۱۴- تغییرات غلظت سدیم (الف)، پتاسیم (ب)، کلسیم (ج)، منیزیم (د)، در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



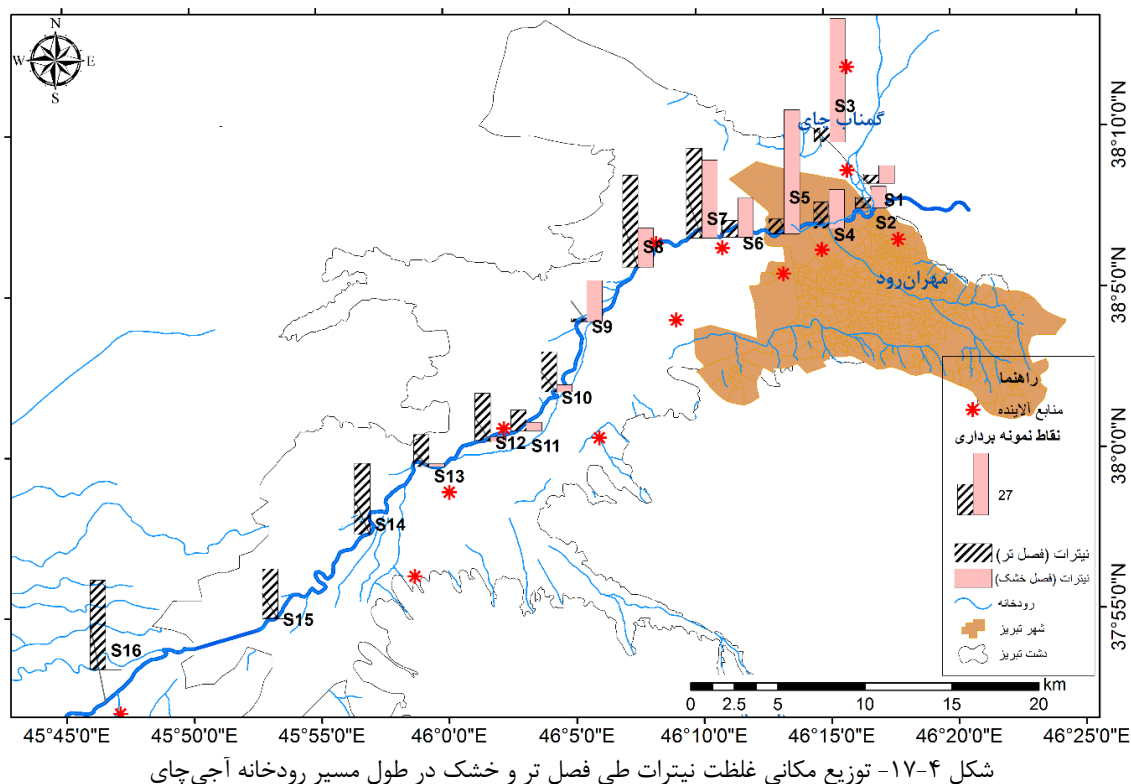
شکل ۴-۱۵- تغییرات غلظت بی کربنات (الف)، سولفات (ب)، کلر (ج)، در طول مسیر رودخانه آجی چای

(ب) یون‌های فرعی

یکی از شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب، میزان نیتрат موجود در آن است. غلظت نیترات موجود در آب رودخانه آجی‌چای در فصل تر از $1/1$ میلی‌گرم بر لیتر تا $40/1$ میلی‌گرم و در فصل خشک از $1/2$ میلی‌گرم بر لیتر تا 54 میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد. حد مجاز نیترات طبق نظر مؤسسه استاندارد آب شرب ایران 50 mg/l پیشنهاد شده است (استاندارد ۱۰۵۳). با توجه به شکل ۴ - ۱۶ مشاهده می‌شود غلظت نیترات در فصل تر به‌خصوص در ایستگاه ۷ و ۸ احتمالاً به دلیل تخلیه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز (با توجه به اینکه میزان نیترات در پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها زیاد است) افزایش یافته است. در ایستگاه‌های پایین دست (S_{10} تا S_{13}) در هر دو فصل نمونه‌برداری مقادیر نیترات کاهش قابل توجهی نشان می‌دهد که این موضوع ممکن است به دلیل فرآیند دنیتریفیکاسیون بر اثر کاهش اکسیژن محلول با توجه به جریان کمتر آب رخ داده باشد. غلظت نیترات در ایستگاه‌های پایانی مسیر مجدداً روند افزایشی نشان می‌دهد. افزایش غلظت نیترات در ایستگاه S_3 و S_5 در فصل خشک احتمالاً می‌تواند ناشی از فاضلاب خام شهری (رضوانشهر) و فاضلاب صنعتی (شهرک صنعتی شهید بهشتی) باشد. در مجموع بررسی تغییرات مکانی نیترات (شکل ۴-۱۷) نشان‌دهنده افزایش مقادیر آن در ایستگاه‌های میانی (S_6 تا S_9) است که این موضوع تأثیر بیشتر فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه در این محدوده را نشان می‌دهد. بالا بودن نیترات در شاخه فرعی مهران‌رود (S_4) یکی از دلایل افزایش نیترات در آجی‌چای به‌ویژه در فصل خشک است.



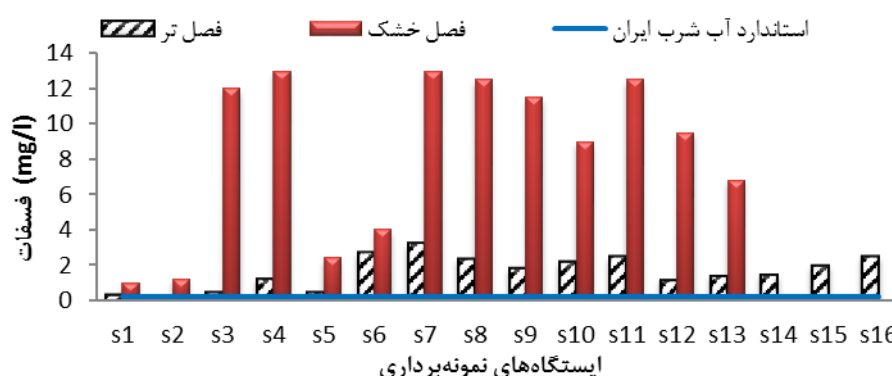
شکل ۴-۱۶- تغییرات غلظت نیترات در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



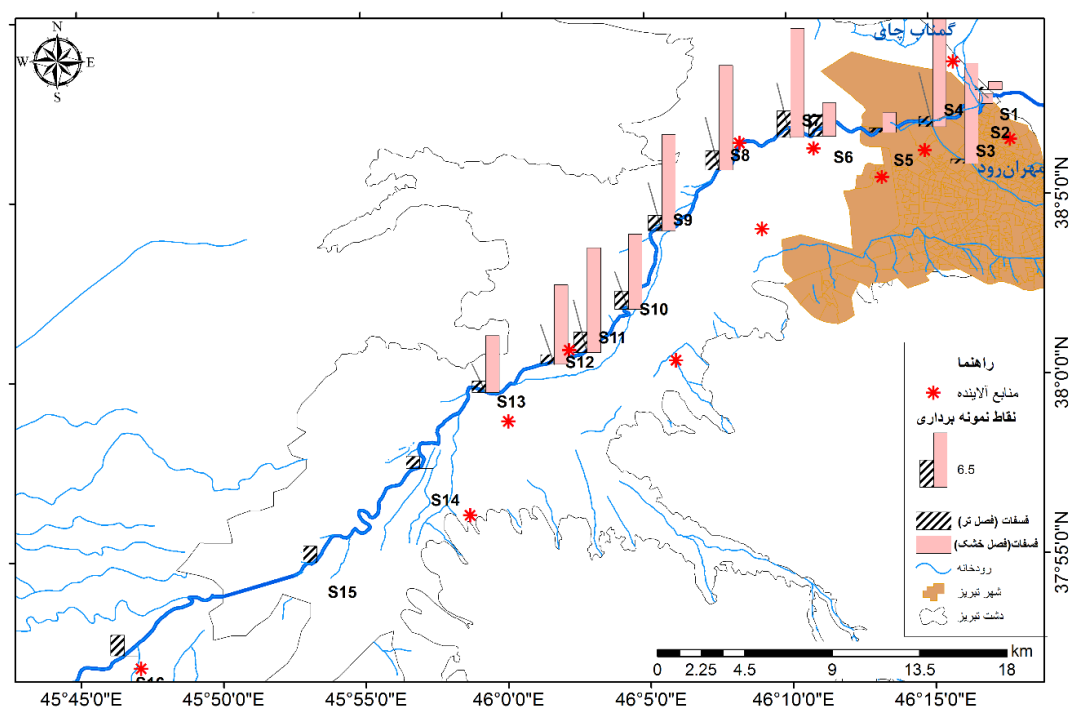
شکل ۴-۱۷- توزیع مکانی غلظت نیترات طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی‌چای

منابع فسفر به طور عمده هوازگی سنگهای فسفاته و تجزیه مواد آلی و فاضلاب‌های خانگی حاوی مواد شوینده است (Chapman, 1996). پساب‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی به ایجاد غلظت‌های بالای فسفر در آب‌های سطحی کمک می‌کنند. فسفر موجود در ترکیبات آلی و غیر آلی رسوبات همچنین می‌تواند توسط باکتری‌ها وارد ستون آب شود. در نتیجه نوسانات فصلی قابل توجهی در

غلظت فسفر در آب‌های سطحی وجود دارد (Chapman, 1996). غلظت فسفات از ۰/۰۳ تا ۳/۲ میلی‌گرم بر لیتر در فصل تر و از ۱ میلی‌گرم تا ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در فصل خشک متغیر است (شکل ۴-۱۸). غلظت فسفات در طول مسیر رودخانه آجی‌چای به سمت پایین دست افزایش نشان می‌دهد که نشان‌دهنده انسان‌زاد بودن منبع آن است. حداکثر غلظت مجاز فسفات براساس استاندارد آب شرب ایران برابر ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر عنوان شده است که در همه ایستگاه‌ها مقادیر فسفات بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. غلظت فسفات در فصل خشک بالاتر از فصل تر بوده که این موضوع با توجه به افزایش غلظت فسفات در مهران‌رود (S_4) به عنوان عامل موثر در کیفیت آب رودخانه در فصل خشک و همچنین وجود مواد آلی زیاد با توجه به بالا بودن میزان TOC در ایستگاه‌های مشابه آن و در نتیجه تجزیه مواد آلی، قابل توجیه است. مشابه نیترات مقادیر فسفات در هر دو فصل در قسمت‌های میانی رودخانه (S_7 تا S_{11}) به دلیل تمرکز منابع آلاینده و تخلیه فاضلاب ناشی از آنها افزایش نشان می‌دهد. شکل ۴-۱۹ نشان‌دهنده توزیع مکانی فسفات در طول مسیر رودخانه آجی‌چای می‌باشد که تأثیر منابع آلاینده در بخش‌های ابتدایی و میانی رودخانه بر افزایش فسفات را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۸ - تغییرات فسفات در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



شکل ۴-۱۹- توزیع مکانی فسفات طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای

ج) عناصر بالقوه سمی

عناصر سمی در محیط زیست منابع مختلفی دارد. فلزات سنگین می‌تواند منبع طبیعی یا غیرطبیعی (انسانزاد) داشته باشد. حلالیت و تحرک‌پذیری فلزات سنگین به pH آب وابستگی شدیدی داشته و با کاهش آن حلالیت و تحرک‌پذیری فلزات در آب افزایش می‌یابد (Bradl, 2005). تغییرات غلظت عناصر سمی طی دو فصل تر و خشک در شکل‌های ۴-۲۰ تا ۴-۲۳ آورده شده است.

غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب رودخانه آجی چای از ۰/۰۰۵ تا ۰/۲ میلی گرم بر لیتر در فصل تر و از ۰/۰۱ تا ۰/۱۸ میلی گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۰). مقادیر بالای آرسنیک در فصل تر در ایستگاه اول (شاخه اصلی رودخانه آجی چای و ورودی به دشت) احتمالاً منشأ زمین‌زاد دارد. مقادیر آرسنیک در فصل تر از ایستگاه S_3 تا S_7 افزایش نشان می‌دهد که این افزایش ممکن است به دلیل تخلیه فاضلاب خام شهری و فاضلاب صنعتی در این نواحی باشد. غلظت آرسنیک در فصل خشک در شاخه فرعی گمناب چای نیز به دلیل دبی خیلی کم متأثر از تبخیر افزایش یافته است.

مقادیر آرسنیک در فصل تر بالاتر از مقادیر آن در فصل خشک بوده و در تمام طول رودخانه بالاتر از استاندارد آب شرب ایران می‌باشد که در اثر تخلیه فاضلاب و پساب‌های خانگی، صنعتی و رواناب کشاورزی در طول مسیر خود افزایش یافته است. بالا بودن غلظت آرسنیک از لحاظ زمین‌شناسی در حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای با کانی‌سازی در داخل ماسه سنگها و کنگلومرای‌های قرمز میوسن که جوانترین پدیده ولکانیکی به صورت گنبدهای ساب ولکانیک به سن میو-پلیوسن می‌باشد اثبات شده است (مصحفی، ۱۳۸۰)

غلظت کادمیوم در همه ایستگاه‌ها بالاتر از حد استاندارد آب شرب ایران اندازه‌گیری گردید. غلظت کادمیوم در فصل تر از ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱ میلی گرم و در فصل خشک از ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۴ میلی گرم بر لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۰). در فصل تر مقادیر کادمیوم با توجه به نقش بیشتر شاخه اصلی و گمناب‌چای در شیمی قسمت‌های پایین دست تغییر زیادی نداشته است. غلظت بالای کادمیوم در فصل خشک در ایستگاه‌های S_1 ، S_2 و S_3 با توجه به دبی کم شاخه اصلی و گمناب‌چای متأثر از تبخیر بوده است. به دلیل نقش کمتر این شاخه‌ها در تأمین دبی رودخانه آجی‌چای در فصل خشک و نیز نقش بیشتر شاخه فرعی مهران‌رود در آبدهی رودخانه با توجه به مقادیر کمتر کادمیوم در این شاخه کاهش مقادیر کادمیوم در قسمت‌های پایین دست رودخانه در فصل خشک قابل توجیه می‌باشد. به طور کلی غلظت کادمیوم احتمالاً تحت تأثیر زمین‌شناسی محل قرار داشته و در هر دو فصل تر و خشک به سمت پایین دست جریان به دلیل تخلیه فاضلاب‌ها و رواناب کشاورزی افزایش جزئی نشان می‌دهد، که این افزایش با توجه به محل تخلیه فاضلاب‌ها و وجود رواناب‌ها در برخی نواحی مشهودتر می‌باشد. با توجه به تغییرات جزئی در غلظت کادمیوم به سمت پایین دست جریان، منشأ زمین‌زاد این فلز در رودخانه آجی‌چای متحمل‌تر می‌باشد.

با توجه به شکل ۴-۲۱ غلظت کروم در نمونه‌های واقع در بالادست در هر دو فصل تر و خشک پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آب شرب ایران (۰/۰۵ mg/l) بوده و در قسمت‌های پایین دست

رودخانه آجی‌چای، به دلیل تخلیه فاضلاب و پساب‌های صنعتی و کشاورزی افزایش یافته است. غلظت کروم در نمونه آب رودخانه در هر دو فصل از ایستگاه ۸ (چرمشهر) به بعد دارای روند افزایشی می‌باشد. این افزایش با توجه به استفاده مواد معدنی از جمله املاح کروم سه ظرفیتی (بی‌کربنات‌های قلیایی مثل سدیم یا پتاسیم) یا زاج سفید و مواد خنثی مثل سولفات سدیم و یا نفت به همراه اسید سولفوریک یا اسید کلریدریک به صورت اکسید کروم در PH‌های اسیدی در دباغی چرم (گل محمدزاده، ۱۳۹۱) قابل توجیه است. با توجه به این موضوع این عنصر، آلاینده اصلی پساب این منطقه صنعتی می‌باشد.

غلظت سرب کمتر از ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۸ میلی‌گرم بر لیتر در فصل تر و کمتر از ۰/۰۱ تا ۰/۰۵۲ میلی‌گرم بر لیتر در فصل خشک متغیر می‌باشد (شکل ۴-۲۱). به جز ایستگاه‌های اولیه که مقادیر عناصر در آنها به دلیل تبخیر افزایش یافته است، غلظت سرب در هر دو فصل در طول مسیر جریان تغییرات اندکی نشان می‌دهد که این موضوع عدم تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد در غلظت آن را نشان می‌دهد. مقادیر غلظت سرب در فصل خشک بالاتر از فصل تر بوده که این موضوع با توجه به نقش شاخه فرعی مهران‌رود و با توجه به غلظت بالای سرب در آن توجیه می‌گردد.

شکل ۴ - ۲۱ تغییرات منگنز را در طول مسیر رودخانه آجی‌چای نشان می‌دهد. حد مجاز منگنز توسط مؤسسه استاندارد آب شرب ایران ۰/۴ mg/l در نظر گرفته شده است (استاندارد ۱۰۵۳). غلظت منگنز در برخی ایستگاه‌ها در فصل تر احتمالاً به دلیل بالا بودن بار جامد و معلق رودخانه و تخلیه انواع فاضلاب از حد مجاز بالاتر می‌باشد. با توجه به غلظت بالای منگنز در شاخه اصلی و گمناب‌چای، ایستگاه‌های پایین دست نیز مقادیر بالای منگنز را در فصل تر نشان می‌دهند. در فصل خشک با در نظر گرفتن نقش بیشتر شاخه فرعی مهران‌رود و با توجه به غلظت کمتر منگنز در آن، مقادیر منگنز در پایین دست نسبت به فصل تر کمتر بوده، هر چند تغییرات افزایشی جزئی احتمالاً ناشی از ورود فاضلاب‌ها نشان می‌دهد. در مجموع بررسی‌ها نشان‌دهنده منشأ زمین‌زاد منگنز در رودخانه آجی‌چای

می‌باشد.

غلظت نیکل در نمونه‌های آب، از $0/005$ تا $0/08$ میلی گرم بر لیتر در فصل تر و از $0/005$ تا $0/1$ میلی گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۱). حد مجاز نیکل برای آب شرب mg/l $0/07$ (استاندارد ۱۰۵۳) می‌باشد. میزان بالای نیکل در فصل تر به دلیل بار معلق رودخانه با توجه به گذر رودخانه از سازند قرمز فوقانی مربوط به دوران میوسن می‌باشد. شاخه فرعی گمناب‌چای نیز به دلیل مواد معلق و کدورت بالا میزان نیکل بالایی را نشان می‌دهد، اما به دلیل دبی خیلی کم این شاخه فرعی در فصل خشک، تأثیری بر میزان نیکل پایین دست ایجاد نکرده است. افزایش بیشتر نیکل در ایستگاه‌های S_9 تا S_{11} دیده می‌شود.

غلظت مس در نمونه‌های برداشته شده، در محدوده‌ای از $0/003$ تا $0/05$ میلی گرم بر لیتر در فصل تر و از $0/02$ تا $0/6$ میلی گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۲). غلظت مس در فصل خشک بیشتر از فصل تر بوده و در طول مسیر رودخانه غلظت آن بتدریج با اضافه شدن فاضلاب‌ها افزایش می‌یابد. همچنین در فصل خشک با توجه به نقش بیشتر شاخه فرعی مهران‌رود در شیمی رودخانه و بالا بودن مقادیر مس در آن (S_4)، غلظت مس در پایین دست بالاتر است. بیشترین غلظت مس در شهریورماه و در ایستگاه ۱۳ مشاهده شد. به طور کلی غلظت مس در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در هر دو فصل زیر حد استاندارد تعیین شده آب شرب ($1\ mg/l$) بوده است (استاندارد ۱۰۵۳).

غلظت باریم در نمونه‌های رودخانه آجی‌چای از $0/027$ تا $0/25$ میلی گرم بر لیتر در فصل تر و از $0/052$ تا $0/26$ میلی گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۲). حداکثر غلظت مجاز باریم آب شرب ایران $0/7$ میلی گرم بر لیتر است. به طور کلی غلظت باریم در طول مسیر رودخانه در هر دو فصل تر و خشک پایین‌تر از حد استاندارد آب شرب ایران بوده و تحت تأثیر تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی در برخی ایستگاه‌های میانی افزایش نشان می‌دهد.

حد مجاز مولیبدن برای آب شرب 0.07 mg/l بوده و بنابراین غلظت مولیبدن در نمونه‌های آب، در همه ایستگاه‌ها پایین‌تر از این حد می‌باشد (شکل ۴-۲۲). غلظت مولیبدن به جز در نمونه‌های ابتدای مسیر که در اثر تبخیر افزایش یافته است، در سایر ایستگاه‌ها تغییرات خاص نداشته که این موضوع بیانگر منشأ زمین‌زاد آن می‌باشد.

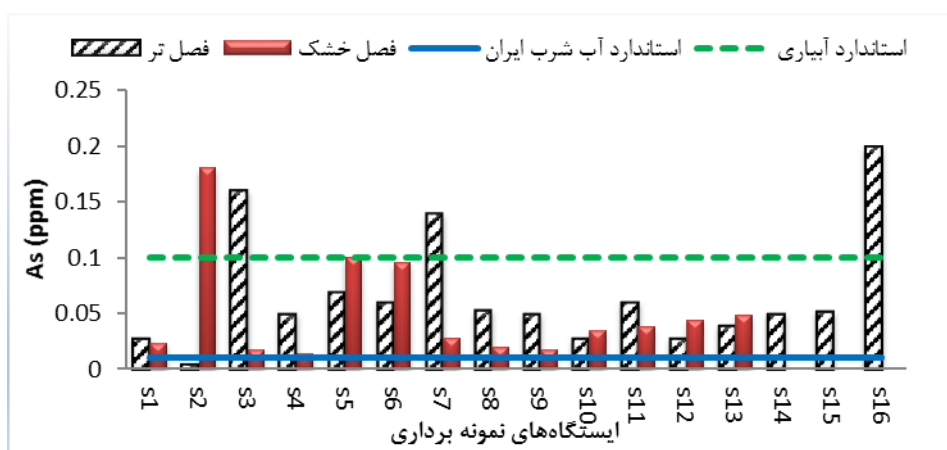
غلظت روی در نمونه‌های آب برداشته شده از آب رودخانه از 0.001 تا 0.1 میلی گرم بر لیتر در فصل تر و از 0.003 تا 0.5 میلی گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۲). حد مطلوب روی طبق پیشنهاد مؤسسه استاندارد آب شرب ایران 3 mg/l می‌باشد که غلظت روی در هر دو فصل پایین‌تر از حد مجاز قرار دارد. بالا بودن غلظت روی در شهریور ماه در ایستگاه ۱۳ (روستای تازه‌کند) ممکن است به دلیل تمرکز کشاورزی در آن ناحیه و استفاده از کود و سموم باشد.

غلظت کبالت در مسیر رودخانه، محدوده‌ای از 0.006 تا 0.036 میلی گرم بر لیتر در فصل تر و 0.007 تا 0.127 میلی گرم بر لیتر در فصل خشک دارد (شکل ۴-۲۳). غلظت کبالت در نمونه‌های آب از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه آجی‌چای در هر دو فصل تر و خشک تغییرات زیادی نداشته که نشان‌دهنده منشأ زمین‌زاد آن می‌باشد. همچنین غلظت کبالت در فصل خشک به دلیل دبی کم و تبخیر در بالادست افزایش یافته و در قسمت‌های پایین دست بعد از شاخه فرعی مهران‌رود با داشتن غلظت کم کبالت و نیز نقش بیشتر این شاخه فرعی در فصل خشک، مقادیر کبالت کاهش یافته است. غلظت آهن در فصل تر در محدوده‌ای بین 0.04 تا $6/7$ میلی گرم در لیتر و در فصل خشک، بین 0.01 تا $1/4$ میلی گرم در لیتر می‌باشد (شکل ۴-۲۳). حد مطلوب آهن برای آب شرب ایران 0.3 mg/l تعیین شده است. آهن در نمونه‌های آب رودخانه در فصل تر به دلیل بار معلق رودخانه مقادیر بالاتری را نسبت به فصل خشک دارا می‌باشد. به دلیل بالا بودن مقادیر آهن در شاخه اصلی و گمناب‌چای و نقش بیشتر آنها در کنترل شیمی پایین دست رودخانه آجی‌چای، غلظت آهن در ادامه مسیر رودخانه نیز نسبت به فصل خشک بالا می‌باشد. در فصل خشک با در نظر گرفتن نقش شاخه فرعی مهران‌رود

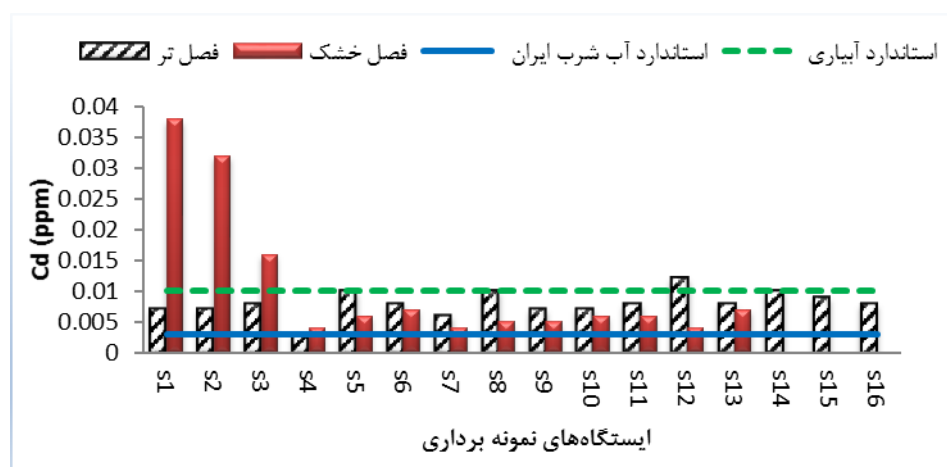
در شیمی قسمت‌های پایین دست رودخانه آجی‌چای، تغییرات آهن کم بوده و در برخی نواحی (ایستگاه‌های S_9 تا S_{14}) به دلیل تخلیه فاضلاب‌ها افزایش یافته است.

غلظت آلومینیوم در نمونه‌های آب، $0/06$ تا $9/2$ میلی‌گرم بر لیتر در فصل تر و کمتر از $0/03$ تا $4/95$ میلی‌گرم بر لیتر در فصل خشک تغییر می‌کند. حد مجاز آلومینیوم در آب شرب $0/2 \text{ mg/l}$ می‌باشد. همانطور که در شکل شکل ۴-۲۳، مشاهده می‌شود آلومینیوم نیز همانند آهن در فصل تر مقادیر بالایی دارد که به دلیل بالا بودن دبی و افزایش بار معلق رودخانه می‌باشد. در فصل خشک نیز در برخی ایستگاه‌ها احتمالاً به دلیل تخلیه فاضلاب‌ها افزایش یافته است.

(الف)

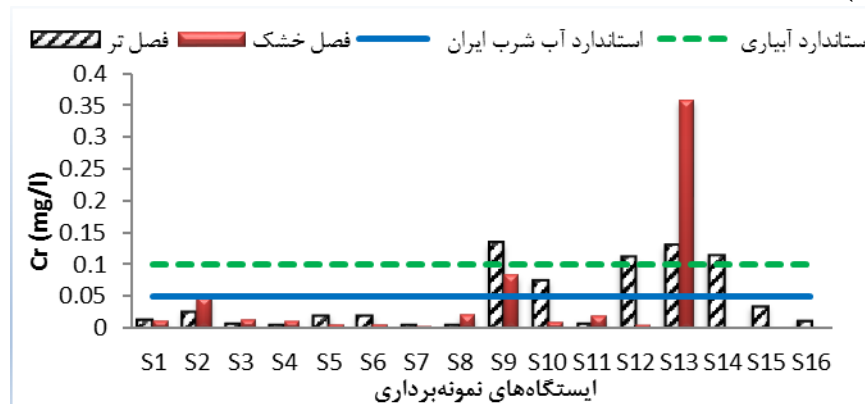


(ب)

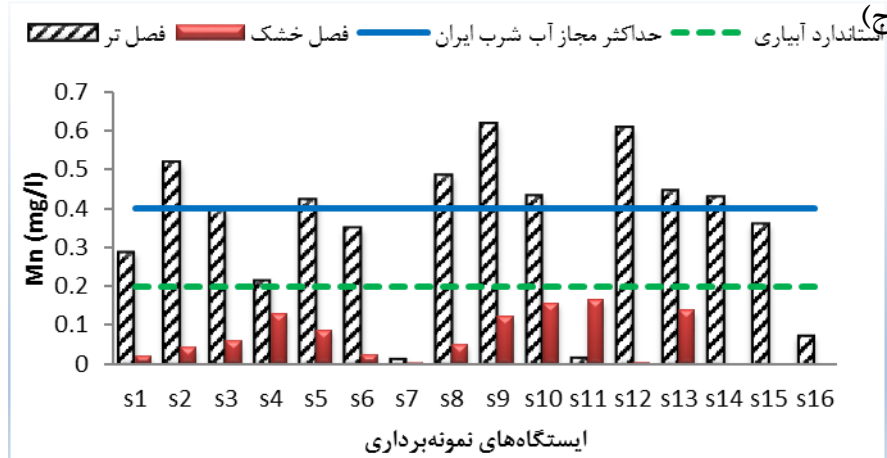


شکل ۴-۲۰- تغییرات آرسنیک (الف) و کادمیوم (ب)، در طول مسیر رودخانه آجی‌چای

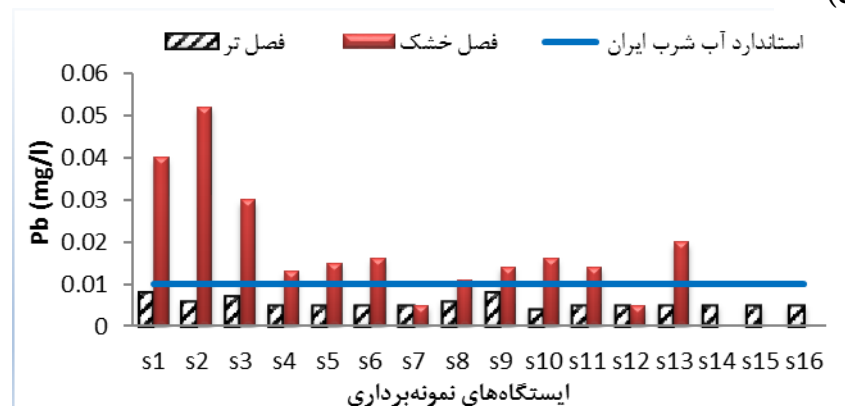
(الف)



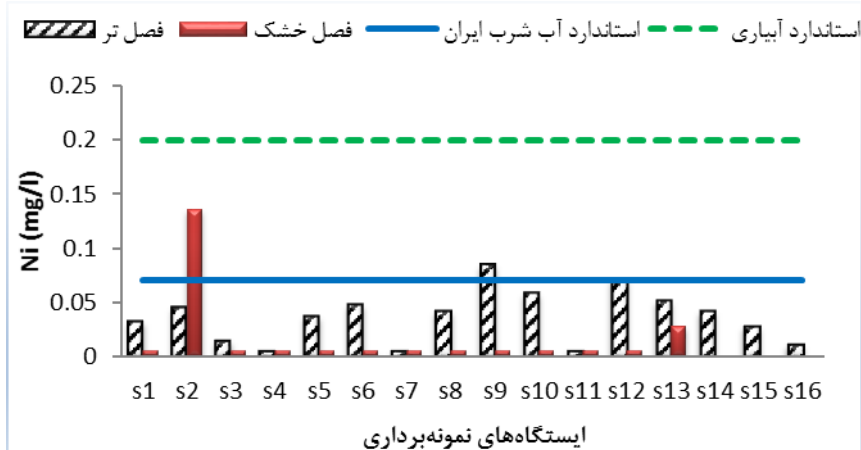
(ج)



(ب)

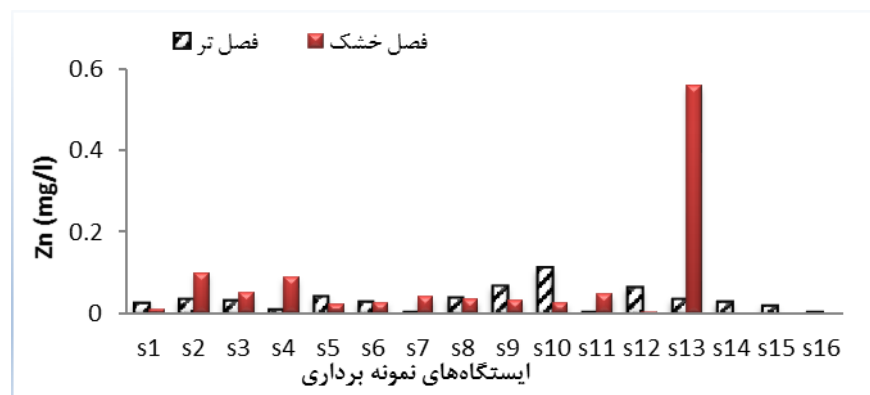
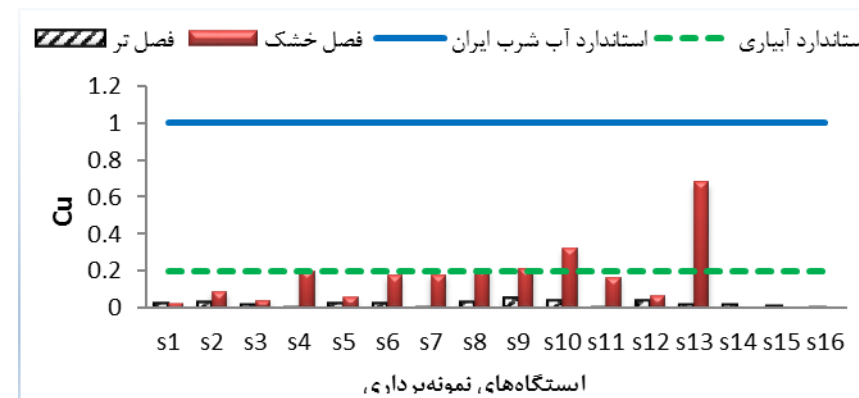
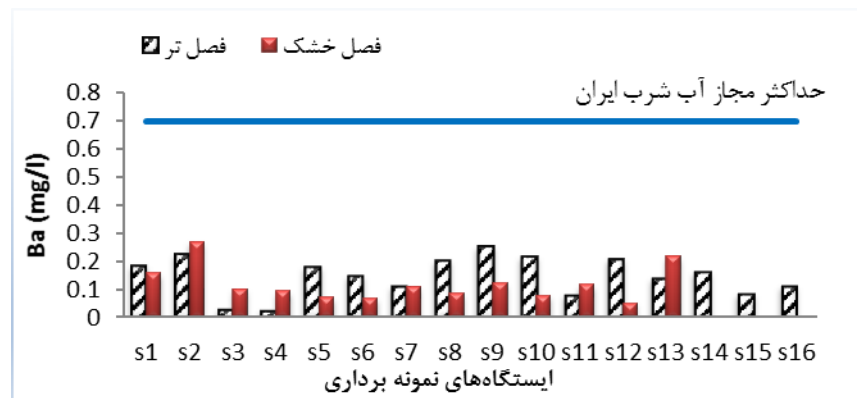


(د)

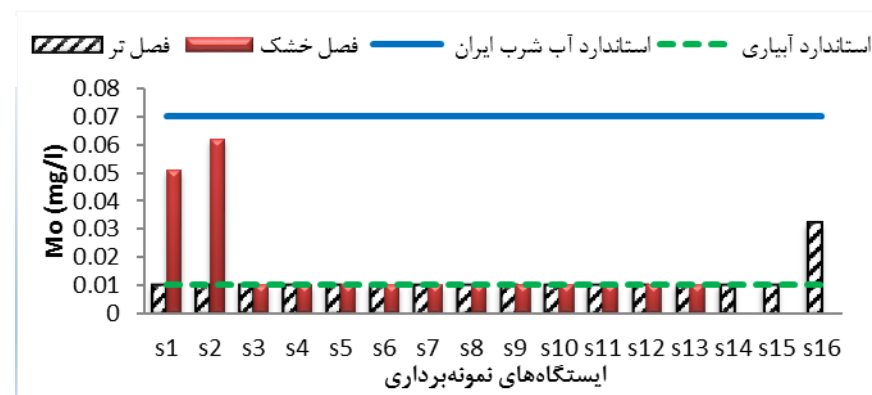


شکل ۴-۲۱- تغییرات کروم (الف)، سرب (ب)، منگنز (ج) و نیکل (د)، در طول مسیر رودخانه آجی چای

ب)



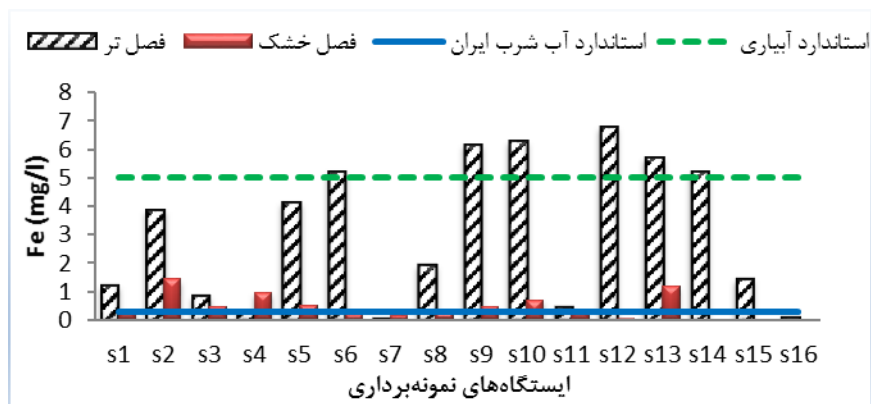
د)



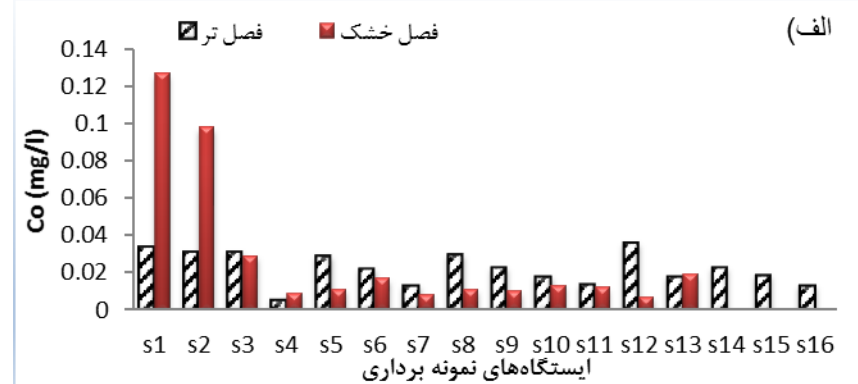
ج)

شکل ۴-۲۲- تغییرات مس (الف)، باریم (ب)، مولیبدن (ج) و روی (د)، در طول مسیر رودخانه آجی چای

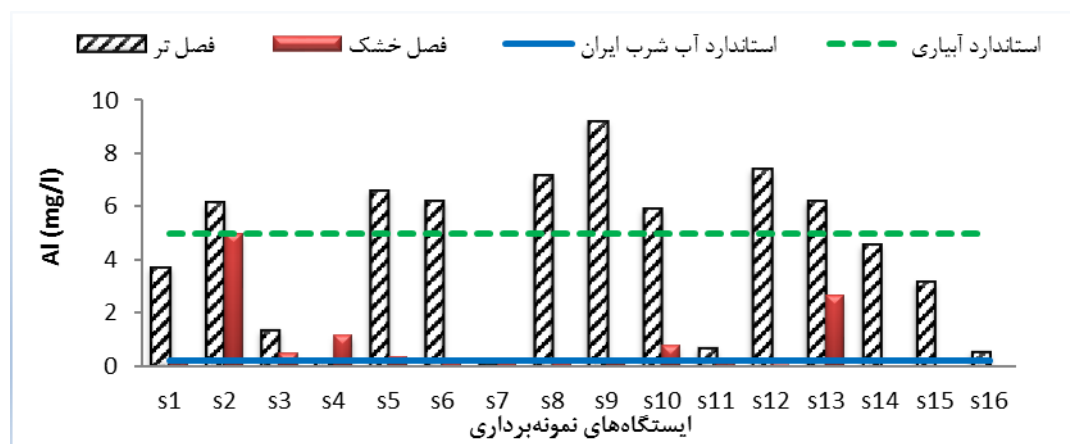
(ب)



(الف)



(ج)



شکل ۴-۲۳- تغییرات کبالت (الف)، آهن (ب) و آلومینیوم (ج)، در طول مسیر رودخانه آجی‌چای

۴-۲-۳- تغییرات زمانی و مکانی اجزاء آلی در رودخانه آجی‌چای

به منظور بررسی میزان مواد آلی موجود در آب می‌توان از اندازه‌گیری خواص مرتبط با آن یعنی اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) و یا اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) استفاده کرد. COD معمولاً شامل همه BOD و همچنین برخی دیگر از مواد شیمیایی است. در اکثر موارد $COD > BOD > TOC$ بوده، با این حال در برخی شرایط این رابطه ممکن است درست نباشد، مانند زمانی که نمونه حاوی مواد سمی باشد (Chapman, 1996).

الف) اکسیژن محلول (DO)

میزان اکسیژن محلول در آب سالم و آلوده نشده، $8/2$ میلی‌گرم بر لیتر است (نخعی، ۱۳۸۸). حداکثر میزان اکسیژن محلول در نمونه‌های رودخانه آجی‌چای $7/7$ میلی‌گرم بر لیتر در فصل تر و $4/7$ میلی‌گرم بر لیتر در فصل خشک و متوسط آن در فصل تر و خشک به ترتیب $3/6$ و $1/3$ میلی‌گرم بر لیتر است. میزان اکسیژن محلول در ایستگاه‌های ابتدای مسیر جریان بالاتر بوده که ناشی از ورود آب سالم‌تر به محدوده در اثر رواناب‌های سطحی است. کاهش بیشتر اکسیژن محلول در ایستگاه‌های میانی (S_7 تا S_{11}) دیده می‌شود. که این موضوع نشان‌دهنده آلودگی احتمالی آب رودخانه از طریق وارد شدن فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی در طول مسیر آن، به‌خصوص در فصل خشک است (شکل ۴-۲۴). اکسیژن محلول در فصل تر در تمامی نمونه‌ها بیشتر از فصل خشک بوده که این موضوع به اهمیت نقش رواناب سطحی ناشی از بارش در کیفیت رودخانه در این دوره مربوط می‌شود.

ب) کربن آلی کل (TOC)

در آب‌های سطحی، غلظت TOC به طور کلی کمتر از 10 میلی‌گرم در لیتر و در آب‌های زیرزمینی 2 میلی‌گرم در لیتر است (Chapman, 1996). چنانچه آب، پذیرنده فاضلاب‌های شهری و صنعتی باشد و یا آبی که به دلیل وجود مواد آلی طبیعی تغییر رنگ داده باشد (مرداب‌ها)، غلظت TOC ممکن است به بیش از 100 میلی‌گرم در لیتر برسد. غلظت TOC در فاضلاب‌های شهری از 10 تا بیشتر از

۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بسته به سطح تصفیه آن می‌رسد (Chapman, 1996). مقادیر اندازه‌گیری شده کربن آلی کل (TOC) در نمونه‌های برداشته شده از آب رودخانه طی دو فصل تر و خشک در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود مقادیر TOC در فصل خشک با توجه به دبی کم رودخانه بیشتر از فصل تر بوده که این موضوع احتمالاً به دلیل تخلیه فاضلاب خام شهری و تخلیه فاضلاب صنعتی می‌باشد. افزایش غلظت کربن آلی کل (TOC) در طول مسیر رودخانه آجی‌چای در اثر فعالیت‌های انسان‌زاد به‌خصوص در ایستگاه‌های S_8 تا S_{11} مشهود بوده که با کاهش اکسیژن محلول آب همخوانی دارد. شایان ذکر است مقادیر TOC در فصل خشک با توجه به تأثیر شاخه فرعی مهران‌رود و بالا بودن مقدار TOC آن در ایستگاه‌های پایین دست افزایش داشته است. شکل ۴-۲۵ توزیع مکانی TOC را در طول مسیر رودخانه آجی‌چای نشان می‌دهد. به صورت مشخص میزان TOC در فصل خشک و در ایستگاه‌های میانی افزایش یافته که با کاهش اکسیژن محلول تطابق دارد.

ج) اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)

به طور معمول آب‌های غیر آلوده مقادیر BOD، حدود ۳-۲ میلی گرم در لیتر یا کمتری دارند، در حالی که در صورت وارد شدن فاضلاب به آنها ممکن است مقادیر ۱۰ میلی گرم در لیتر یا بیشتری را نشان دهند (Chapman, 1996). میزان BOD در فاضلاب خام حدود ۶۰۰ میلی گرم در لیتر و میزان آن در پساب حدود ۱۰۰-۲۰ میلی گرم در لیتر بسته به میزان تصفیه فاضلاب می‌باشد. فاضلاب‌های صنعتی ممکن است مقادیری بیش از ۲۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر BOD داشته باشند (Chapman, 1996). اگر BOD بزرگتر از ۲۰ میلی گرم در لیتر باشد آب آلوده بوده و باکتری زیادی را داراست (نخعی، ۱۳۸۸). مقادیر BOD در نمونه‌های آب برداشته شده از رودخانه آجی‌چای در فصل تر از ۱ تا ۱۰۰ میلی گرم و در فصل خشک از صفر تا ۸۰ میلی گرم بر لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۴). طبق استاندارد محیط زیست ایران میزان BOD بیشتر از ۵ نشان‌دهنده آلودگی آب است. میزان اکسیژن

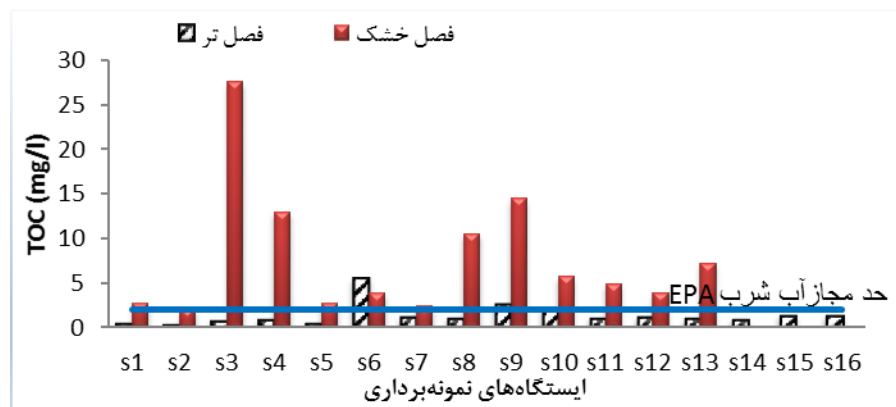
خواهی بیولوژیکی (BOD) در فصل خشک در بالادست صفر بوده که نشان دهنده وجود مواد آلی غیر قابل تجزیه است. افزایش بیشتر BOD در ایستگاه‌های S_7 تا S_{11} که با TOC و اکسیژن محلول همخوانی دارد، نشان‌دهنده تأثیر فاضلاب و پساب‌های صنعتی ورودی به رودخانه آجی‌چای و آلودگی آب آن است. فاضلاب خام شهری نیز در این امر سهم بیشتری داشته به طوری که بالاترین میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی مربوط به تخلیه این فاضلاب‌ها در ایستگاه ۳ (رضوانشهر) بوده است. شکل ۴-۲۶ توزیع مکانی BOD را در طول مسیر رودخانه آجی‌چای نشان می‌دهد. افزایش محسوس این پارامتر در ایستگاه‌های S_7 تا S_{11} در هر دو فصل دیده می‌شود.

(د) اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)

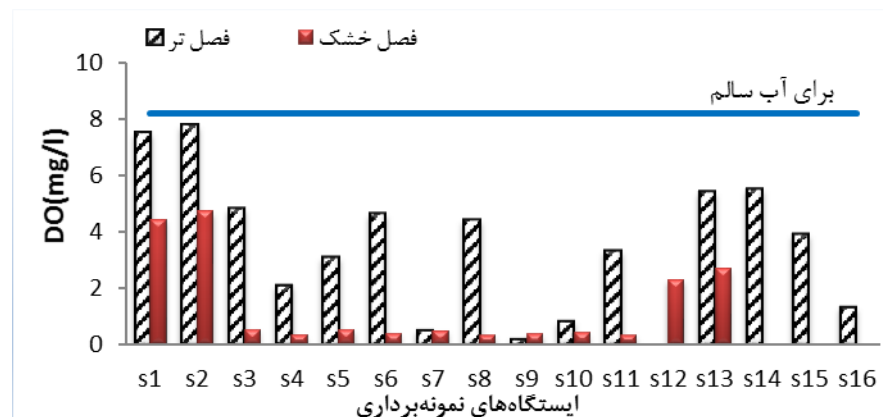
غلظت COD در آب‌های سطحی آلوده نشده ۲۰ میلی گرم بر لیتر یا کمتر و در آب‌های آلوده شده توسط فاضلاب‌ها، بیش از ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده شده است. فاضلاب‌های صنعتی ممکن است محدوده‌ای از ۱۰۰ تا ۶۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر COD داشته باشند (Chapman, 1996). مقادیر COD در نمونه‌های آب برداشته شده از رودخانه آجی‌چای در فصل تر از ۱۵ تا ۳۰۸۴ میلی گرم و در فصل خشک از ۳۵ تا ۱۴۴۰ میلی گرم بر لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴-۲۴). با توجه به شکل مشاهده می‌شود که مقادیر COD نیز تحت تأثیر فاضلاب‌های ورودی به رودخانه آجی‌چای در محدوده ایستگاه‌های S_7 تا S_{11} افزایش یافته است. میزان بالاتر COD در فصل تر ممکن است به خاطر بارندگی در اردیبهشت ماه (با توجه به اینکه نمونه‌برداری ۷۲ ساعت بعد از بارندگی انجام شده است) باشد. این موضوع احتمالاً به دلیل شسته شدن خاک‌های مناطق اطراف (وجود شیل در سازند قرمز) و در نتیجه ورود مواد آلی تجزیه‌پذیر و تجزیه‌ناپذیر به آب رودخانه در این دوره بوده باشد. توزیع مکانی COD در شکل ۴-۲۷ نشان داده شده است که تغییرات آن مشابه سایر پارامترهای آلی می‌باشد.

با توجه به قرار داشتن تصفیه‌خانه فاضلاب شهر تبریز در مسیر رودخانه آجی‌چای (ایستگاه S₇) که حدود ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه فاضلاب را تصفیه و پساب تولید می‌کند و تقریباً به همین میزان فاضلاب خام نیز از طریق کانال بای پاس به رودخانه تخلیه می‌کند (دفتر برنامه‌ریزی و پایش دانشگاه تبریز، ۱۳۹۵) لذا این واحد تأثیر بیشتری بر آلودگی آلی و بیولوژیکی رودخانه می‌گذارد.

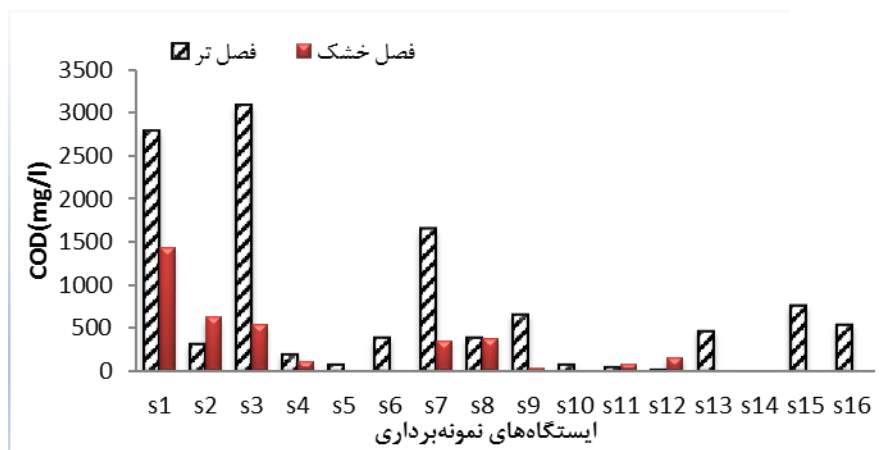
(ب)



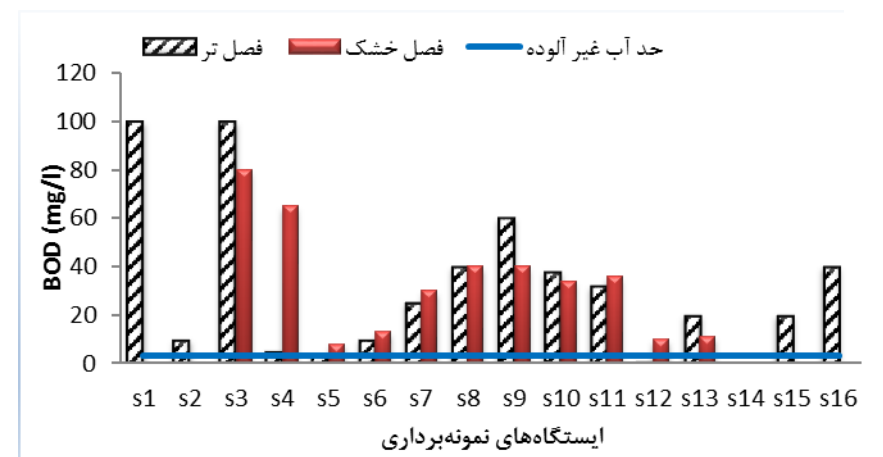
(الف)



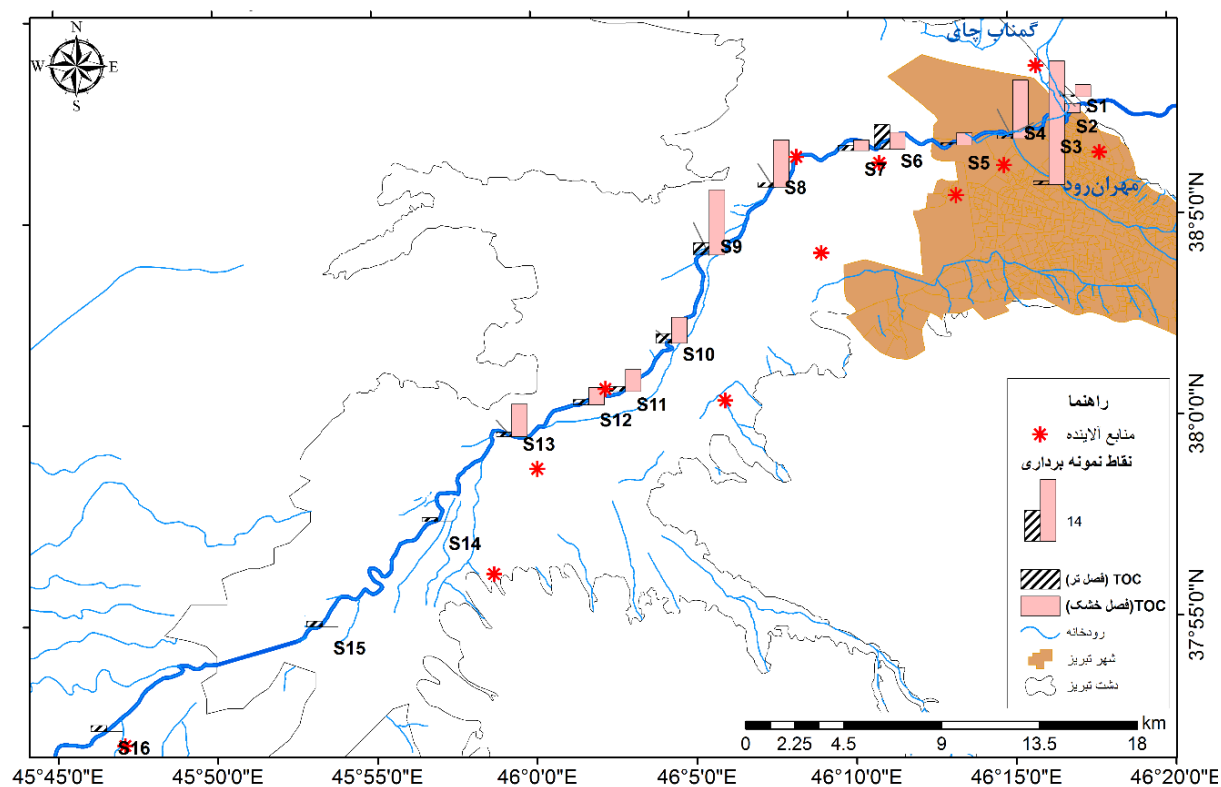
(د)



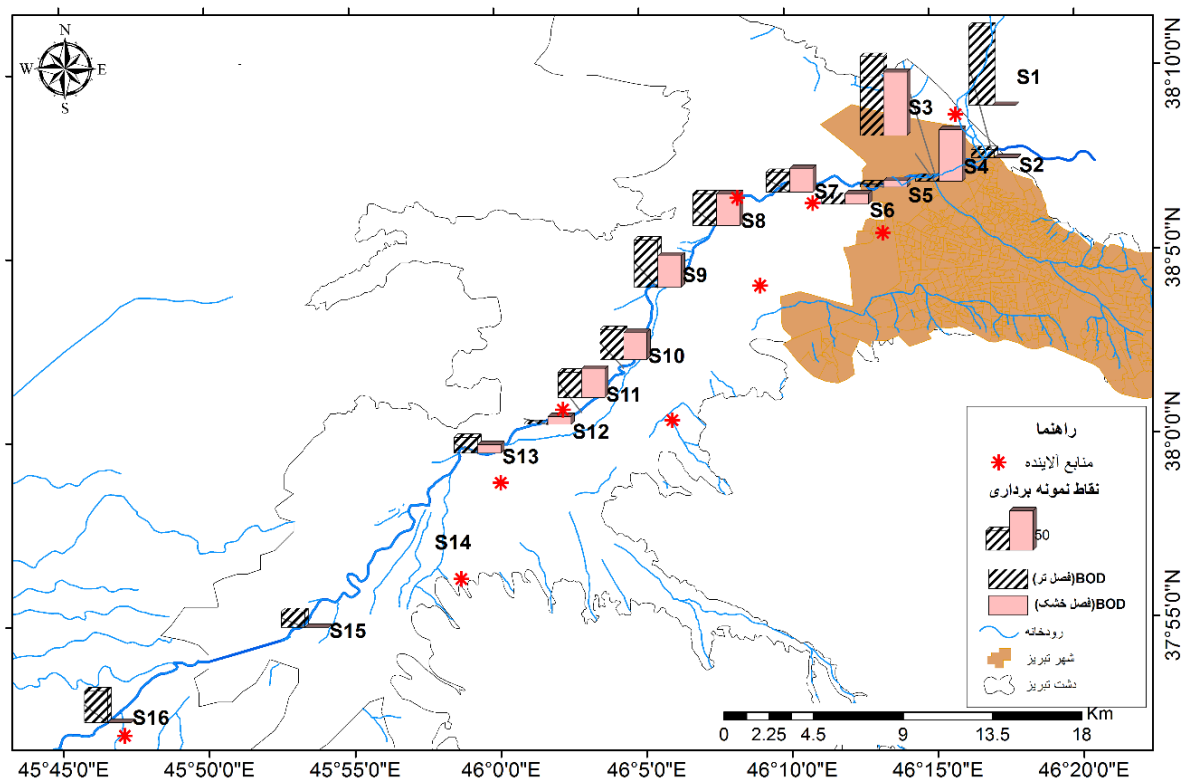
(ج)



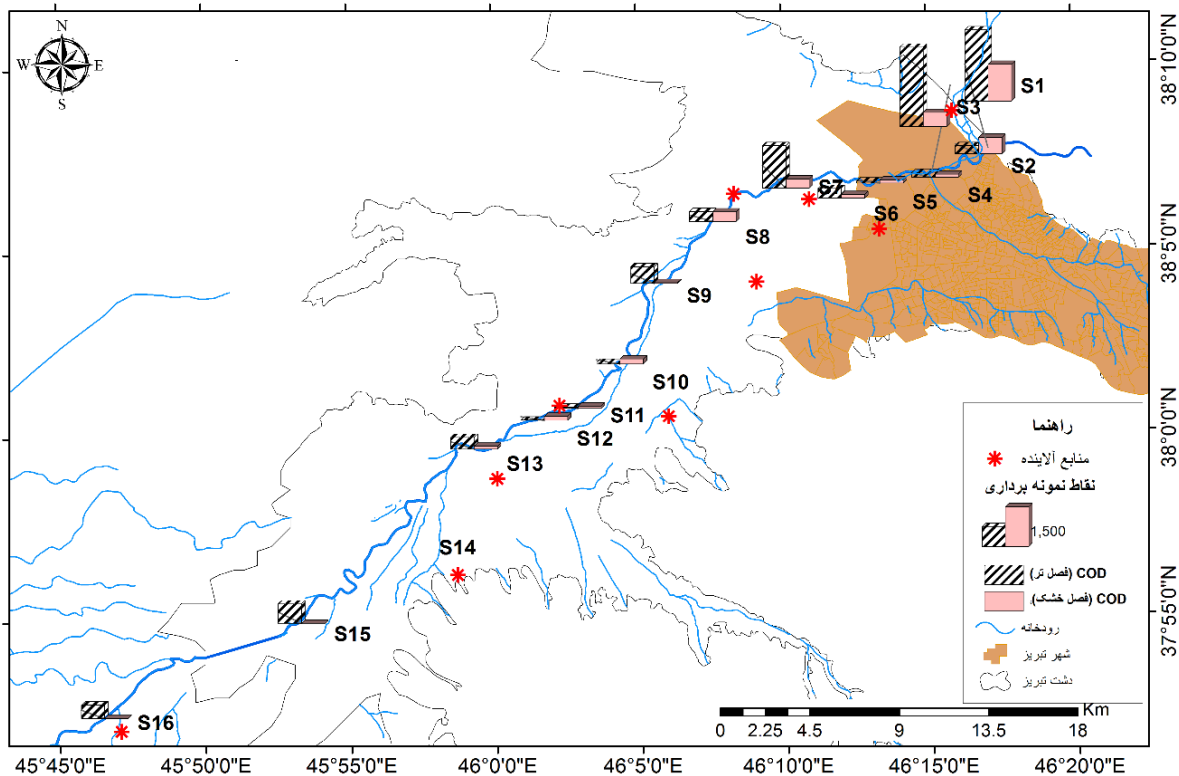
شکل ۴-۲۴- تغییرات اکسیژن محلول (الف)، کربن آلی کل (ب)، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (ج) و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (د)، در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



شکل ۴-۲۵- توزیع مکانی TOC طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای



شکل ۴-۲۶- توزیع مکانی BOD طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای



شکل ۴-۲۷- توزیع مکانی COD طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای

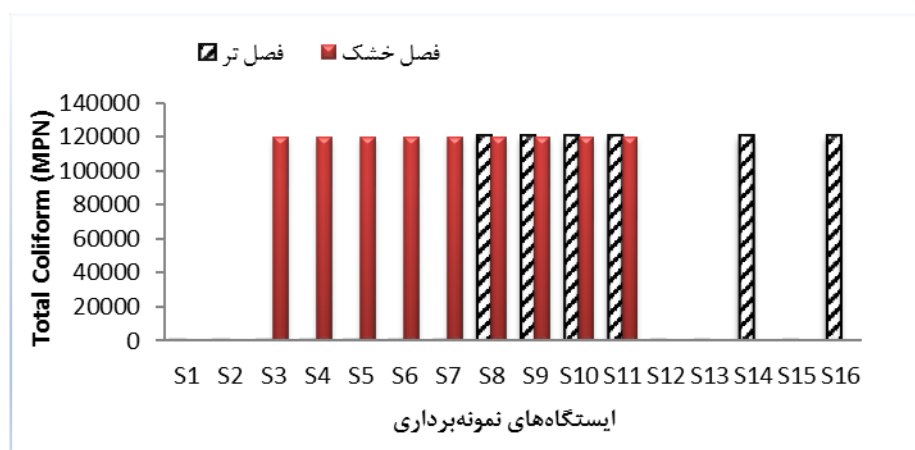
۴-۲-۴- تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای بیولوژیکی در رودخانه آجی چای

کل کلی فرم (Total Coliform) و کلی فرم مدفوعی (Fecal Coliform)

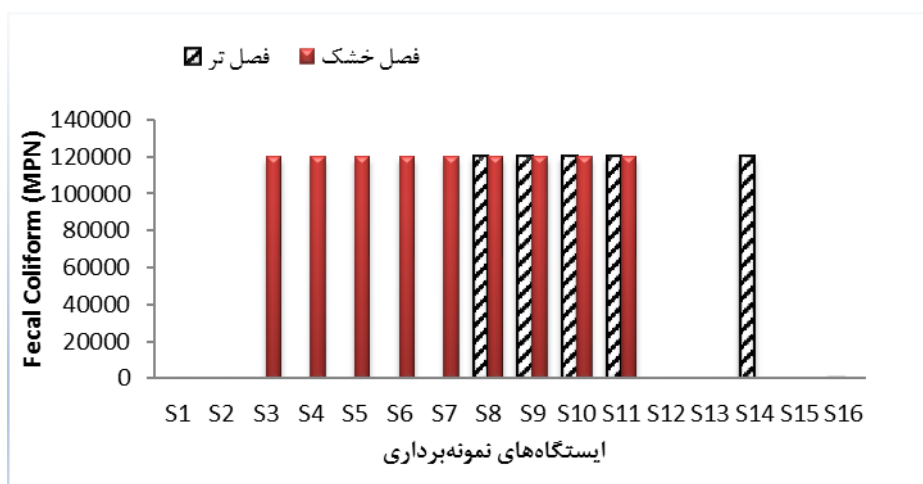
مقادیر کل کلی فرم (T.C) در نمونه‌های آب برداشته شده از رودخانه در هر دو فصل کمتر از ۳۰۰ تا بیشتر از ۱۱۰۰۰۰ در هر ۱۰۰ میلی لیتر آب و مقادیر کلی فرم‌های مدفوعی (F.C) از صفر تا بیشتر از ۱۱۰۰۰۰ در هر ۱۰۰ میلی لیتر آب متغیر است. با توجه به شکل ۴ - ۲۸ مشاهده می‌شود که آلودگی بیولوژیکی بعد از عبور شاخه اصلی رودخانه آجی چای از شهر افزایش یافته که بیانگر منشأ انسانزاد آن می‌باشد. میزان کلی فرم‌ها در دوره تر (اردیبهشت) از ایستگاه S8 به بعد بالا بوده، در حالیکه در فصل خشک در اغلب ایستگاه‌ها مقادیر بالایی نشان می‌دهد. آلودگی ایستگاه‌های بیشتر در

فصل خشک ناشی از دبی کمتر جریان و بنابراین نقش بیشتر تخلیه فاضلاب‌ها می‌باشد. نسبت کلی‌فرم‌های مدفوعی به کل کلی‌فرم بیانگر منشأ انسانی کلی‌فرم‌ها می‌باشد که این نسبت در هر دو فصل بالای ۰/۱ بوده و منشأ انسانی کلی‌فرم‌ها ناشی از تخلیه فاضلاب به داخل رودخانه را به اثبات می‌رساند (kenner et al., 1991). همانطور که در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است تغییرات اکسیژن محلول با روند مشاهده شده در تعداد کلی‌فرم‌ها به‌خصوص در فصل خشک و با توجه به تغییرات تقریباً ثابت در دبی و جریان بدون تلاطم آب در این دوره، هماهنگی بالایی نشان می‌دهد.

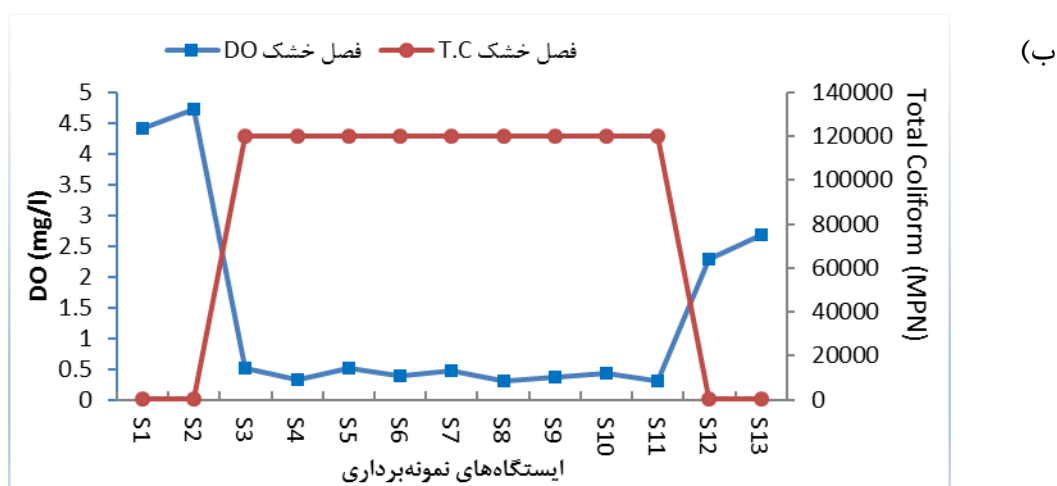
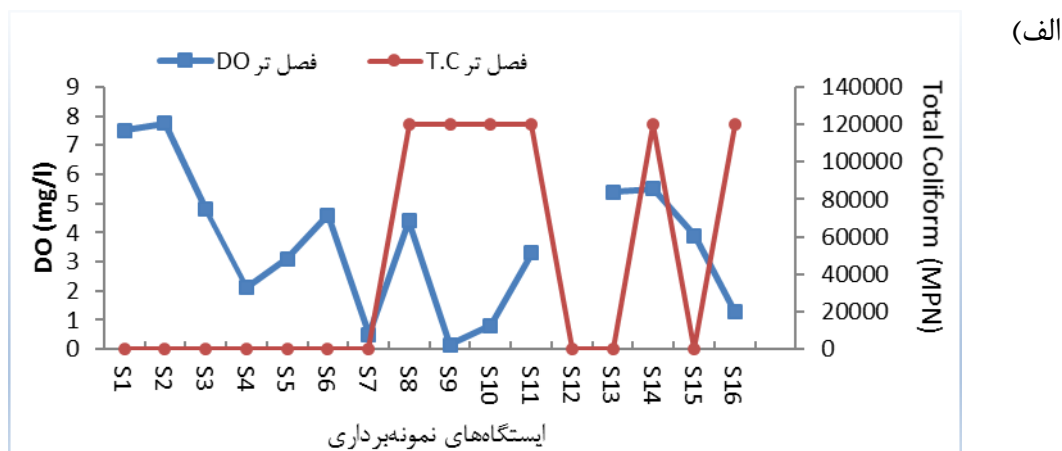
(الف)



(ب)



شکل ۴-۲۸- تغییرات کلی‌فرم کل (الف) و فیکال کلی‌فرم (ب)، طی فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی‌چای



شکل ۴-۲۹- مقایسه تغییرات کلی فرم کل با اکسیژن محلول آب طی فصل تر (الف) و فصل خشک (ب) در طول مسیر رودخانه آجی چای

۴-۳- بررسی کیفیت آب رودخانه آجی چای برای مصارف کشاورزی

مناسب بودن آب برای آبیاری بستگی به تأثیر ترکیبات معدنی آب بر روی خاک و گیاه دارد. نمک ممکن است به رشد گیاه از نظر فیزیکی با محدود کردن جذب توسط واکنش‌های متابولیک مثلاً ناشی از ترکیبات سمی آسیب برساند. اثرات نمک در خاک، باعث تغییر در ساختار خاک، نفوذپذیری و

هوادهی شده و به طور غیر مستقیم بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. به دلیل تنوع گسترده گیاهان مختلف در تحمل شوری محدودیت خاصی برای غلظت مجاز نمک برای آبیاری نمی‌تواند بیان شود. با این حال مطالعاتی که بر روی رشد محصولات در خاک به طور مصنوعی با سطوح شوری مختلف انجام شده است، اطلاعات ارزشمندی از مقاومت گیاهان نسبت به شوری فراهم کرده است (Todd and Mays, 2005). از آنجا که از آب رودخانه آجی‌چای بیشتر برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود، در این بخش کیفیت رودخانه برای مصارف کشاورزی برمبنای شاخص‌های رایج بررسی می‌شود. غلظت سدیم در طبقه‌بندی آب آبیاری بسیار مهم است، زیرا سدیم جانشین کلسیم در خاک شده و سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. محتوای سدیم معمولاً از نظر درصد سدیم به صورت زیر بیان می‌شود (Todd and Mays, 2005):

$$\%Na = \frac{(Na + K) 100}{Ca + Mg + Na + K} \quad \text{(رابطه ۴-۱)}$$

غلظت یون‌ها بر حسب میلی اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

بر اساس نمودار ویلکاکس (شکل ۴-۳۰)، مشاهده گردید در فصل تر به جز نمونه S₄ که در رده خوب قرار دارد همه نمونه‌های آب در رده نامطلوب قرار گرفتند. در فصل خشک نیز نمونه‌های S₆ و S₁ تا S₃ در رده نامطلوب قرار داشته و نمونه‌های S₈ و S₁₀ تا S₁₃ در رده مشکوک تا نامطلوب قرار گرفتند. بقیه نمونه‌ها نیز در رده خوب تا مجاز قرار می‌گیرند (شکل ۴-۳۰).

آزمایشگاه شوری دپارتمان کشاورزی ایالات متحده، نسبت جذب سدیم را به دلیل ارتباط مستقیم آن با جذب سدیم توسط خاک، روش مناسبی توصیه کرده است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}} \quad \text{(رابطه ۴-۲)}$$

غلظت یون‌ها بر حسب میلی اکی‌والان بر لیتر می‌باشد (Todd and Mays, 2005).

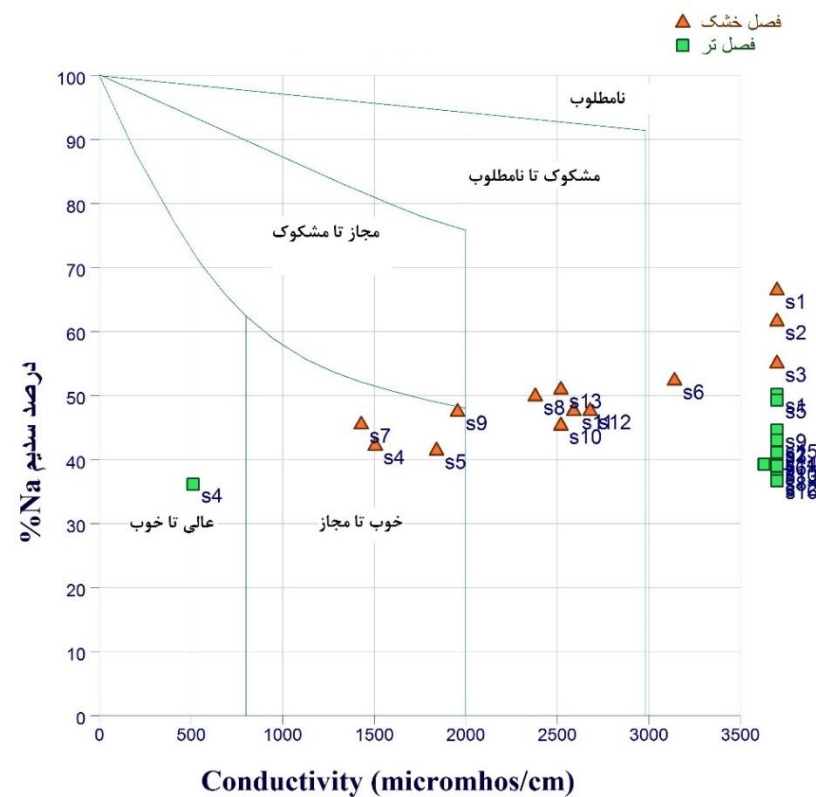
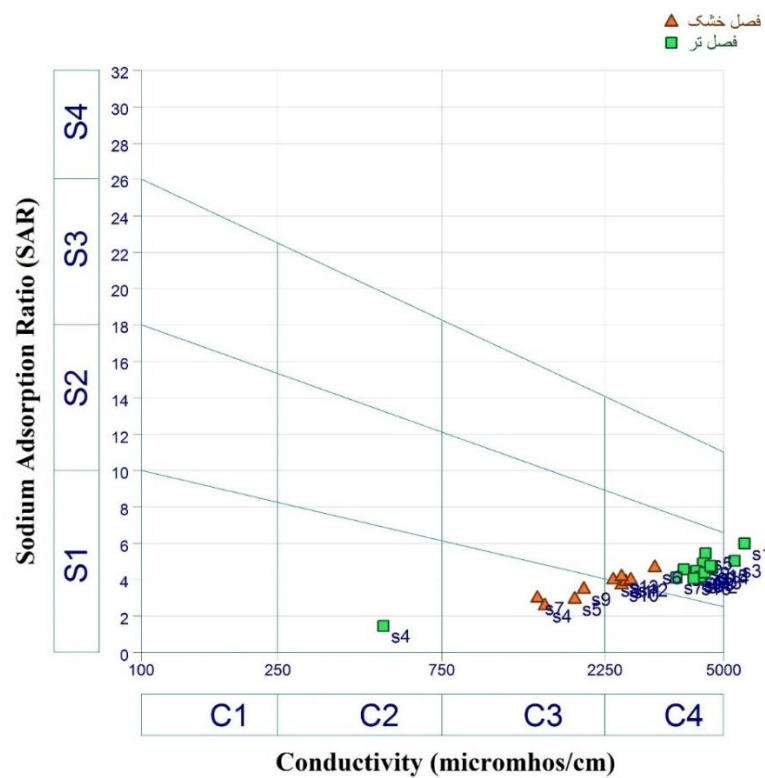
بر این اساس دیاگرام اصلاح شده ویلکاکس برای تعیین کیفیت آب‌های کشاورزی ارائه گردید. در این دیاگرام آب براساس دو معیار خطر شوری (EC) و خطر قلیائیت (SAR) به ۱۶ رده تقسیم می‌شود. آب‌های رده C_1S_1 بهترین و آب‌های رده C_4S_4 بدترین کیفیت را برای آبیاری دارا می‌باشند (جدول ۴-۷). همانطور که در جدول ۴-۸ و شکل ۴-۳۰ مشاهده می‌شود در فصل تر به جز نمونه S_4 (مهران-رود) که در رده خوب قرار دارد، همه نمونه‌های آب در رده نامناسب قرار می‌گیرند. در فصل خشک نیز نمونه‌های آب در رده‌های متوسط تا نامناسب قرار گرفتند. کیفیت آب رودخانه آجی‌چای در فصل خشک به دلیل دبی بیشتر مهران‌رود نسبت به فصل تر بهتر بوده، به طوری که نمونه‌های آب در این فصل بعد از این ایستگاه نمونه‌برداری به سمت نمونه S_4 کشیده شده‌اند که این موضوع باعث قرار گرفتن نمونه‌های پایین دست S_4 در رده متوسط شده که به تدریج به سمت پایین دست رودخانه در رده نامناسب قرار می‌گیرند (۴-۳۰).

جدول ۴-۷ طبقه‌بندی کیفیت آب در دیاگرام اصلاح شده ویلکاکس (علیزاده، ۱۳۸۹)

کیفیت آب برای کشاورزی	کلاس آب
خیلی خوب	C_1S_1
خوب	$C_1S_2 - C_2S_2 - C_2S_1$
متوسط	$C_2S_3 - C_3S_1 - C_3S_2 - C_3S_3 - C_1S_3$
نامناسب	$C_4S_1 - C_2S_4 - C_3S_4 - C_4S_4 - C_1S_4 - C_4S_2 - C_4S_3$

جدول ۴-۸ طبقه‌بندی نمونه‌های برداشت شده از رودخانه آجی‌چای براساس دیاگرام اصلاح شده ویلکاکس

کیفیت آب برای کشاورزی	کلاس آب	نمونه‌های برداشت شده	
		فصل تر	فصل خشک
خیلی خوب	-	-	-
خوب	C_2S_1	S_4	-
متوسط	C_3S_1	-	S_4, S_5, S_7, S_9
نامناسب	C_4S_2	بقیه نمونه‌ها	بقیه نمونه‌ها



شکل ۴-۳۰- نمایش نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای روی نمودار ویلکاکس (الف) و ویلکاکس اصلاح شده (ب) و بررسی آنها از نظر مصارف کشاورزی

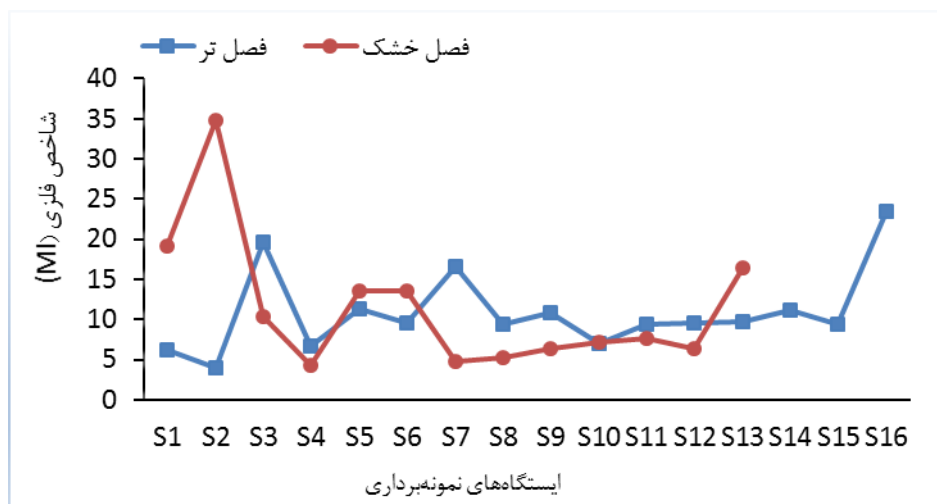
۴-۴- محاسبه و بررسی شاخص‌های آلودگی در رودخانه آجی‌چای

شاخص آلودگی برای ارزیابی و مدیریت کیفی آب مفید بوده و اقدامات لازم برای بهبود کیفیت آب را ممکن می‌سازد (Effendi et al., 2015).

۴-۴-۱- شاخص فلزی (MI^۱)

شاخص فلزی در نمونه‌های برداشت شده از رودخانه آجی‌چای با در نظر گرفتن عناصری مثل آرسنیک، کادمیوم، سرب، کروم و روی برای هر دو فصل تر و خشک محاسبه گردید. انتخاب این عناصر از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده به دلیل اهمیت زیست‌محیطی این عناصر می‌باشد. لازم به ذکر است برای محاسبه این شاخص از استاندارد آب شرب ایران استفاده شده است. نتایج این شاخص نشان داد مقادیر شاخص فلزی در همه ایستگاه‌ها در هر دو دوره تر و خشک بالاتر از یک بوده و بنابراین آب رودخانه آجی‌چای در هر دو فصل در طول مسیر آلوده می‌باشد. با توجه به جدول ۳-۳ به جز گمناب‌چای که در کلاس IV قرار گرفت همه نمونه‌های آب در فصل تر از نظر میزان تأثیرگذاری بر سلامت انسان در کلاس VI قرار می‌گیرند. در فصل خشک نیز ایستگاه‌های S₄، S₇ و S₈ در کلاس V و بقیه ایستگاه‌ها در کلاس VI قرار گرفتند. شدت آلودگی بر اساس شاخص فلزی در فصل تر در آخرین ایستگاه (S₁₆) در بیشترین حد خود قرار داشته و در فصل خشک نیز ایستگاه دوم (شاخه فرعی گمناب‌چای) دارای بیشترین سهم آلودگی فلزی است (شکل ۴-۳۱).

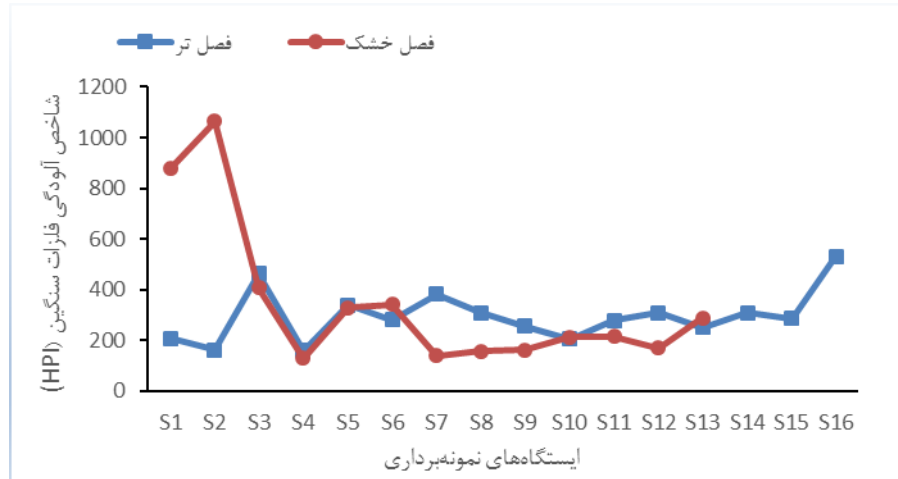
^۱ Metal Index



شکل ۴-۳۱- مقادیر شاخص فلزی (MI) در فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی چای

۴-۴-۲- شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

شاخص آلودگی فلزات سنگین طی دو فصل تر و خشک برای رودخانه آجی چای محاسبه گردید. نتایج نشان داد همه ایستگاه‌ها در هر دو فصل مقادیر بالایی داشته (بیشتر از ۱۰۰) و لذا رودخانه آجی چای در طول مسیر خود در محدوده دشت تبریز آلوده به فلزات سنگین می‌باشد (شکل ۴-۳۲). همانطور که قبلاً بحث شد بالا بودن آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه‌های اول عمدتاً زمین‌زاد می‌باشد. ایستگاه ۴ (مهران‌رود) در هر دو فصل دارای مقادیر کمتری بوده و به دلیل اهمیت این شاخه فرعی در تأمین دبی رودخانه آجی چای در فصل خشک، آلودگی فلزات سنگین را در قسمت‌های پایین دست کاهش داده است. افزایش شاخص آلودگی در ایستگاه‌های ابتدایی در فصل خشک ناشی از پدیده تبخیر بوده که قبلاً نیز اشاره شد.



شکل ۴-۳۲- مقادیر شاخص فلزات سنگین (HPI) در فصل تر و خشک در طول مسیر رودخانه آجی‌چای

۴-۵- ارزیابی کیفیت آب رودخانه آجی‌چای با استفاده از شاخص‌های کیفی

۴-۵-۱- شاخص کیفی NSFQI

شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا برای نمونه‌های برداشت شده از رودخانه آجی‌چای در فصول تر و خشک به هر دو فرم افزایشی ($NSFWQI_a$) و ضربی ($NSFWQI_m$) محاسبه گردید. مقادیر زیرشاخص‌ها (I_i) با استفاده از نرم‌افزار آنلاین WQI Calculator به دست آمد. نتایج حاصل از این شاخص در جدول ۴-۹ و ۴-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۴-۹- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفیت NSFQI

نمونه	فصل تر				فصل خشک			
	$NSFWQI_a$	رده کیفی شاخص	$NSFWQI_m$	رده کیفی شاخص	$NSFWQI_a$	رده کیفی شاخص	$NSFWQI_m$	رده کیفی شاخص
S_1	۵۷/۴	متوسط	۳۸/۱	بد	۵۹/۸	متوسط	۵۱/۹	متوسط
S_2	۶۲/۸	متوسط	۴۷/۶	بد	۵۷/۳	متوسط	۴۳/۰	بد
S_3	۴۷/۸	بد	۳۲/۷	بد	۱۷/۴	خیلی بد	۷/۵	خیلی بد
S_4	۴۶/۰	بد	۳۲/۹	بد	۱۸/۷	خیلی بد	۷/۷	خیلی بد
S_5	۴۹/۷	بد	۳۷/۷	بد	۲۶/۱	بد	۱۳/۴	خیلی بد
S_6	۴۶/۴	بد	۳۶/۳	بد	۲۵/۶	بد	۱۳/۵	خیلی بد
S_7	۳۳/۸	بد	۱۸/۱	خیلی بد	۲۳/۵	خیلی بد	۹/۴	خیلی بد
S_8	۲۴/۲	خیلی بد	۱۴/۰	خیلی بد	۲۴/۰	خیلی بد	۹/۳	خیلی بد
S_9	۲۶/۳	بد	۱۰/۸	خیلی بد	۲۰/۵	خیلی بد	۸/۶	خیلی بد
S_{10}	۲۰/۹	خیلی بد	۱۰/۹	خیلی بد	۲۵/۶	بد	۱۰/۵	خیلی بد
S_{11}	۲۵/۹	بد	۱۴/۴	خیلی بد	۲۶/۴	بد	۹/۸	خیلی بد
S_{12}	۴۷/۲	بد	۲۱/۷	خیلی بد	۳۰/۷	بد	۱۷/۸	خیلی بد
S_{13}	۴۸/۶	بد	۳۵/۰	بد	۲۶/۹	بد	۱۶/۳	خیلی بد
S_{14}	۳۰/۲	بد	۱۳/۵	خیلی بد	-	-	-	-
S_{15}	۴۴/۰	بد	۳۱/۳	بد	-	-	-	-
S_{16}	۲۵/۹	بد	۱۷/۴	خیلی بد	-	-	-	-

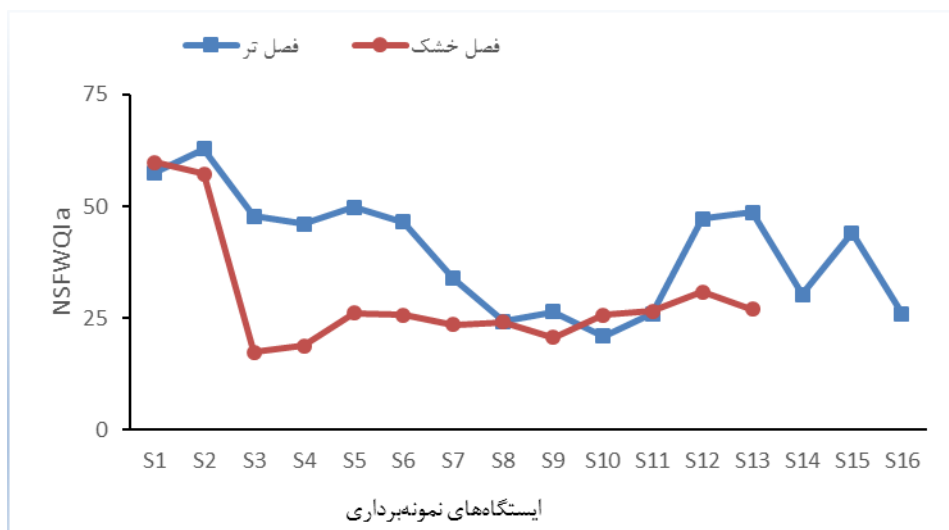
در محاسبه شاخص NSFQI وزن پارامترهایی مانند اکسیژن محلول و کلی‌فرم مدفوعی بالا بوده و بنابراین در محاسبه این شاخص نقش بیشتری دارند. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود ایستگاه اول (ورودی دشت) و شاخه فرعی گمناب‌چای (ایستگاه دوم) در هر دو فصل تر و خشک نسبت به ایستگاه‌های پایین دست خود به دلیل بالا بودن میزان اکسیژن محلول و عدم وجود کلی‌فرم مدفوعی کیفیت بهتری دارند و بقیه ایستگاه‌ها به‌خصوص ایستگاه‌های ابتدایی (S_3 و S_4) و ایستگاه‌های میانی (S_7 تا S_{12}) کیفیت آب رودخانه به دلیل تخلیه انواع فاضلاب‌ها خانگی و صنعتی و همچنین رواناب کشاورزی در پایین‌ترین حد خود یعنی در رده خیلی بد قرار می‌گیرد (شکل ۴-۳۳). شکل ۴-۳۴ وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای را بر اساس شاخص NSFQI در دوره تر و خشک نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۰- وضعیت کیفی نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفی NSFQI

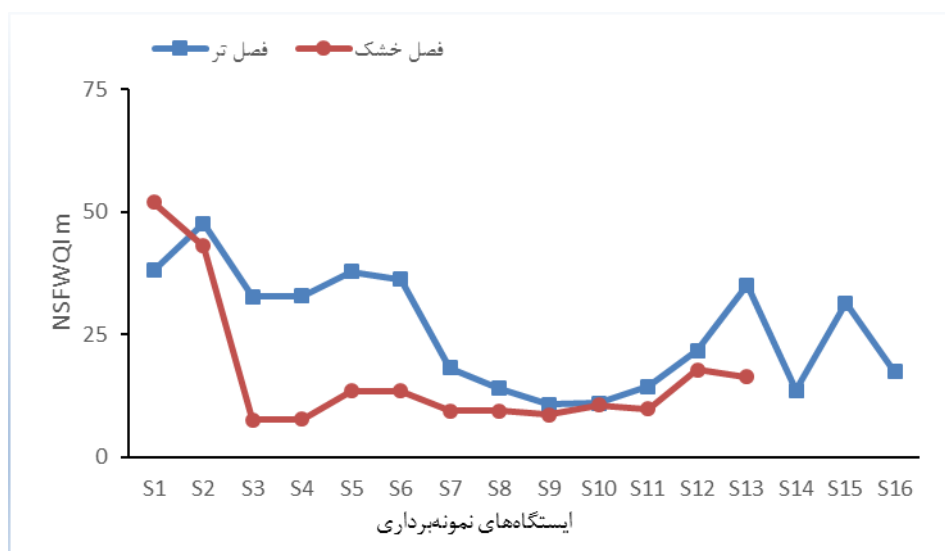
مقادیر شاخص	رده‌بندی کیفی	فصل خشک		فصل تر	
		$NSFWQI_m$	$NSFWQI_a$	$NSFWQI_m$	$NSFWQI_a$
۰-۲۵	خیلی بد	بقیه ایستگاه‌ها	S_7 تا S_9 و S_3, S_4	S_7 تا S_{12} و S_{14}, S_{16}	S_8, S_{10}
۲۵-۵۰	بد	S_2	بقیه ایستگاه‌ها	S_1 تا S_6 و S_{13}, S_{15}	بقیه ایستگاه‌ها
۵۰-۷۰	متوسط	S_1	S_1, S_2	-	S_1, S_2
۷۰-۹۰	خوب	-	-	-	-
۹۰-۱۰۰	عالی	-	-	-	-

چنانچه در شکل ۴-۳۴ مشاهده می‌شود بر اساس شاخص $NSFWQI_a$ طی فصل تر از حدود ۶۳ کیلومتر طول شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای واقع در دشت تبریز، ۶۱۲/۱ متر از محل نمونه‌برداری در ورودی دشت تا شاخه فرعی گمناب‌چای در رده متوسط، حدود ۵۳/۴ کیلومتر در رده بد و ۹/۶ کیلومتر از شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای نیز در رده خیلی بد قرار دارد. در فصل خشک نیز با در نظر گرفتن طول قسمت خشک شده رودخانه آجی‌چای حدود ۱۵/۸ کیلومتر از شاخه اصلی (بعد از ایستگاه دوم) در رده بد و حدود ۱۸/۹ کیلومتر دیگر در رده خیلی بد قرار گرفتند. بر اساس شاخص $NSFWQI_m$ نیز طی فصل تر، حدود ۲۲/۴ کیلومتر در رده بد و ۴۱/۱ کیلومتر از شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای نیز در رده خیلی بد قرار دارند. در فصل خشک نیز کل مسیر رودخانه بعد از ایستگاه دوم (شاخه فرعی گمناب‌چای) در رده خیلی بد قرار گرفتند. این مسیرها با رنگ تعیین شده در استاندارد بر روی نقشه نشان داده شده است (شکل ۴-۳۵).

(الف)

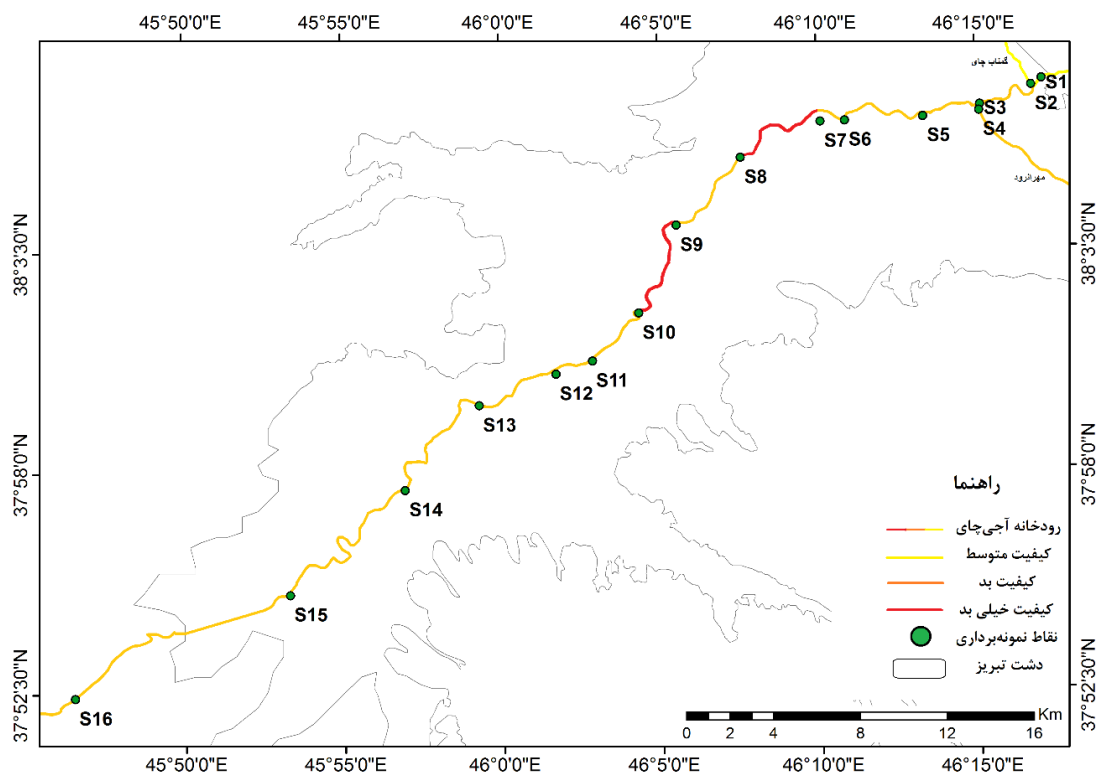


(ب)

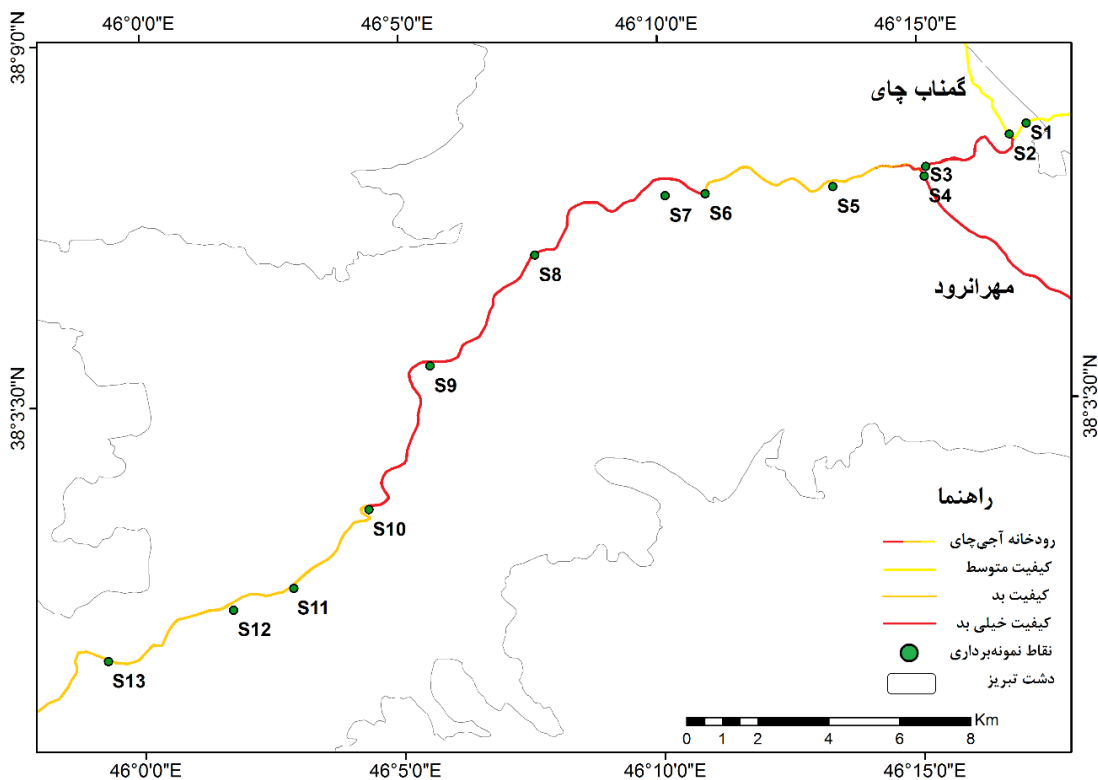


شکل ۴-۳۳- وضعیت کیفی براساس شاخص NSFQI_a (الف) و شاخص NSFQI_m (ب) در طول مسیر رودخانه آجی چای

(الف)

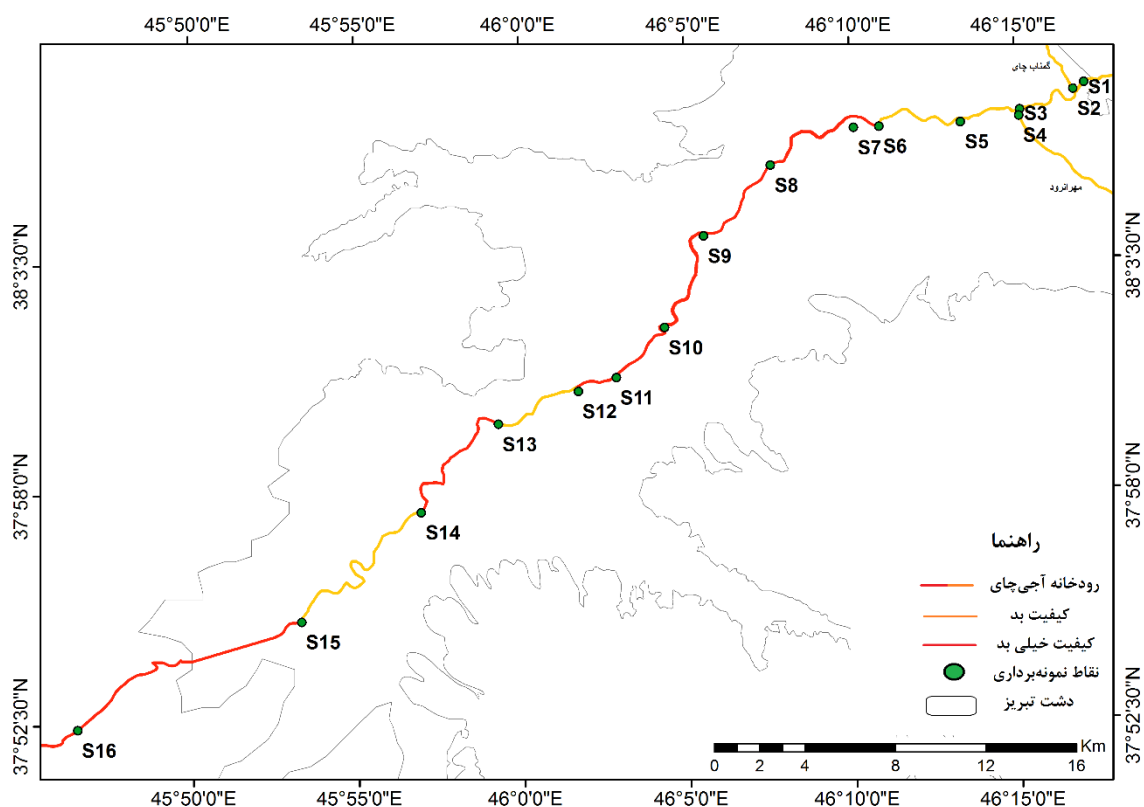


(ب)

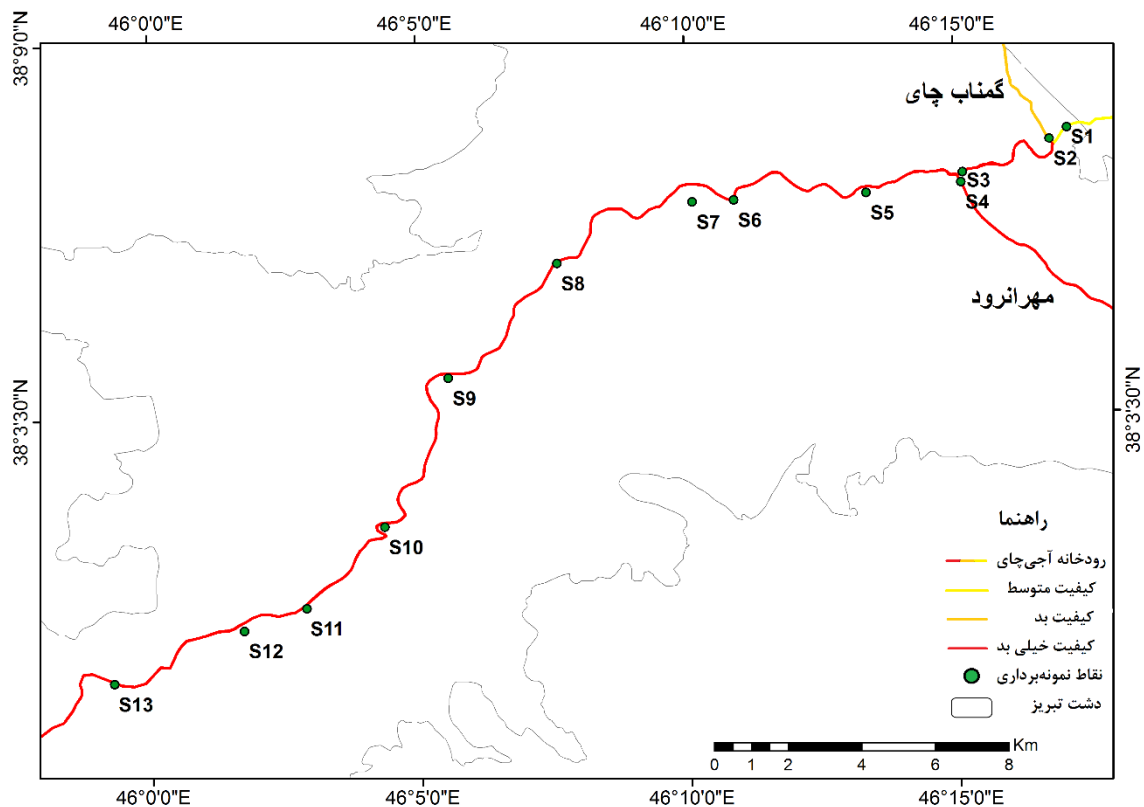


شکل ۴-۳۴- وضعیت کیفی رودخانه آجی چای بر اساس شاخص کیفی $NSFWQI_a$ طی فصل تر (الف) و خشک (ب)

(الف)



(ب)



شکل ۴-۳- وضعیت کیفی رودخانه آبی چای بر اساس شاخص کیفی $NSFWQI_m$ طی فصل تر (الف) و خشک (ب)

۴-۵-۲- شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{sc}$)

شاخص کیفی آب ایران نیز برای هر دو فصل تر و خشک محاسبه گردید. نتایج این محاسبه با توجه به طبقه‌بندی کیفی آب توسط این شاخص در جدول ۴-۱۱ و ۴-۱۲ ارائه شده است.

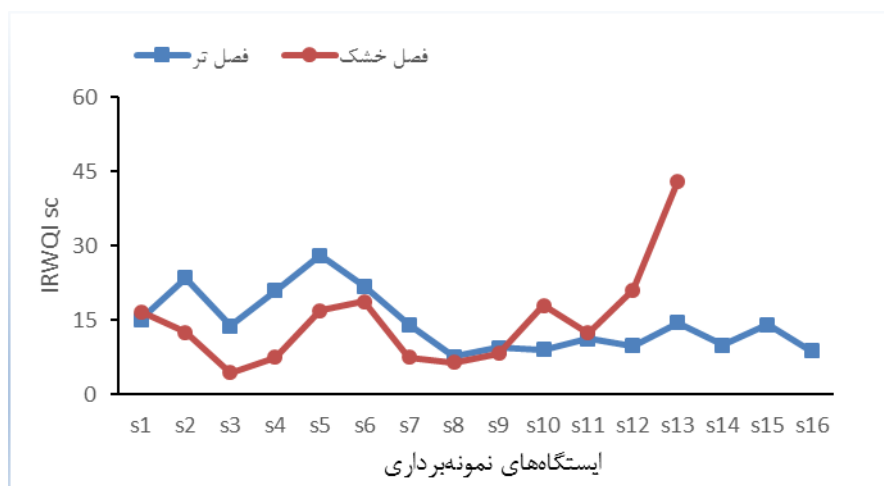
جدول ۴-۱۱- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفیت $IRWQI_{sc}$

نام محل	فصل خشک		فصل تر		نمونه
	رده کیفی شاخص	عدد شاخص	رده کیفی شاخص	عدد شاخص	
ورودی رودخانه آجی‌چای	بد	۱۶/۷	بد	۱۵/۱	S_1
انتهای شاخه فرعی گمناب‌چای	خیلی بد	۱۲/۵	بد	۲۳/۴	S_2
بعد از کانال تخلیه فاضلاب رضواشهر و شیر پگاه	خیلی بد	۴/۴	خیلی بد	۱۳/۸	S_3
انتهای شاخه فرعی مهران‌رود	خیلی بد	۷/۵	بد	۲۰/۹	S_4
پایین‌تر از شهرک صنعتی شهید بهشتی	بد	۱۶/۹	بد	۲۸/۰	S_5
نرسیده به تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز	بد	۱۸/۷	بد	۲۱/۸	S_6
بعد از تصفیه‌خانه	خیلی بد	۷/۴	خیلی بد	۱۴/۰	S_7
بعد از کانال تخلیه فاضلاب چرمشهر	خیلی بد	۶/۵	خیلی بد	۷/۵	S_8
بعد از کانال پتروشیمی، ایران مایه و موتوزن	خیلی بد	۸/۲	خیلی بد	۹/۳	S_9
بعد از کانال تخلیه پساب نیروگاه حرارتی	بد	۱۷/۹	خیلی بد	۹/۰	S_{10}
نرسیده به شهرک صنعتی آخولا	خیلی بد	۱۲/۳	خیلی بد	۱۱/۲	S_{11}
بعد از شهرک صنعتی آخولا	بد	۲۰/۹	خیلی بد	۹/۸	S_{12}
روستای تازه‌کند	نسبتاً بد	۴۳/۰	خیلی بد	۱۴/۴	S_{13}
شهرستان ایلخچی	-	-	خیلی بد	۹/۹	S_{14}
انتهای دشت	-	-	خیلی بد	۱۴/۰	S_{15}
روستای خورخور	-	-	خیلی بد	۸/۸	S_{16}

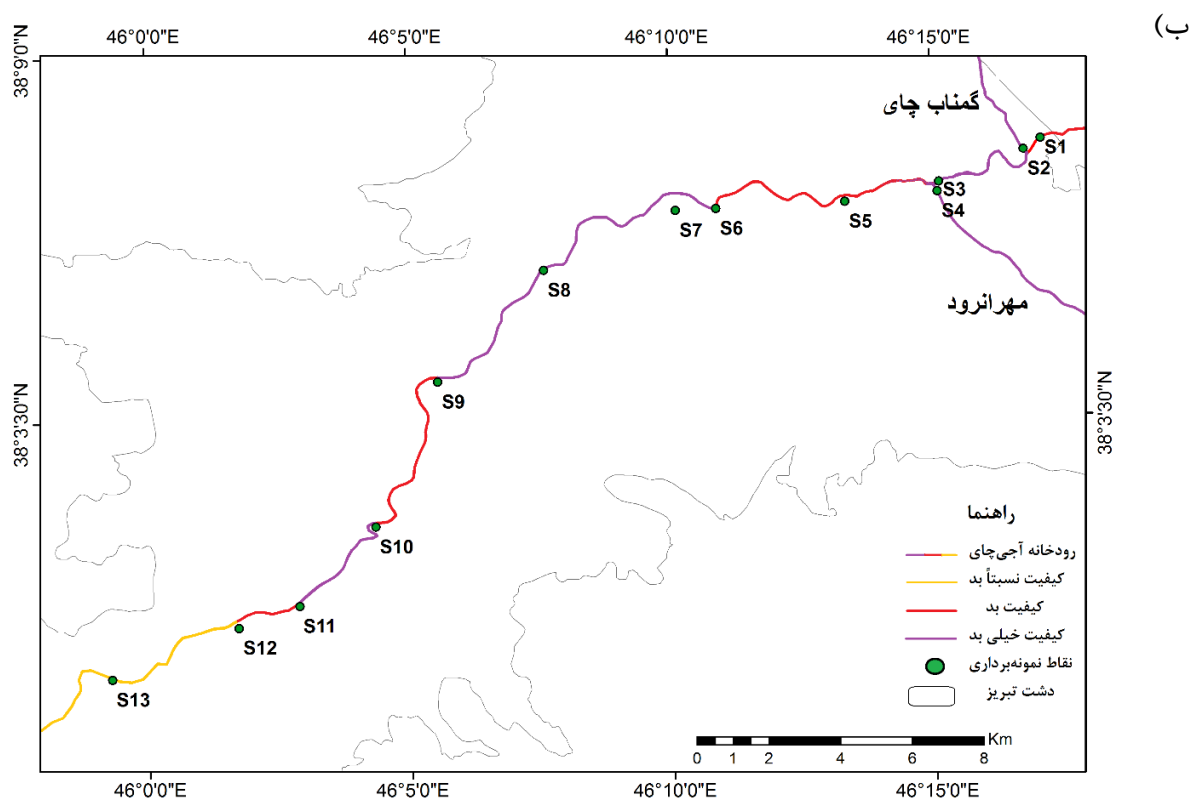
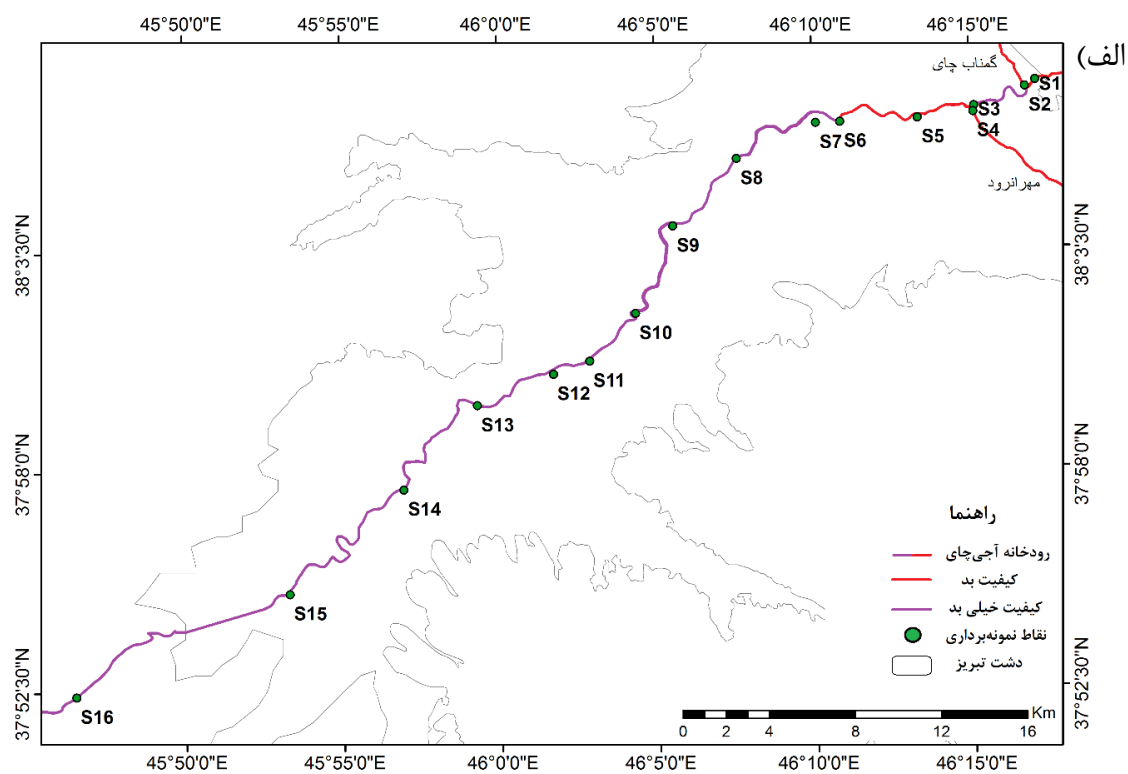
با توجه به این شاخص اکثر نمونه‌های آب در رده بد و خیلی بد قرار گرفتند. در محاسبه شاخص کیفی آب ایران با توجه به اهمیت کلی‌فرم مدفوعی، اکسیژن خواهی بیولوژیکی و نیز نیترات که دارای بیشترین وزن می‌باشند، می‌توان دلیل کیفیت پایین آب رودخانه را بیشتر مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده این پارامترها دانست. چنانچه مشاهده می‌شود ایستگاه S_3 به دلیل ورود فاضلاب خام شهری (منطقه رضوانشهر) و ایستگاه S_7 تا S_9 در هر دو فصل تر و خشک، به دلیل تجمع مراکز صنعتی دارای کمترین کیفیت آب می‌باشند. شکل ۴-۳۶ و ۴-۳۷ وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای را بر اساس شاخص $IRWQI_{SC}$ در دوره تر و خشک نشان می‌دهد. از ۶۳ کیلومتر طول شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای در فصل تر حدود ۷/۴۳ کیلومتر در رده بد و بقیه طول رودخانه در رده خیلی بد قرار می‌گیرد. در فصل خشک نیز با در نظر گرفتن طول قسمت خشک شده رودخانه آجی‌چای حدود ۳/۹ کیلومتر در رده نسبتاً بد، ۱۴/۴ کیلومتر در رده بد و ۱۷/۱ کیلومتر در رده خیلی بد قرار گرفتند. با توجه به شکل ۴-۳۷ مشاهده می‌شود بدترین کیفیت آب مربوط به قسمت‌های ابتدایی (ایستگاه‌های S_3 و S_4) و میانی دشت (S_7 تا S_{12}) به دلیل ورود انواع فاضلاب‌ها به رودخانه آجی‌چای می‌باشد.

جدول ۴-۱۲- وضعیت کیفی نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص کیفی $IRWQI_{sc}$

نمونه‌های رودخانه آجی‌چای		معادل توصیفی	مقادیر شاخص
فصل خشک	فصل تر		
بقیه ایستگاه‌ها	S_3 و S_7 به بعد	خیلی بد	< 15
S_{12} و S_{10} و S_6 و S_5 و S_1	S_1 تا S_6 بجز S_3	بد	۱۵-۲۹/۹
S_{13}	-	نسبتاً بد	۳۰-۴۴/۹
-	-	متوسط	۴۵-۵۵
-	-	نسبتاً خوب	۵۵/۱-۷۰
-	-	خوب	۷۰/۱-۸۵
-	-	بسیار خوب	> 85



شکل ۴-۳۶- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای براساس شاخص $IRWQI_{sc}$



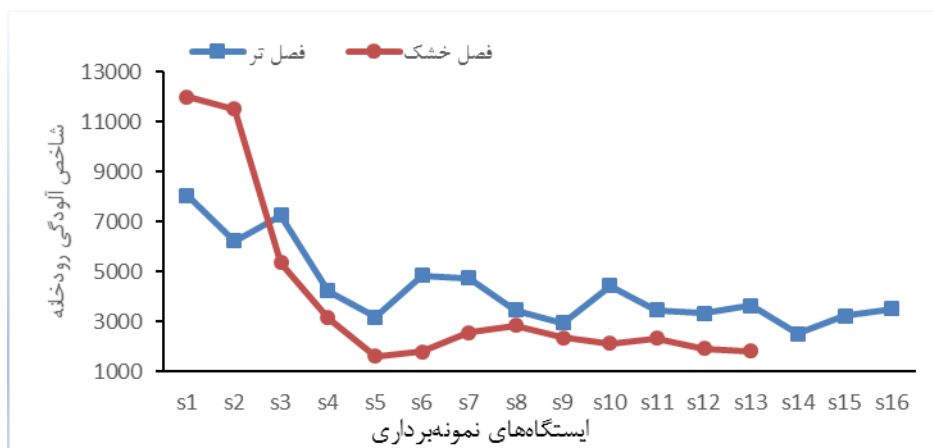
شکل ۴-۳۷- وضعیت کیفی رودخانه آبی چای بر اساس شاخص کیفی $IRWQI_{sc}$ طی فصل تر (الف) و خشک (ب)

۴-۵-۳- شاخص آلودگی رودخانه

با استفاده از شاخص آلودگی رودخانه (RPI)، کیفیت رودخانه آجی‌چای بررسی و پهنه‌بندی شد. تمامی زیرشاخص‌ها با استفاده از توابع مربوط به آنها (جدول ۳-۸) به‌دست آمده و شاخص نهایی محاسبه گردید. مقادیر حاصل از شاخص در هر دو فصل بالاتر از ۱۰۰۰ بوده که حاکی از آلودگی زیاد آب رودخانه آجی‌چای می‌باشد. بنابراین همه نمونه‌های آب در هر دو فصل تر و خشک در رده بسیار آلوده قرار گرفتند (جدول ۴-۱۳ و شکل ۴-۳۸). آلودگی بالای رودخانه آجی‌چای احتمالاً به دلیل بالا بودن میزان مواد آلی آب (BOD و COD) و مواد مغذی (نیتрат و فسفات) می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده انسانزاد بودن آلودگی رودخانه آجی‌چای بوده و نیاز به کنترل منابع آلاینده ورودی به رودخانه را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۳- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص آلودگی رودخانه

نمونه	فصل تر		فصل خشک		نام محل
	عدد شاخص	رده کیفی شاخص	عدد شاخص	رده کیفی شاخص	
S ₁	۸۰۳۵/۶	بسیار آلوده	۱۲۰۰۶/۶	بسیار آلوده	ورودی رودخانه آجی‌چای
S ₂	۶۲۱۳/۶	بسیار آلوده	۱۱۵۱۲/۴	بسیار آلوده	انتهای شاخه فرعی گمناب‌چای
S ₃	۷۲۴۴/۲	بسیار آلوده	۵۳۵۳/۵	بسیار آلوده	بعد از کانال تخلیه فاضلاب رضواشهر و شیر پگاه
S ₄	۴۲۲۴/۲	بسیار آلوده	۳۱۴۰/۹	بسیار آلوده	انتهای شاخه فرعی مهران‌رود
S ₅	۳۱۸۳/۲	بسیار آلوده	۱۶۱۶/۹	بسیار آلوده	پایین‌تر از شهرک صنعتی شهید بهشتی
S ₆	۴۸۳۳/۵	بسیار آلوده	۱۷۸۵/۹	بسیار آلوده	نرسیده به تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز
S ₇	۴۷۳۲/۲	بسیار آلوده	۲۵۴۵/۷	بسیار آلوده	بعد از تصفیه‌خانه
S ₈	۳۴۵۰/۹	بسیار آلوده	۲۸۴۵/۴	بسیار آلوده	بعد از کانال تخلیه فاضلاب چرمشهر
S ₉	۲۹۴۵/۷	بسیار آلوده	۲۳۵۲/۲	بسیار آلوده	بعد از کانال پتروشیمی، ایران مایه و موتوژن
S ₁₀	۴۴۲۵/۵	بسیار آلوده	۲۱۳۰/۶	بسیار آلوده	بعد از کانال تخلیه پساب نیروگاه حرارتی
S ₁₁	۳۴۶۴	بسیار آلوده	۲۳۳۳/۸	بسیار آلوده	نرسیده به شهرک صنعتی آخولا
S ₁₂	۳۳۱۶/۲	بسیار آلوده	۱۹۱۱/۸	بسیار آلوده	بعد از شهرک صنعتی آخولا
S ₁₃	۳۶۲۸/۲	بسیار آلوده	۱۸۲۳/۲	بسیار آلوده	روستای تازه‌کند
S ₁₄	۲۴۹۱/۴	بسیار آلوده	-	-	شهرستان ایلخچی
S ₁₅	۳۲۳۳/۹	بسیار آلوده	-	-	انتهای دشت
S ₁₆	۳۵۰۷/۶	بسیار آلوده	-	-	روستای خورخور



شکل ۴-۳۸- وضعیت کیفی مسیر رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص آلودگی رودخانه

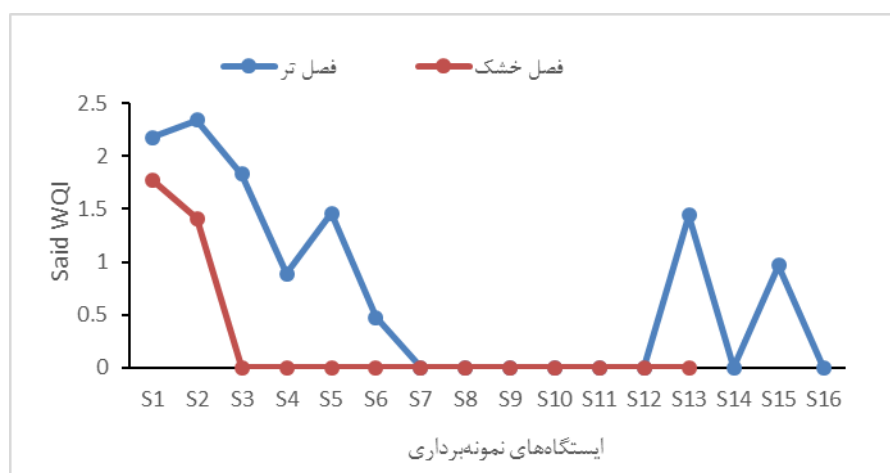
۴-۵-۴- شاخص سید (Said)

شاخص سید با توجه به پارامترهای لازم برای محاسبه این شاخص (اکسیژن محلول، فسفات، کدورت، کلی‌فرم مدفوعی و هدایت الکتریکی) برای نمونه‌های رودخانه آجی‌چای در طی فصل تر و خشک محاسبه گردید. نتایج حاصل از شاخص سید نشان داد در فصل تر نمونه‌های S₁ و S₂ با توجه به جدول رده‌بندی (جدول ۳-۹) در رده قابل قبول قرار گرفتند. نمونه‌های S₃، S₅ و S₁₃ در رده بد و نیاز به تغییر سیاست‌های مدیریتی و بقیه نمونه‌ها نیز در رده خیلی بد قرار گرفتند که بیان کننده ضرورت تغییر سیاست‌های مدیریتی است. در فصل خشک نیز به جز نمونه‌های S₁ و S₂ که در رده بد و نیاز به تغییر سیاست‌های مدیریتی داشتند بقیه نمونه‌های آب در رده خیلی بد قرار داشته و بنابراین اجرای سیاست‌های مدیریتی لازم و ضروری می‌باشد (جدول ۴-۱۴). با توجه به اهمیت پارامترهای هدایت الکتریکی، کلی‌فرم مدفوعی و کدورت در این شاخص و همچنین بالاتر بودن مقدار این پارامترها از حد مجاز، مخرج کسر در رابطه ریاضی شاخص زیاد بوده که در نتیجه سبب کاهش مقدار عددی شاخص گردیده است. همانطور که در شکل ۴-۳۹ نیز مشاهده می‌شود پایین‌ترین کیفیت آب مربوط به قسمت‌های میانی (S₇ تا S₁₂) می‌باشد که ناشی از تمرکز منابع آلاینده در این نواحی است. شکل ۴-۴۰ وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای را بر اساس شاخص سید در دوره تر و

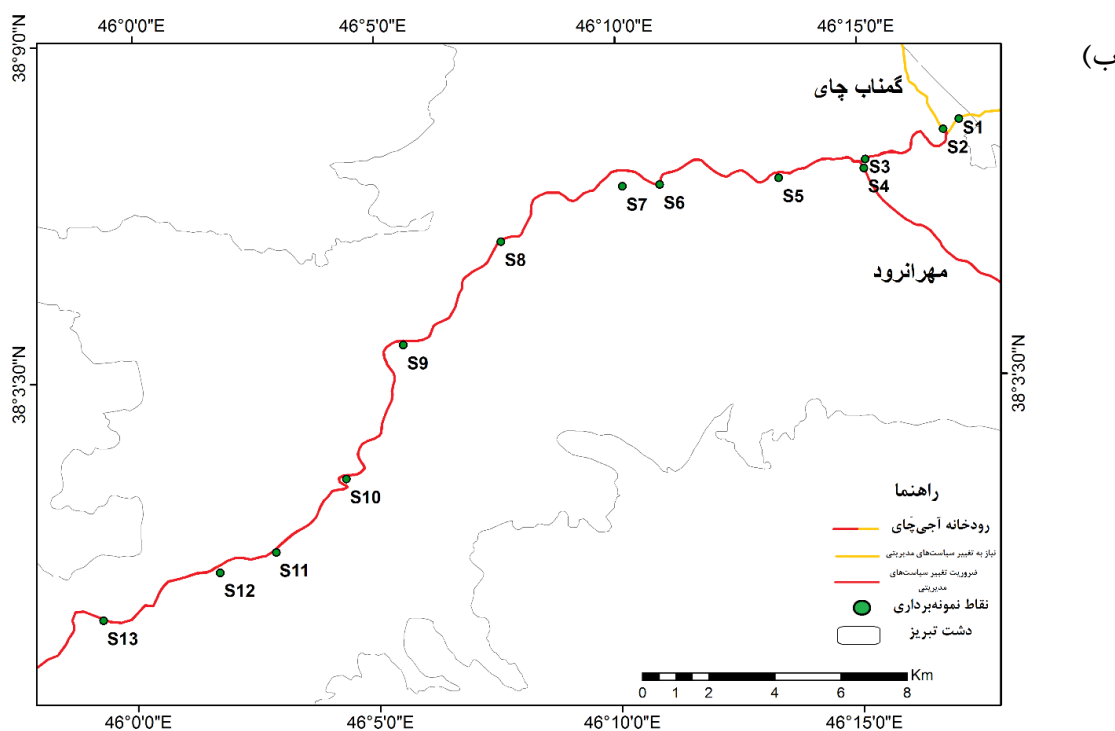
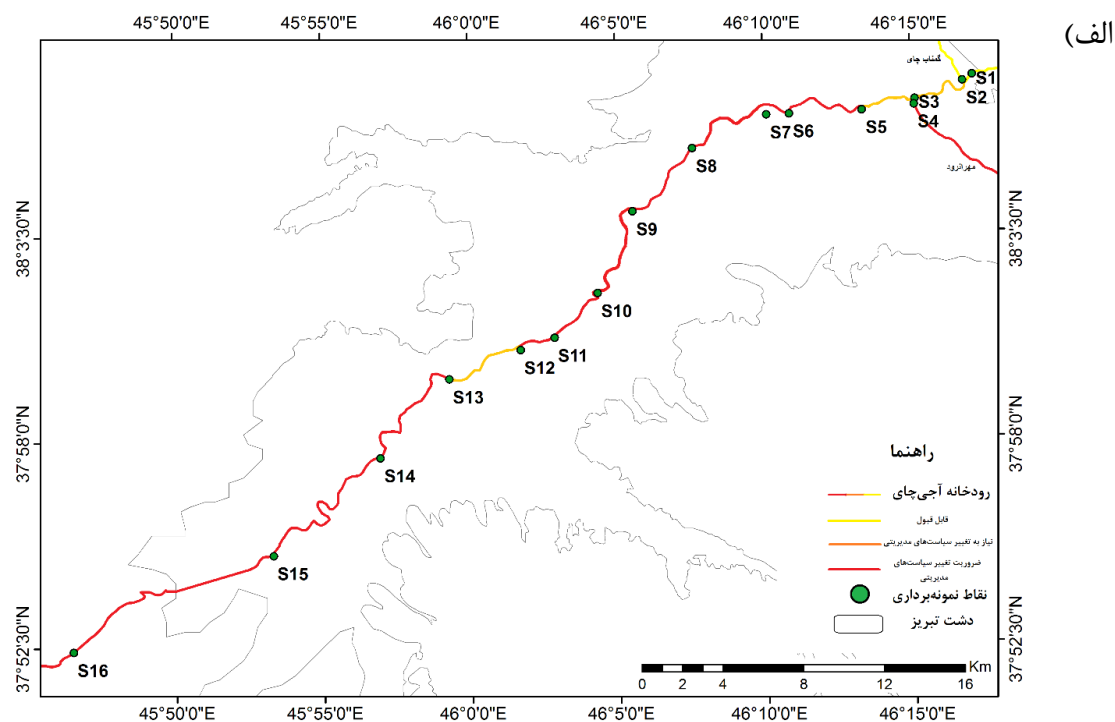
خشک نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۴- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی چای بر اساس شاخص سید

نام محل	فصل خشک		فصل تر		نمونه
	رده کیفی شاخص	عدد شاخص	رده کیفی شاخص	عدد شاخص	
ورودی رودخانه آجی چای	بد	۱/۸	قابل قبول	۲/۲	S ₁
انتهای شاخه فرعی گمناب چای	بد	۱/۴	قابل قبول	۲/۳	S ₂
بعد از کانال تخلیه فاضلاب رضواشهر و شیر پگاه	خیلی بد	صفر	بد	۱/۸	S ₃
انتهای شاخه فرعی مهران رود	خیلی بد	صفر	خیلی بد	۰/۹	S ₄
پایین تر از شهرک صنعتی شهید بهشتی	خیلی بد	صفر	بد	۱/۵	S ₅
نرسیده به تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز	خیلی بد	صفر	خیلی بد	۰/۵	S ₆
بعد از تصفیه‌خانه	خیلی بد	صفر	خیلی بد	صفر	S ₇
بعد از کانال تخلیه فاضلاب چرمشهر	خیلی بد	صفر	خیلی بد	صفر	S ₈
بعد از کانال پتروشیمی، ایران مایه و موتوزن	خیلی بد	صفر	خیلی بد	صفر	S ₉
بعد از کانال تخلیه پساب نیروگاه حرارتی	خیلی بد	صفر	خیلی بد	صفر	S ₁₀
نرسیده به شهرک صنعتی آخولا	خیلی بد	صفر	خیلی بد	صفر	S ₁₁
بعد از شهرک صنعتی آخولا	خیلی بد	صفر	خیلی بد	صفر	S ₁₂
روستای تازه کند	خیلی بد	صفر	بد	۱/۴	S ₁₃
شهرستان ایلخچی	-	-	خیلی بد	صفر	S ₁₄
انتهای دشت	-	-	خیلی بد	۰/۹	S ₁₅
روستای خورخور	-	-	خیلی بد	صفر	S ₁₆



شکل ۴-۳۹- وضعیت کیفی مسیر رودخانه آجی چای بر اساس شاخص سید



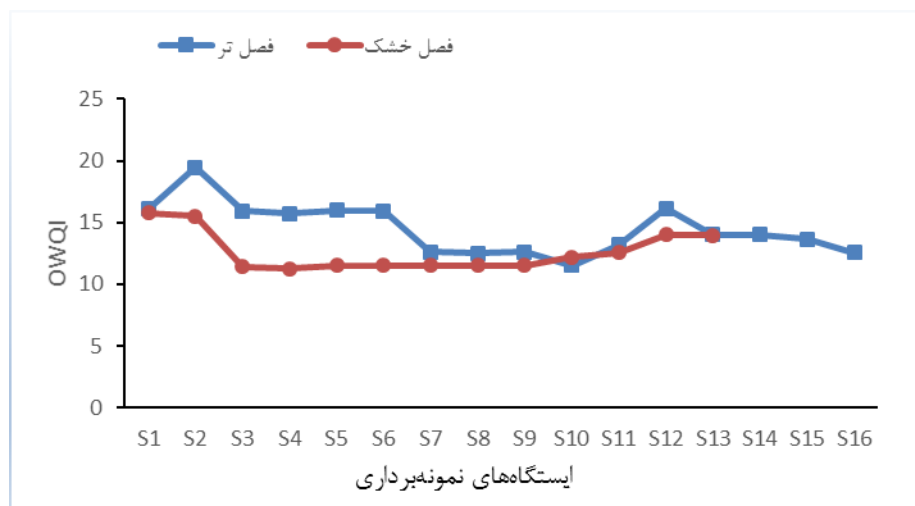
شکل ۴-۴۰- وضعیت کیفی رودخانه آبی چای بر اساس شاخص کیفی سید طی فصل تر (الف) و خشک (ب)

۴-۵-۵- شاخص اورگان (OWQI)

همانطور که قبلاً اشاره شد شاخص اورگان برای استفاده تفریحی مانند شنا و ماهیگیری مطرح شده است. با به دست آوردن مقادیر زیرشاخص‌ها به وسیله نمودارهای مربوطه (شکل ۳-۸)، عدد شاخص نهایی طبق رابطه ۳-۱۰ محاسبه گردید. بر اساس نتایج حاصل از این شاخص همه نمونه‌های آب را در فصل تر و خشک با توجه به جدول رده‌بندی کیفی (جدول ۳-۱۰)، در رده خیلی بد قرار می‌گیرند. با توجه به اهمیت پارامتر کلی‌فرم در این شاخص، بالا بودن مقادیر این پارامتر در آب رودخانه آجی‌چای در کاهش کیفیت آب رودخانه برای استفاده تفریحی مؤثر بوده است. نتایج حاصل از شاخص اورگان در جدول ۴-۱۵ و شکل ۴-۴۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۵- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص اورگان

نمونه	فصل تر		فصل خشک		نام محل
	عدد شاخص	رده کیفی شاخص	عدد شاخص	رده کیفی شاخص	
S_1	۱۶/۱	خیلی بد	۱۵/۷	خیلی بد	ورودی رودخانه آجی‌چای
S_2	۱۹/۴	خیلی بد	۱۵/۵	خیلی بد	انتهای شاخه فرعی گمناب‌چای
S_3	۱۵/۹	خیلی بد	۱۱/۴	خیلی بد	بعد از کانال تخلیه فاضلاب رضواشهر و شیر پگاه
S_4	۱۵/۷	خیلی بد	۱۱/۲	خیلی بد	انتهای شاخه فرعی مهران‌رود
S_5	۱۶/۰	خیلی بد	۱۱/۵	خیلی بد	پایین تر از شهرک صنعتی شهید بهشتی
S_6	۱۵/۹	خیلی بد	۱۱/۵	خیلی بد	نرسیده به تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز
S_7	۱۲/۵	خیلی بد	۱۱/۵	خیلی بد	بعد از تصفیه‌خانه
S_8	۱۲/۴	خیلی بد	۱۱/۴	خیلی بد	بعد از کانال تخلیه فاضلاب چرمشهر
S_9	۱۲/۵	خیلی بد	۱۱/۵	خیلی بد	بعد از کانال پتروشیمی، ایران مایه و موتوژن
S_{10}	۱۱/۵	خیلی بد	۱۲/۱	خیلی بد	بعد از کانال تخلیه پساب نیروگاه حرارتی
S_{11}	۱۳/۱	خیلی بد	۱۲/۵	خیلی بد	نرسیده به شهرک صنعتی آخولا
S_{12}	۱۶/۱	خیلی بد	۱۳/۹	خیلی بد	بعد از شهرک صنعتی آخولا
S_{13}	۱۳/۹	خیلی بد	۱۳/۹	خیلی بد	روستای تازه‌کند
S_{14}	۱۴/۰	خیلی بد	-	خیلی بد	شهرستان ایلخچی
S_{15}	۱۳/۶	خیلی بد	-	خیلی بد	انتهای دشت
S_{16}	۱۲/۵	خیلی بد	-	خیلی بد	روستای خورخور



شکل ۴-۴۱- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای بر اساس شاخص اورگان

۴-۵-۶- شاخص کیفی دینیوس (Dinius)

برای محاسبه این شاخص از دومین شاخص دینیوس با در نظر داشتن نوع مصارف آب استفاده شد. زیرشاخص‌ها با توجه به توابع مربوطه (جدول ۳-۱۱) محاسبه شدند. نتایج حاصل از این شاخص در جدول (۴-۱۶) ارائه گردیده است.

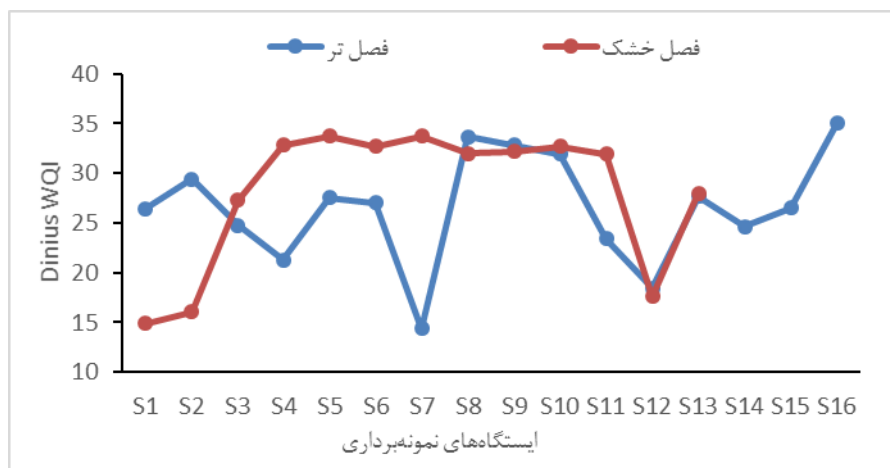
با توجه به نتایج حاصل از شاخص دینیوس اکثر نمونه‌های آب کیفیت پایینی داشته به طوری که برای مصارف مختلف باعث ایجاد محدودیت برای استفاده‌های خاص از آب شده است. برای مثال با توجه به نتایج به دست آمده، کیفیت آب برای مصارف عمومی در هر دو فصل تر و خشک در ناحیه غیر قابل قبول قرار دارد و برای مصارف تفریحی نیز برای هر دو فصل تر و خشک نشانه‌های آلودگی آب وجود داشته و نامناسب برای مصارف تفریحی، حتی بدون تماس با آب می‌باشد. کیفیت آب رودخانه آجی‌چای برای مصارف کشاورزی در همه نمونه‌ها در فصل تر در محدوده‌ای قرار می‌گیرند که آب موجود در آن ناحیه تنها جهت آبیاری محصولات کاملاً مقاوم کاربرد دارد. در فصل تر نمونه آب ایستگاه S7 و S12 برای کشاورزی در محدوده غیر قابل قبول قرار گرفت و در فصل خشک نیز همه نمونه‌های آب به جز نمونه‌های S1، S2 و S12 که در محدوده غیر قابل قبول برای کشاورزی قرار دارند، نمونه‌های دیگر آب تنها جهت آبیاری محصولات کاملاً مقاوم دارای کاربرد می‌باشند. کیفیت آب

رودخانه از لحاظ مصارف صنعتی نیز به جز نمونه S_7 و S_{12} (فصل تر) و نمونه‌های S_1 ، S_2 و S_{12} (فصل خشک) که در رده غیر قابل قبول قرار می‌گیرند همه نمونه‌های آب تنها جهت استفاده در صنایع سخت و غیر حساس دارای کاربرد می‌باشند.

با توجه به شکل ۴-۴۲ همانطور که مشاهده می‌گردد پایین‌ترین کیفیت آب مربوط به نمونه آب ایستگاه‌های S_7 و S_{12} در فصل تر و نمونه ایستگاه‌های S_1 و S_2 فصل خشک است که در فصل تر ناشی از تخلیه فاضلاب خام توسط کانال بای‌پاس تصفیه‌خانه تبریز و فاضلاب صنعتی تخلیه شده شهرک صنعتی آخولا به رودخانه و در فصل خشک نیز احتمالاً به دلیل EC بالای رودخانه آجی‌چای می‌باشد.

جدول ۴-۱۶- مقادیر عددی و رده‌بندی کیفی آب رودخانه آجی‌چای بر اساس دومین شاخص دینیوس

نمونه	عدد شاخص		نام محل
	فصل تر	فصل خشک	
S_1	۲۶/۴	۱۴/۹	ورودی رودخانه آجی‌چای
S_2	۲۹/۴	۱۶/۰	انتهای شاخه فرعی گمناب‌چای
S_3	۲۴/۷	۲۷/۲	بعد از کانال تخلیه فاضلاب رضواشهر و شیر پگاه
S_4	۲۱/۳	۳۲/۸	انتهای شاخه فرعی مهران‌رود
S_5	۲۷/۵	۳۳/۷	پایین‌تر از شهرک صنعتی شهید بهشتی
S_6	۲۷/۰	۳۲/۷	نرسیده به تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز
S_7	۱۴/۳	۳۳/۷	بعد از تصفیه‌خانه
S_8	۳۳/۶	۳۱/۹	بعد از کانال تخلیه فاضلاب چرمشهر
S_9	۳۲/۸	۳۲/۲	بعد از کانال پتروشیمی، ایران مایه و موتوژن
S_{10}	۳۱/۹	۳۲/۶	بعد از کانال تخلیه پساب نیروگاه حرارتی
S_{11}	۲۳/۴	۳۱/۹	نرسیده به شهرک صنعتی آخولا
S_{12}	۱۸/۴	۱۷/۶	بعد از شهرک صنعتی آخولا
S_{13}	۲۷/۶	۲۸/۰	روستای تازه‌کند
S_{14}	۲۴/۶	-	شهرستان ایلخچی
S_{15}	۲۶/۴	-	انتهای دشت
S_{16}	۳۵/۰	-	روستای خورخور



شکل ۴-۴۲- وضعیت کیفی رودخانه آجی‌چای در طول مسیر براساس شاخص دینیوس

۴-۵-۷- شاخص WQI

روش وزن‌دهی حسابی در WQI کیفیت آب را با توجه به درجه خلوص آن با استفاده از رایج‌ترین متغیرهای اندازه‌گیری کیفیت آب ارزیابی می‌کند. در محاسبه این شاخص از پارامترهای مختلف با توجه به نوع مصارف، استفاده گردید. پارامترهای در نظر گرفته شده در فصل سوم ذکر شده است. نتایج حاصل بر اساس نوع مصرف (کشاورزی، شرب و اکوسیستم‌های آبی) در فصل تر و خشک در جدول ۴-۱۷ ارائه شده است. نتایج حاصل از این شاخص نشان داد در هر دو فصل تر و خشک، کیفیت آب رودخانه در تمام طول مسیر خود از لحاظ مصارف شرب و اکوسیستم‌های آبی، با توجه به جدول ۳-۱۳ در کلاس E، با کیفیت نامناسب قرار دارد و برای مصارف کشاورزی نیز به جز نمونه S4 (مهران‌رود) که در هر دو فصل تر و خشک به ترتیب در رده بد (کلاس C) و خیلی بد (کلاس D) قرار دارند، همه نمونه‌های آب در رده نامناسب (کلاس E) قرار گرفته‌اند که این موضوع ناشی از شوری بالا به صورت زمین‌زاد و تخلیه انواع فاضلاب‌های حاصل از فعالیت‌های انسان‌زاد به رودخانه می‌باشد.

جدول ۴-۱۷ (الف) وضعیت کیفی نمونه‌های آب رودخانه آجی‌چای برای مصارف مختلف بر اساس شاخص WQI

نمونه	کشاورزی		شرب		اکوسیستم‌های آبی	
	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک
S_1	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_2	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_3	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_4	بد	خیلی بد	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_5	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_6	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_7	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_8	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_9	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_{10}	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_{11}	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_{12}	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_{13}	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
S_{14}	نامناسب	-	نامناسب	نامناسب	نامناسب	-
S_{15}	نامناسب	-	نامناسب	نامناسب	نامناسب	-
S_{16}	نامناسب	-	نامناسب	نامناسب	نامناسب	-

۴-۶- مقایسه شاخص‌های مورد استفاده در رده‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای

۴-۶-۱- مقایسه توصیفی شاخص‌های کیفی

شاخص‌های کیفی آب همانطور که قبلاً عنوان شد، دارای مزیت‌ها و معایبی می‌باشند. در این بخش سعی شده است مزایا و معایب شاخص‌های مورد استفاده، بررسی شده و شاخص مناسب‌تر معرفی گردد. برای رسیدن به این هدف نتایج شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی کیفی رودخانه آجی‌چای در جدول ۴-۱۸ ارائه گردیده است.

به طور کلی تفاوت در نتایج شاخص‌های کیفی آب در درجه اول به دلیل انواع پارامترهای مختلف به کار برده شده و تعداد این پارامترها و نیز وزن‌های در نظر گرفته شده برای هر پارامتر و همچنین

شیوه محاسباتی آنها است. شاخص‌های کیفی در زمینه‌های مختلف جغرافیایی، منطقه‌ای و مدیریتی توسعه یافته‌اند و هنوز هیچ روشی برای مقایسه کارایی شاخص‌ها وجود نداشته و تنها راه قضاوت در مورد مناسب بودن یا نبودن یک شاخص می‌تواند با توجه به اطلاعات تکمیلی، اعتبار اندازه‌گیری‌ها، شفافیت محاسبه آنها، ارتباط پارامترهای کلیدی و مقایسه نتایج آنها باشد (Abbasi., 2012).

ویژگی اصلی شاخص سید وابستگی آن به تعداد کمتری از پارامترها بوده که باعث محاسبه و استفاده آسانتر می‌شود. از محدودیت‌های این شاخص عدم نشان دادن تغییرات اتفاقی در کوتاه مدت می‌باشد، مگر اینکه برای بارها تکرار شده و برای مدت طولانی استفاده شود. شاخص سید بهترین نتیجه را در شرایط و مکان‌های نمونه‌برداری طبیعی (به جز در پایین دست دهانه رودها) ارائه می‌کند. شاخص اورگان نیز به طور خاص برای استفاده تفریحی و ماهیگیری بوده و مصارف دیگر را در نظر نمی‌گیرد. فرمول محاسبه این شاخص نسبت به تغییر شرایط حساس بوده و تأثیر این تغییرات اثر قابل توجهی بر کیفیت آب می‌گذارد. همچنین در این شاخص بدون در نظر گرفتن پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی مناسب نمی‌توان اطلاعات نهایی از کیفیت آب را به دست آورد. شاخص اورگان تغییرات در غلظت‌های مواد سمی را نیز در نظر نمی‌گیرد و با توجه به استفاده آن برای مصارف خاص تفریحی، نمی‌تواند تمام خطرات بهداشتی (مواد سمی، باکتری‌ها و فلزات) را ارزیابی کند. شاخص آلودگی رودخانه نیز پارامترهای کمتری را در نظر می‌گیرد. در این شاخص همچنین pH و مواد سمی در نظر گرفته نشده است. شاخص دینیوس و شاخص WQI نیز کیفیت آب را بر اساس مصارف مختلف ارزیابی می‌کنند. اما این شاخص‌ها مثل همه شاخص‌های دیگر دارای معایبی نیز می‌باشند. برای مثال این دو شاخص ممکن است اطلاعات کافی در مورد وضعیت واقعی کیفیت آب را ارائه نکنند و یا اینکه همه مصارف آب با یک شاخص نمی‌تواند برآورد شود.

شاخص کیفی **NSFWQI** پرکاربردترین شاخص در جهان بوده و از طرف سازمان محیط زیست ایران نیز مورد تأیید می‌باشد. محاسبه این شاخص آسان بوده و می‌توان از این شاخص برای ارزیابی بین

منطقه‌ای و شناسایی روند تغییرات کیفی رودخانه استفاده کرد. از بین دو فرم افزایشی و ضربی این شاخص، فرم ضربی آن به دلیل اینکه فاقد حساسیت از نظر اثر یک پارامتر بد بر روی شاخص کلی است، نسبت به فرم افزایشی آن دارای برتری می‌باشد. شاخص کیفیت آب ایران نیز مقادیری نزدیک به فرم ضربی $NSFWQI$ داشته و استفاده از این شاخص نیز برای پهنه‌بندی رودخانه مفید می‌باشد.

در مورد پهنه‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای با شاخص‌های اورگان، دینیوس و شاخص آلودگی رودخانه علاوه بر موارد ذکر شده در بالا، تأثیری که این شاخص‌ها به دلیل حساسیت بالا نسبت به اثر یک پارامتر بد بر نتایج کیفی آب می‌پذیرند و با توجه به اینکه به دلیل شرایط کیفی بد رودخانه و تخلیه انواع فاضلاب‌ها به آن، همه پارامترهای در نظر گرفته شده در این شاخص‌ها مقادیر بالایی داشته که این موضوع باعث بالا بردن حساسیت این شاخص‌ها در نشان دادن روند کیفی رودخانه آجی‌چای شده است و لذا تمام طول رودخانه را در رده خیلی بد طبقه‌بندی کرده است (جدول ۴-۱۸). شاخص‌های سید، $NSFWQI$ و شاخص $IRWQI_{SC}$ توانسته‌اند روند کیفی رودخانه را در رده‌های متوسط تا خیلی بد طبقه‌بندی کنند به همین خاطر این شاخص‌ها نسبت به شاخص‌های دیگر استفاده شده در این مطالعه برای پهنه‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای بهتر عمل می‌کنند.

به طور کلی با توجه به مطالب بیان شده در مقایسه شاخص‌ها، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در مورد پهنه‌بندی کیفی رودخانه آجی‌چای، شاخص $NSFWQI_m$ و $IRWQI_{SC}$ نسبت به شاخص‌های دیگر استفاده شده در این تحقیق، روند تغییرات کیفی رودخانه آجی‌چای را بهتر بیان می‌نماید. شاخص $NSFWQI_m$ کیفیت آب را در همه حالات آن از کیفیت خوب تا بد بهتر نشان داده و شاخص $IRWQI_{SC}$ نیز از نظر کیفی و از لحاظ مقایسه زمانی کیفیت، تفاوت کیفیت آب را بهتر نشان می‌دهد. بنابراین هر دو شاخص برای پهنه‌بندی این رودخانه مناسب بوده با این تفاوت که شاخص $NSFWQI_m$ در مواقعی که شرایط کیفی رودخانه آجی‌چای در وضعیت وخیم‌تری قرار داشته باشد (فصول خشک) نتیجه بهتری خواهد داشت.

جدول ۴-۱۸-الف) مقایسه نتایج حاصل از انواع شاخص‌های کیفی و وضعیت کیفی آب در طول مسیر رودخانه آجی‌چای (فصل تر)

Dinius WQI		RPI		OWQI		Said WQI		IRWQI		NSFWQI _m		NSFWQI _a		نمونه
فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	قابل قبول	بد	بد	متوسط	بد	متوسط	متوسط	S_1
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	قابل قبول	خیلی بد	بد	بد	بد	متوسط	متوسط	S_2
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	بد	S_3
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	بد	S_4
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	بد	بد	خیلی بد	بد	بد	بد	S_5
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	بد	خیلی بد	بد	بد	بد	S_6
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	S_7
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	S_8
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	S_9
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	S_{10}
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	بد	S_{11}
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	بد	S_{12}
خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	خیلی بد	خیلی بد	بد	بد	بد	S_{13}
-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	بد	S_{14}
-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	بد	-	بد	S_{15}
-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	خیلی بد	-	بد	S_{16}

۴-۶-۲- مقایسه شاخص‌های کیفی با روش جیل جانوویک^۱

در این روش، شاخص‌های مورد بررسی دو به دو در مقابل همدیگر قرار گرفته و خط جدا کننده‌ای محور تلاقی دو شاخص را از هم جدا می‌کند. در روش جیل جانوویک شاخصی بهتر به حساب می‌آید که مقادیر آن در طرف مقابل خط جدا کننده قرار گیرد. زیرا در آن صورت مجموع و میانگین تفاوت‌ها در این شاخص بیش از شاخص دوم است که نقاط در طرف آن واقع شده‌اند. لذا شاخص اول تغییرات ایجاد شده در آب را بهتر نشان خواهد داد (نیکونهاد و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به اینکه شاخص آلودگی رودخانه یک شاخص افزایشی است و بقیه شاخص‌های مورد استفاده مقیاس کاهشی دارند، مقایسه این شاخص با این روش منطقی نبوده و انجام نشده است. روش جیل جانوویک برای مقایسه شاخص سید با سایر شاخص‌ها نیز به دلیل رتبه‌بندی آن با اعداد کوچکتر (حداکثر ۳) و نیز نتایج نسبتاً یکسان این شاخص (اکثر عدد صفر می‌باشد)، باعث بروز خطا شده و نمی‌تواند تفاوت‌ها را به درستی نشان دهد. شاخص WQI نیز به دلیل نتایج عددی جداگانه در انواع مصارف در این روش مقایسه نگردیده است.

مقایسه شاخص‌های عمومی کیفی آب مثل مقایسه شاخص‌های $NSFWQI_m$ و $NSFWQI_a$ در فصول تر و خشک (شکل ۴-۴۳) نشان می‌دهد همه نقاط بالای خط جدا کننده دو شاخص قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر پراکنش و مجموع تفاوت اعداد در شاخص $NSFWQI_m$ بیشتر از شاخص $NSFWQI_a$ است. لذا توانایی شاخص $NSFWQI_m$ نسبت به شاخص $NSFWQI_a$ در نشان دادن تفاوت بین کیفیت خوب تا بد آب رودخانه آجی‌چای بهتر است.

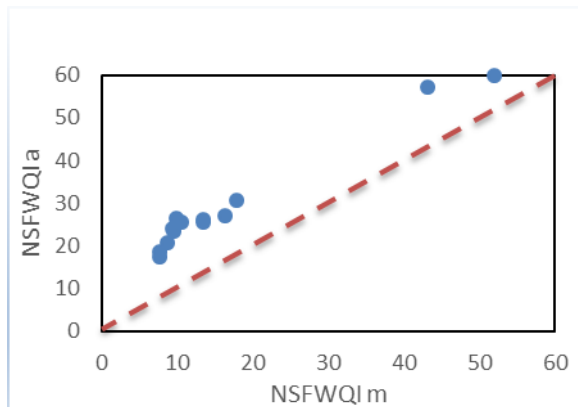
^۱ Gil janovic

مقایسه شاخص‌های عمومی کیفی آب مثل شاخص $NSFWQI_m$ و $IRWQI_{SC}$ (شکل ۴-۴۳) نشان می‌دهد در فصل تر همه نقاط زیر خط جدا کننده دو شاخص $NSFWQI_m$ و شاخص $IRWQI_{SC}$ قرار می‌گیرد در حالیکه در فصل خشک اکثر نقاط بالای خط جدا کننده قرار گرفته است، بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در فصل تر شاخص $IRWQI_{SC}$ نسبت به شاخص $NSFWQI_m$ تفاوت کیفیت‌های خوب تا بد آب را بهتر نشان می‌دهد، در حالیکه در فصل خشک احتمالاً به دلیل حاکم بودن شرایط بد زیست محیطی شاخص $NSFWQI_m$ تفاوت کیفیت آب را بهتر از شاخص $IRWQI_{SC}$ نشان داده است.

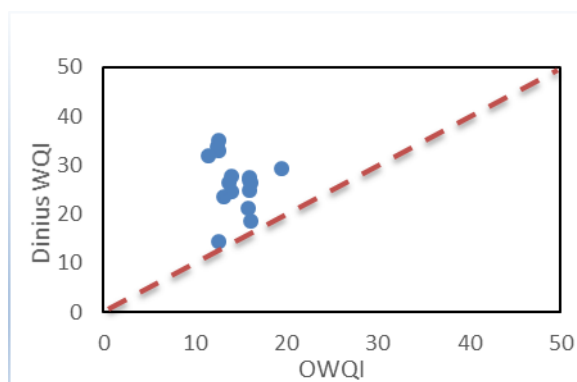
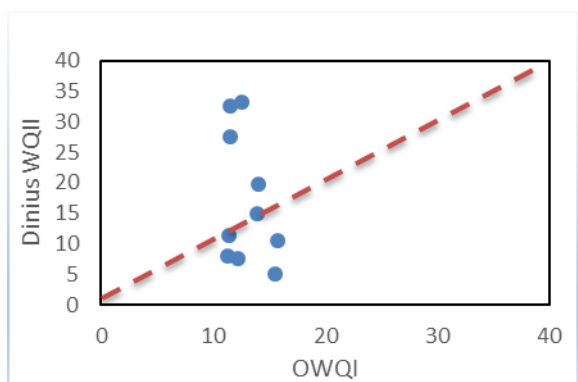
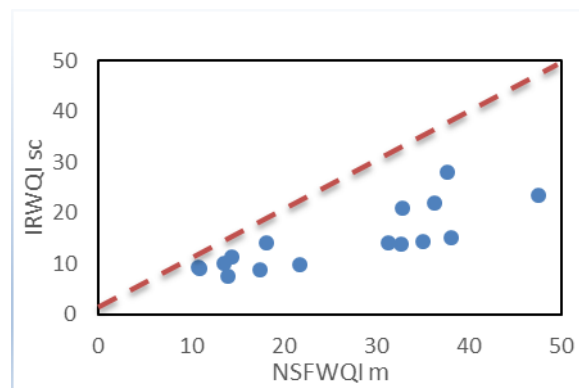
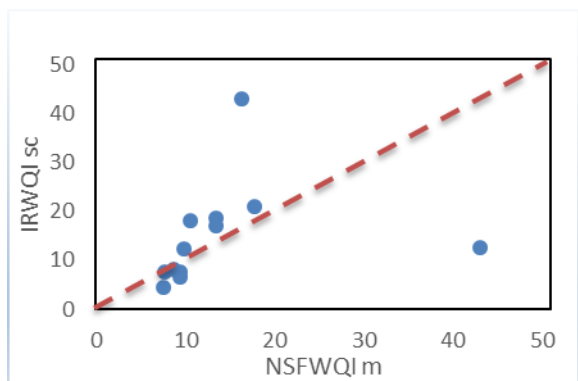
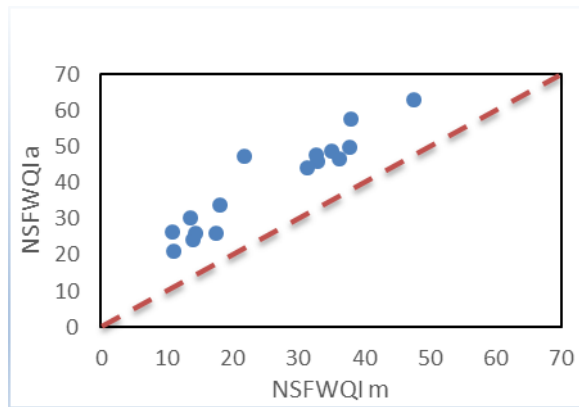
مقایسه دو شاخص مصارف ویژه آب مثل شاخص‌های دینیوس و اورگان (شکل ۴-۴۳) نشان می‌دهد اکثر نقاط بالای خط جدا کننده این دو شاخص در هر دو فصل تر و خشک قرار می‌گیرند و بنابراین هر چند شاخص دینیوس مصارف بیشتری را در نظر می‌گیرد، لیکن شاخص اورگان تفاوت کیفیت آب را بهتر از شاخص دینیوس نشان می‌دهد.

مقایسه شاخص‌ها بدون در نظر گرفتن نوع مصارف آنها (شکل ۴-۴۴) نشان داد، در فصل تر شاخص $IRWQI_{SC}$ نسبت به شاخص اورگان تفاوت کیفیت آب را بهتر نشان می‌دهد. همچنین شاخص‌های دینیوس و اورگان نیز نسبت به شاخص $NSFWQI_m$ تفاوت کیفیت آب را بهتر نشان داد. لیکن در فصل خشک شاخص $IRWQI_{SC}$ در نشان دادن کیفیت آب همانند شاخص اورگان عمل کرده و شاخص $NSFWQI_m$ نسبت به شاخص‌های دینیوس و اورگان کیفیت آب را بهتر بیان می‌کند که این موضوع احتمالاً به شرایط بد زیست محیطی رودخانه آجی‌چای مربوط می‌شود.

فصل خشک

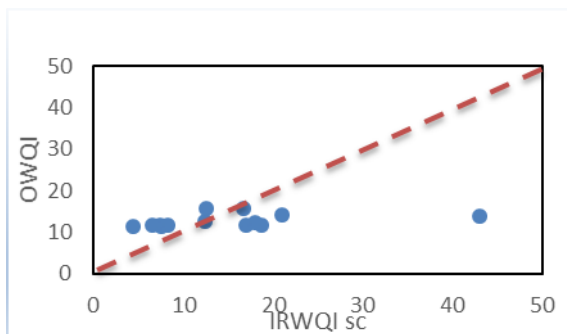


فصل تر

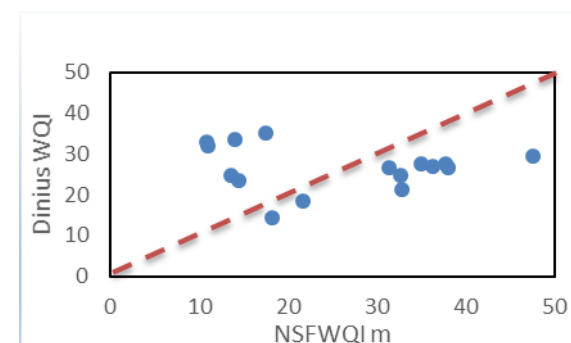
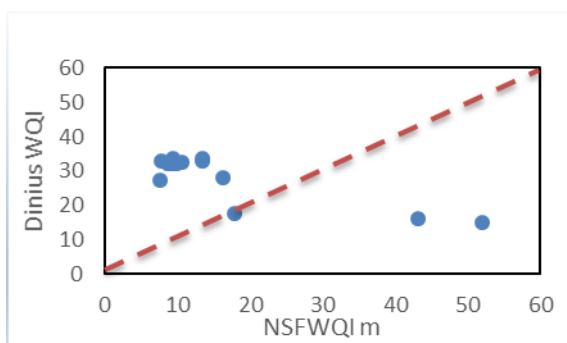
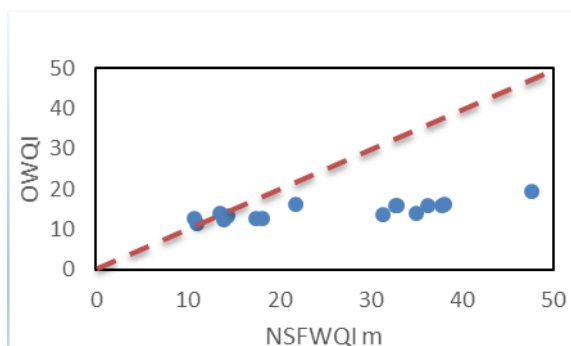
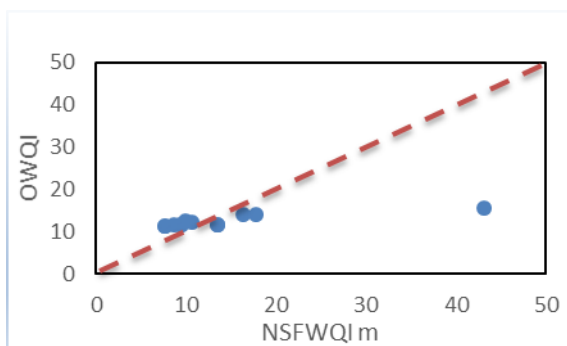
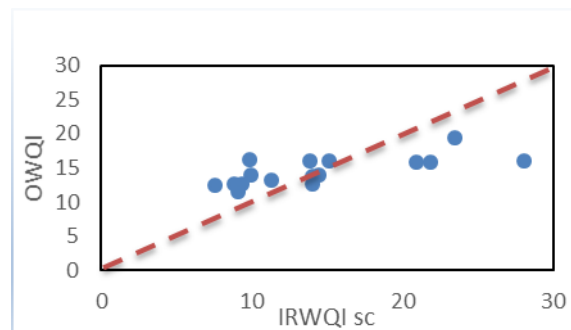


شکل ۴-۴۳- مقایسه شاخص‌های کیفی با روش جیل جانویک در فصل تر (سمت راست) و خشک (سمت چپ)

فصل خشک



فصل تر



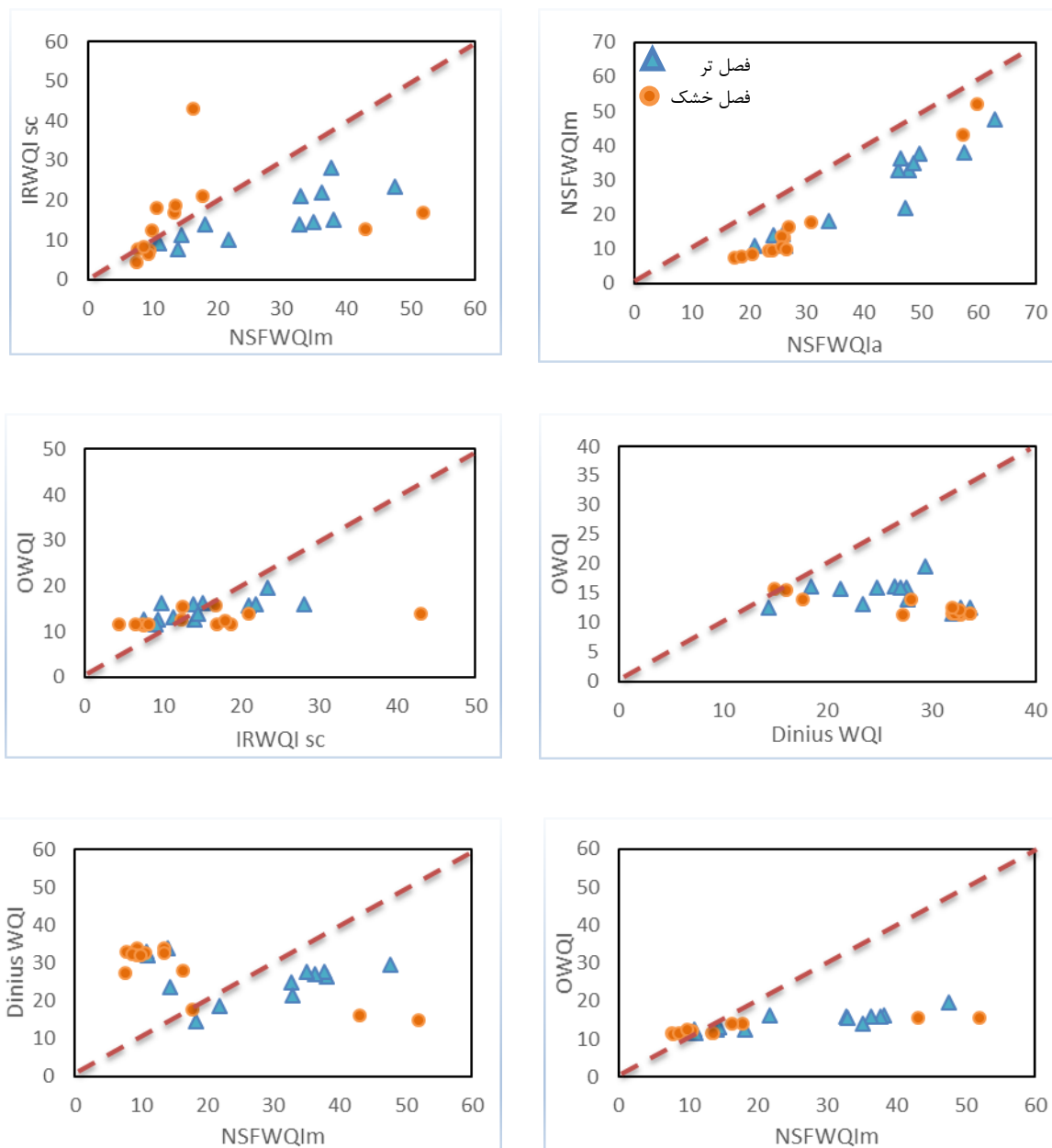
شکل ۴-۴۴- مقایسه شاخص‌های کیفی با روش جیل جانویک بدون در نظر گرفتن نوع مصارف در فصل تر (سمت راست) و خشک (سمت چپ)

برای مقایسه شاخص‌های کیفی در زمان‌های مختلف با روش جیل جانویک هر شاخص برای دو فصل تر و خشک به صورت توأم نشان داده شد (شکل ۴-۴۵) مشاهده می‌شود شاخص $NSFWQI_m$ از لحاظ زمانی نسبت به شاخص $NSFWQI_a$ به دلیل قرار گرفتن همه نقاط

زیر خط جداکننده دو شاخص، تفاوت کیفیت آب را برای کیفیت‌های خوب تا بد بهتر نشان می‌دهد. از مقایسه شاخص‌های $NSFWQI_m$ و $IRWQI_{SC}$ ، مشخص می‌گردد با قرار گرفتن اکثر نقاط زیر خط جداکننده، شاخص $IRWQI_{SC}$ تفاوت بین کیفیت آب را در زمان‌های مختلف بهتر نشان می‌دهد و در نهایت با مقایسه بین شاخص‌های دینیوس و شاخص اورگان، شاخص اورگان بهتر از شاخص دینیوس تفاوت‌ها را نشان داد.

با مقایسه شاخص‌ها از نظر زمانی بدون در نظر گرفتن نوع مصارف آنها (شکل ۴-۴۵)، مشاهده گردید شاخص $IRWQI_{SC}$ از نظر نشان دادن تفاوت زمانی کیفیت آب تقریباً شبیه شاخص اورگان عمل می‌کند و شاخص‌های اورگان و دینیوس نیز بهتر از شاخص $NSFWQI_m$ می‌باشند.

در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری نمود که شاخص $NSFWQI_m$ هم از لحاظ نشان دادن کیفیت‌های مختلف آب و هم از لحاظ نشان دادن کیفیت آب در زمان‌های مختلف نسبت به شاخص $NSFWQI_a$ دارای برتری می‌باشد. با مقایسه شاخص $NSFWQI_m$ نسبت به شاخص $IRWQI_{SC}$ ، شاخص $IRWQI_{SC}$ از لحاظ نشان دادن انواع کیفیت و مقایسه کیفیت آب در زمان‌های مختلف بهتر عمل کرده و شاخص $NSFWQI_m$ فقط برای نشان دادن کیفیت‌های خوب و بد در شرایط بد زیست محیطی مناسب می‌باشد. شاخص اورگان در مقایسه با شاخص دینیوس از لحاظ نشان دادن کیفیت‌های مختلف و هم از لحاظ نشان دادن کیفیت در زمان‌های مختلف بهتر عمل می‌نماید.



شکل ۴-۴- مقایسه شاخص‌های کیفی با استفاده از روش جیل جانویک در زمان‌های مختلف

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادہ

رودخانه آجی چای یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین رودخانه‌های جاری در استان آذربایجان شرقی و یکی از بزرگترین رود تأمین کننده آب ورودی به دریاچه ارومیه بوده که از دشت تبریز عبور می‌نماید. این رودخانه در مسیر عبور خود به دلیل وجود منابع آلاینده و تمرکز آنها در دشت تبریز و بنابراین تخلیه انواع فاضلاب‌ها، مستعد آلودگی بوده و لذا بررسی کیفی رودخانه حایز اهمیت می‌باشد. در این فصل نتایج حاصل از این تحقیق که با هدف پایش و پهنه‌بندی کیفی رودخانه آجی چای با استفاده از شاخص‌های کیفی در محدوده دشت تبریز انجام شده ارائه می‌شود و در انتها پیشنهاداتی در راستای تکمیل مطالعات ارائه می‌گردد.

۵-۱- ارزیابی هیدروشیمیایی رودخانه آجی چای

- میانگین دمای اندازه‌گیری شده آب رودخانه آجی چای در فصل تر و خشک به ترتیب $21/6$ و $24/7$ درجه سانتی‌گراد و در حد طبیعی می‌باشد. کاهش دما در ایستگاه‌های ۵ و ۶ احتمالاً به دلیل تأثیر فاضلاب تخلیه شده از شهرک صنعتی بهشتی بوده است.

- میزان کدورت به طور میانگین در فصل تر و خشک به ترتیب 842 NTU و 256 NTU و جامدات معلق به ترتیب $1575/3$ و $637/8$ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. مقادیر بالاتر کدورت و جامدات معلق در قسمت‌های بالا دست رودخانه آجی چای به خصوص در شاخه فرعی گمناب چای احتمالاً به دلیل عبور رودخانه با دبی زیاد عمدتاً از سازند قرمز بالایی بوده که به تدریج به سمت پایین دست از میزان مواد معلق و کدورت به دلیل کاهش شیب و سرعت رودخانه و در نتیجه رسوب مواد معلق کاسته می‌شود.

- میانگین هدایت الکتریکی رودخانه آجی چای در فصل تر $4173/6$ میکروزیمنس بر سانتیمتر و در فصل خشک 6872 میکروزیمنس بر سانتیمتر می‌باشد. مقادیر EC در هر دو فصل در اولین ایستگاه در بالادست به دلیل عبور رودخانه آجی چای از سازند قرمز بالایی (سری میوسن) زیاد می‌باشد. در

ادامه مسیر دبی بیشتر شاخه فرعی مهران رود و EC کمتر این شاخه فرعی نسبت به ایستگاه‌های قبلی خود، باعث کاهش مقادیر EC در پایین دست شده است. مقادیر EC در فصل تر به دلیل نقش بیشتر شاخه اصلی در تأمین دبی رودخانه بالاتر می‌باشد. در فصل خشک دبی رودخانه عمدتاً متأثر از شاخه فرعی مهران رود بوده که با توجه به کیفیت مناسب‌تر آن باعث کاهش EC در فصل خشک در مقایسه با فصل تر شده است.

- میانگین pH رودخانه آجی‌چای در فصل تر و خشک به ترتیب ۶/۸ و ۷/۷ می‌باشد. به طور کلی میزان pH در فصل خشک به دلیل تأثیر بیشتر رودخانه مهران رود در دبی رودخانه افزایش یافته و در هر دو فصل تر و خشک افزایش نسبتاً محسوسی به سمت پایین دست نشان می‌دهد. افزایش pH رودخانه آجی‌چای به ویژه در ایستگاه‌های انتهایی در فصل خشک احتمالاً به دلیل ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به رودخانه می‌باشد.

- در تعیین تیپ و رخساره نمونه‌های آب و تشخیص فرآیند غالب از نمودار پایپر و شولر استفاده گردید. از لحاظ کاتیونی، کاتیون‌های سدیم و کلسیم غالب بوده و به لحاظ آنیونی به جز نمونه رودخانه مهران رود تمامی نمونه‌ها در فصل تر تیپ غالب کلروره نشان می‌دهند. در نمونه آب مهران رود هیچ تیپ آنیونی غالب نمی‌باشد. در فصل تر همه نمونه‌های آب از لحاظ آنیونی به سمت نمونه‌های آب شاخه اصلی (ورودی دشت) و گمناب‌چای متمایل بوده و در فصل خشک نیز همه نمونه‌های آب به سمت موقعیت نمونه آب مهران رود کشیده می‌شوند. این موضوع نشان دهنده نقش بیشتر شاخه اصلی در فصل تر و شاخه فرعی مهران رود در فصل خشک در تأمین دبی قسمت‌های پایین دست رودخانه می‌باشد. با رسم نمودار شولر نیز این موضوع اثبات گردید، به طوری که در فصل تر همه نمونه‌های آب به طور مشخص در محلی متفاوت نسبت به نمونه آب مهران رود قرار گرفتند، در حالیکه در فصل خشک به موقعیت نمونه آب مهران رود نزدیکتر می‌باشند.

- به دلیل عبور رودخانه عمدتاً از سازند قرمز با محتوایی از مارن قرمز همراه با ژئپس و کنگلومرا،

نمک (هالیت، سیلویت، اپسومیت و انیدریت) غلظت یون‌های کلر، سدیم، کلسیم و سولفات در مقایسه با سایر یون‌ها بیشتر می‌باشد. نقش شاخه فرعی مهران‌رود در تغییرات غلظت عناصر اصلی در فصل خشک مشهود است.

- میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده نیتрат رودخانه آجی‌چای در فصل تر و خشک به ترتیب برابر ۱۷/۱ و ۱۸/۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقادیر بالای نیترات در قسمت‌های میانی رودخانه در فصل تر به تخلیه فاضلاب و پساب تصفیه خانه فاضلاب تبریز و در فصل خشک ناشی از تخلیه فاضلاب خام شهری و صنعتی بوده است. کاهش نیترات در پایین دست رودخانه آجی‌چای در فصل خشک احتمالاً به دلیل فرآیند دنیتریفیکاسیون بر اثر کاهش اکسیژن محلول و سرعت جریان آب می‌باشد.

- میانگین غلظت فسفات در نمونه‌های رودخانه آجی‌چای در فصل تر و خشک به ترتیب برابر ۱/۶ و ۸/۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. غلظت فسفات در همه نمونه‌های آب بیشتر از حد مجاز آب شرب ایران (۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) بوده به طوری که به سمت پایین دست رودخانه غلظت آن افزایش نشان می‌دهد. میزان فسفات در فصل خشک بیشتر از فصل تر اندازه‌گیری گردید که با توجه به بالا بودن غلظت فسفات در مهران‌رود و نقش آن در تأمین دبی و همچنین تجزیه مواد آلی با توجه به بالا بودن میزان TOC در آن قابل توجیه می‌باشد. به طور کلی غلظت فسفات مشابه نیترات در قسمت‌های ابتدایی (بعد از وارد شدن رودخانه آجی‌چای به دشت تبریز) و بخش‌های میانی رودخانه به دلیل تمرکز منابع آلاینده و تخلیه فاضلاب افزایش یافته است.

۵-۱-۱- ارزیابی آلودگی عناصر سمی رودخانه آجی‌چای

- از میان عناصر اندازه‌گیری شده در رودخانه آجی‌چای، متوسط غلظت آرسنیک در فصل تر و خشک به ترتیب برابر ۶۷/۱ و ۵۰/۶ میکروگرم بر لیتر بوده که در همه نمونه‌های آب مقادیر آن بالاتر از حد مجاز آب شرب (۱۰ میکروگرم بر لیتر) نشان داده است. علاوه بر منشأ زمین‌زاد، آرسنیک در برخی

نواحی به دلیل تخلیه فاضلاب خام شهری و فاضلاب صنعتی در افزایش یافته است. در بررسی سایر عناصر سنگین و سمی غلظت عناصری مثل کادمیوم، منگنز، نیکل، سرب، مولیبدن، کبالت، روی، آهن و آلومینیوم بیشتر منشأ زمین‌زاد تشخیص داده شده و افزایش غلظت آنها در برخی نواحی نیز به دلیل تخلیه انواع فاضلاب‌ها و رواناب کشاورزی به داخل رودخانه معرفی شده است. غلظت عناصر مس، باریوم و کروم در رودخانه آجی‌چای بیشتر از منشأ انسان‌زاد بوده به طوری که با توجه به استفاده وسیع از کروم برای دباغی چرم در چرم‌شهر، مقدار آن به صورت محسوس در رودخانه آجی‌چای افزایش یافته است.

۵-۱-۲- ارزیابی آلودگی آلی و بیولوژیکی رودخانه آجی‌چای

- به منظور بررسی میزان مواد آلی در آب، از خواص مرتبط با آن یعنی اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و بیولوژیکی (BOD) و نیز از کربن آلی کل (TOC) استفاده شده است. اکسیژن محلول در ایستگاه‌های ابتدایی مسیر جریان بالاتر بوده که ناشی از ورود آب سالم‌تر به محدوده در اثر رواناب‌های سطحی می‌باشد.

- مقادیر TOC در فصل خشک با توجه به دبی کم رودخانه بیشتر از فصل تر می‌باشد که این موضوع به تخلیه فاضلاب خام شهری و تخلیه فاضلاب صنعتی ارتباط داده شده است. مهران‌رود با داشتن مقادیر بالای TOC در فصل خشک در بالا بودن مقدار TOC در ایستگاه‌های پایین دست نقش موثری داشته است.

- میزان اکسیژن خواهی شیمیایی و بیولوژیکی در قسمت‌های میانی رودخانه آجی‌چای افزایش نشان داده است که این افزایش با کاهش اکسیژن محلول و افزایش میزان TOC در این نواحی هماهنگی داشته و نشان‌دهنده تأثیر فاضلاب و پساب‌های صنعتی ورودی به رودخانه آجی‌چای و آلودگی آب آن می‌باشد.

- آلودگی بیولوژیکی بعد از عبور شاخه اصلی رودخانه آجی‌چای از شهر افزایش داشته که بیانگر منشأ

انسانزاد آن می باشد. نسبت فیکال کلی فرم به توتال کلی فرم در هر دو فصل بالای ۰/۱ بوده که منشأ انسانی کلی فرم ها را به اثبات می رساند. روند تغییر تعداد کلی فرم ها به خصوص در فصل خشک با تغییرات اکسیژن محلول هماهنگی بالایی نشان می دهد.

۵-۲- ارزیابی کیفیت رودخانه آجی چای برای مصارف کشاورزی

نتایج حاصل از نمودار اصلاح شده ویلکاکس نشان می دهد آب رودخانه در فصل تر به جز نمونه آب مهران رود تمامی نمونه ها در رده نامناسب قرار می گیرد. در فصل خشک به دلیل نقش بیشتر مهران- رود در تأمین دبی رودخانه، نمونه های آب بعد از این شاخه فرعی به لحاظ مصارف کشاورزی در رده متوسط تا نامناسب قرار می گیرند.

۵-۳- ارزیابی شاخص آلودگی رودخانه آجی چای

- میانگین شاخص فلزی (MI) رودخانه آجی چای در فصل تر و خشک به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۱/۵ می باشد. از لحاظ میزان تأثیرگذاری بر سلامت انسان، همه نمونه های آب در رده قوی و خطرناک قرار داشتند که نشان دهنده آلودگی رودخانه آجی چای به فلزات می باشد.

- میانگین شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) رودخانه آجی چای در فصل تر و خشک به ترتیب ۲۹۵ و ۳۴۵ می باشد که مقادیر بالایی داشته و نشان دهنده آلودگی رودخانه آجی چای نسبت به عناصر سنگین می باشد. آلودگی در ایستگاه های ابتدای مسیر جریان منشأ زمین زاد داشته که در فصل خشک به دلیل پدیده تبخیر افزایش بیشتری نشان داده است. شاخه فرعی مهران رود در فصل خشک در کاهش آلودگی ایستگاه های پایین دست موثر بوده است.

۵-۴- پهنه بندی رودخانه آجی چای با استفاده از شاخص های کیفی

- فرم های افزایشی و ضربی شاخص کیفی NSFQI، در فصل تر به ترتیب با میانگین ۳۹/۸ و ۲۵/۸

و در فصل خشک به ترتیب با میانگین ۲۹/۵ و ۱۶/۸، نشان دهنده کیفیت پایین تر رودخانه در فصل خشک نسبت به فصل تر می باشد. بر اساس این شاخص نمونه های ابتدای مسیر جریان (ورودی دشت) در هر دو فصل نسبت به ایستگاه های پایین دست کیفیت بهتری داشته و در رده متوسط قرار می گیرند. نمونه های مربوط به نواحی میانی و انتهایی دشت به دلیل تمرکز انواع آلاینده ها و تخلیه فاضلاب به رودخانه، پایین ترین کیفیت را نشان داده و در رده خیلی بد قرار گرفتند.

- با محاسبه شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{sc}$) با میانگین عددی ۱۴/۵ در فصل تر و ۱۴/۸ در فصل خشک نشان می دهد کیفیت آب رودخانه آجی چای به دلیل ورود فاضلاب خام شهری و صنعتی به خصوص در نواحی میانی دشت دارای کیفیت بد تا خیلی بد می باشند.

- نتایج حاصل از شاخص آلودگی رودخانه (RPI) نشان داد همه نمونه های برداشت شده از رودخانه کیفیت پایینی داشته و در رده بسیار آلوده قرار می گیرند. میانگین این شاخص در فصل تر ۴۳۰۸ و در فصل خشک ۳۹۵۰ می باشد. بالا بودن مقادیر مواد آلی و مواد مغذی ناشی از فعالیت های انسانزاد در طول مسیر رودخانه بر آلودگی بسیار بالای آن نقش بسزایی داشته است.

- بر اساس شاخص سید (Said) نمونه های آب رودخانه در فصل تر در ایستگاه های ورودی به دشت کیفیت قابل قبولی داشته و تمامی نمونه های آب در فصل تر و خشک دارای کیفیت پایین تری بوده است که بر این اساس نیاز به تغییر سیاست های مدیریتی الزام آور بوده و در برخی نواحی ضرورت اجرای سیاست های مدیریتی دیده می شود.

- میانگین مقادیر محاسبه شده شاخص اورگان (OWQI) در فصل تر و خشک به ترتیب ۱۴/۵ و ۱۲/۶ بوده که نشان از کیفیت بد رودخانه در فصل خشک نسبت به فصل تر دارد. بر طبق ارزیابی کیفی این شاخص، همه نمونه های آب به دلیل بالا بودن میزان کلی فرم و نیتروژن و کاهش اکسیژن محلول، در هر دو فصل تر و خشک در رده خیلی بد قرار داشته و لذا آب رودخانه آجی چای برای مصارف تفریحی آلوده می باشد.

- میانگین عددی شاخص دینیوس ($Dinius\ WQI$) در رودخانه آجی چای در فصل تر و خشک به ترتیب $26/5$ و 28 می باشد که نتایج حاصل نشان دهنده کیفیت غیر قابل قبول آب برای مصارف عمومی در هر دو فصل می باشد. برای مصارف تفریحی نیز برای هر دو فصل تر و خشک نشانه های آلودگی آب وجود داشته است. کیفیت آب رودخانه آجی چای برای مصارف کشاورزی در اکثر نمونه ها در محدوده ای قرار می گیرند که تنها جهت آبیاری محصولات کاملاً مقاوم کاربرد دارد. کیفیت آب رودخانه از لحاظ مصارف صنعتی اکثراً در رده ای قرار گرفتند که تنها در صنایع سخت و غیر حساس قابل استفاده می باشد.

- برای پهنه بندی کیفی رودخانه برای مصارف کشاورزی، شرب و اکوسیستم های آبی نیز از شاخص کیفی WQI استفاده گردید. این شاخص نشان داد در فصل تر و خشک، کیفیت آب رودخانه از لحاظ مصارف شرب و اکوسیستم های آبی نامناسب بوده و برای مصارف کشاورزی نیز به جز نمونه مهران رود که در هر دو فصل به ترتیب در رده بد و خیلی بد قرار داشت، همه نمونه های آب در رده نامناسب قرار دارند. این موضوع احتمالاً به دلیل شوری بالا با منشأ زمین زاد و تخلیه انواع فاضلاب های حاصل از فعالیت های انسان زاد به رودخانه می باشد.

- با مقایسه توصیفی شاخص های کیفی مشاهده گردید شاخص های سید، $NSFWQI$ و شاخص $IRWQI_{sc}$ به دلیل نشان دادن روند تغییرات کیفی آب مناسب تر از دیگر شاخص ها بودند و از میان دو فرم افزایشی و ضربی شاخص $NSFWQI$ ، فرم ضربی آن برای نشان دادن روند تغییرات کیفی در شرایط بد زیست محیطی (در مورد رودخانه آجی چای در فصول خشک) رودخانه مناسب تر می باشد.

- با مقایسه شاخص های کیفی با استفاده از روش جیل جانویک، شاخص $NSFWQI_m$ و شاخص $IRWQI_{sc}$ برای پهنه بندی رودخانه مناسب تشخیص داده شد که در این میان شاخص $IRWQI_{sc}$ از لحاظ مقایسه کیفی و زمانی نسبت به شاخص $NSFWQI_m$ برتری دارد. استفاده از شاخص

$NSFWQI_m$ در مورد رودخانه آجی چای در فصول خشک نتیجه بهتری خواهد داشت.

- در مورد شاخص‌های مصارف ویژه مثل شاخص WQI، اورگان و دینیوس، شاخص اورگان از لحاظ مقایسه کیفی و زمانی نسبت به شاخص دینیوس برتری داشته، لیکن شاخص WQI و به‌خصوص شاخص دینیوس به دلیل اینکه مصارف بیشتری را در نظر می‌گیرند قابل توجه می‌باشند.

۵-۵- پیشنهادها

- ارزیابی کیفیت رودخانه آجی چای و شاخه‌های فرعی آن از محل سرچشمه تا محل تخلیه آن به دریاچه ارومیه در فصول مختلف برای پهنه‌بندی کیفی کل رودخانه
- بررسی ارتباط و تأثیر رودخانه آجی چای بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه
- جلوگیری از استفاده کشاورزان از آب رودخانه به دلیل تخلیه فاضلاب خام به آن
- بررسی آلودگی فلزی و میکروبی خاک بر زیست دسترس‌پذیری گیاهان مورد کشت در زمین-های کشاورزی اطراف رودخانه
- شناسایی آلاینده‌های موجود در طول مسیر رودخانه آجی چای و جلوگیری از تخلیه فاضلاب خام به رودخانه
- احداث تصفیه‌خانه برای هر واحد صنعتی و کنترل ماهانه روند تصفیه این واحدها
- نظارت بر عملکرد تصفیه‌خانه شهرک صنعتی چرمشهر که بر اساس بازدیدهای صورت گرفته تعطیل می‌باشد.
- با توجه به تأثیر تخلیه فاضلاب بر کیفیت رودخانه تسریع در روند ساخت مدول دوم تصفیه-خانه فاضلاب تبریز که در حال حاضر با ۱۵ درصد پیشرفت کار در حال انجام می‌باشد، توصیه می‌گردد.

منابع فارسی

۱. ابراهیم‌پور ص، محمدزاده ح "ارزیابی و پهنه بندی کیفیت آب دریاچه زریوار با استفاده از شاخص‌های کیفی $CWQI$, $NSFWQI$, $OWQI$ " پژوهش‌های محیط زیست، سال ۴، شماره ۷، بهار و تابستان ۱۳۹۲، از صفحه ۱۳۷ تا ۱۴۶.
۲. الباجی ل، نبوی م، تکدستان الف "بررسی وضعیت کیفی آب رودخانه جراحی بر اساس شاخص $DSWQI$ " کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست، ۲۸-۳۰ بهمن ۱۳۹۳.
۳. جباری الف، نجمی ن (۱۳۸۸) "دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی (جاری)"، وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، نشریه شماره ۵۲۲.
۴. حسینی پ، ایلدرومی ع، حسینی ع "بررسی کیفیت آب رودخانه‌ی کارون با استفاده از شاخص $NSFWQI$ در بازه زرگان تا کوت/میر (طی ۵ سال)" فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۵، تابستان ۱۳۹۲.
۵. "راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران"، (۱۳۹۳).
۶. "ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پسابها"، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، نشریه شماره ۵۳۵، سال ۱۳۸۹.
۷. ظهرابی ن، علی‌زاده الف، حسونی‌زاده ه، حسین‌زاده م "پهنه‌بندی رودخانه جراحی بر اساس شاخص $NSFWQI$ و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS " فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، سال ششم، شماره ۲۲، زمستان ۱۳۹۳.
۸. شمسایی الف، اورعی زارع ص، سارنگ الف "بررسی تطبیقی شاخصهای کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه کارون و دز" آب و فاضلاب، شماره ۵۵، سال ۱۳۸۴.
۹. علیزاده، الف.، ۱۳۸۰، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ سیزدهم، دانشگاه امام رضا.

۱۰. فتائی الف، حسن پور ح، صالح زاده ج، قلیزاده س، مهرورز م "ارزیابی و طبقه‌بندی رودخانه آجی‌چای با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI)" همایش آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، اسفند ۱۳۸۹.
۱۱. "گزارش بازدید از طرح انتقال پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز به پیکره آبی دریاچه ارومیه"، (۱۳۹۵)، دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه، دفتر برنامه‌ریزی و پایش دانشگاه تبریز.
۱۲. گل محمدزاده، منظر (۱۳۹۱) "بررسی ژئوشیمی زیست محیطی کروم در منطقه صنعتی جنوب غرب تبریز، آذربایجان شرقی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
۱۳. مصحفی، پری نساء (۱۳۸۰) "مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی در رابطه با ژنز ذخایر آرسنیک در منطقه ولیلو"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
۱۴. مفتاح هلقی م "پهنه‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص‌های متفاوت کیفی مطالعه موردی: رودخانه/ترک" مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هجدهم، شماره دوم، سال ۱۳۹۰.
۱۵. مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۱) "مطالعات نیمه تفضیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های تحت پوشش شرکت سهامی آب منطقه‌ای"، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، شماره ۱۲-۱.
۱۶. مهندسین مشاور قدس نیرو (۱۳۸۵) "پروژه ارتقا کیفیت منابع آب حوزه آبریز آجی‌چای"، جلد سوم، گزارش نهایی هیدرولوژی، سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی.
۱۷. نیکو نهاد ع، معاضد ه، کاظم بیگی ف "مقایسه شاخص‌های کیفی آب برای انتخاب بهترین شاخص در سد مخزنی کرخه" مجله پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره چهارم، بهار و تابستان ۱۳۸۸، (۶۹-۷۳).
۱۸. نخعی، م، ۱۳۸۸، "مقدمه‌ای بر آبهای زیرزمینی"، چاپ اول، آراد کتاب.

منابع انگلیسی

19. Al-Othman, A. A. (2015). "Evaluation of the suitability of surface water from Riyadh Mainstream Saudi Arabia for a variety of uses". Arabian Journal of Chemistry.
20. Amadi, A. N., Yisa, J., Ogbonnaya, I. C., Dan-Hassan, M. A., Jacob, J. O., & Alkali, Y. B. (2012). "Quality evaluation of river chanchaga using metal pollution index and principal component analysis". Journal of Geography and Geology, 4(2), 13.
21. Amadi Akobundu, N. (2012). "Quality Assessment of Aba River using heavy metal pollution index". Am J Environ Eng, 2(1), 45-49.
22. American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (1999). "Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Edition"
23. Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). "Water quality indices". Elsevier.
24. Akkoyunlu, A., & Akiner, M. E. (2012). "Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin". Ecological Indicators, 18, 501-511.
25. Ameh, E. G., & Akpah, F. A. "Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogeochemistry of River PovPov in Itakpe Iron-Ore mining area, Kogi State, Nigeria" (2011). Adv Appl Sci Res, 2(1), 33-46.
26. Bhargava, D. S. (1983). "Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga river". Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical, 6(1), 51-67.
27. Bordalo, A. A., Teixeira, R., & Wiebe, W. J. (2006). "A water quality index

- applied to an international shared river basin: the case of the Douro River". Environmental management, 38(6), 910-920.*
28. Bradl, H. (Ed.). (2005). *"Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation"* (Vol. 6). Academic Press.
 29. Cude, C. G. (2001). *"Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness"*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 37(1), 125-137.
 30. Chapman, D. V. (Ed.). (1996). *"Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring."*
 31. Dojlido, J., Raniszewski, J., & Woyciechowska, J. (1994). *"Water quality index applied to rivers in the Vistula river basin in Poland"*. Environmental Monitoring and Assessment, 33(1), 33-42.
 32. dos Santos Simões, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. M. N., & Yabe, M. J. S. (2008). *"Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies"*. Ecological indicators, 8(5), 476-484.
 33. Ewaid, S. H., & Abed, S. A. (2017). *"Water quality index for Al-Gharraf River, southern Iraq"*. The Egyptian Journal of Aquatic Research.
 34. Effendi, H., & Wardiatno, Y. (2015). *"Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI"*. Procedia Environmental Sciences, 24, 228-237.
 35. Goher, M. E., Hassan, A. M., Abdel-Moniem, I. A., Fahmy, A. H., & El-sayed, S. M. (2014). *"Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt"*. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 40(3), 225-233.
 36. Hou, W., Sun, S., Wang, M., Li, X., Zhang, N., Xin, X., & Jia, R. (2016). *"Assessing water quality of five typical reservoirs in lower reaches of Yellow River, China: using a water quality index method"*. Ecological Indicators, 61,

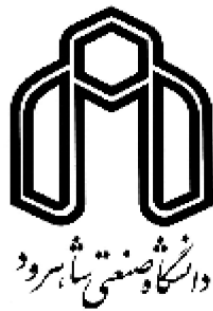
- 309-316.
37. Hounslow, A. (1995). *"Water quality data: analysis and interpretation"*. CRC press.
 38. Kenner, B. A., Clark, H. F., and Kabler, P. W. *"Cultivation and enumeration of fecal streptococci in surface waters"* Journal of Applied Microbiology, 1991, 9:15-20.
 39. Lumb, A., Sharma, T. C., Bibeault, J. F., & Klawunn, P. (2011). *"A comparative study of USA and Canadian water quality index models"*. Water Quality, Exposure and Health, 3(3-4), 203-216.
 40. Lumb, A., Sharma, T. C., & Bibeault, J. F. (2011). *"A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions"*. Water Quality, Exposure and Health, 3(1), 11-24.
 41. Milijašević, D., Milanović, A., Brankov, J., & Radovanović, M. (2011). *"Water quality assessment of the Borska Reka River using the WPI (water pollution index) method"*. Archives of Biological Sciences, 63(3), 819-824.
 42. Moghaddam, A. A., & Najib, M. A. (2006). *"Hydrogeologic characteristics of the alluvial tuff aquifer of northern Sahand Mountain slopes, Tabriz, Iran"*. Hydrogeology Journal, 14(7), 1319-1329.
 43. Sun, W., Xia, C., Xu, M., Guo, J., & Sun, G. (2016). *"Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River"*. Ecological Indicators, 66, 306-312.
 44. Singh, S., Ghosh, N. C., Krishan, G., Galkate, R., Thomas, T., & Jaiswal, R. K. (2015). *"Development of an overall water quality index (OWQI) for surface water in Indian context"*. Current World Environment, 10(3), 813-822.
 45. Sharma, P., Meher, P. K., Kumar, A., Gautam, Y. P., & Mishra, K. P. (2014). *"Changes in water quality index of Ganges river at different locations in Allahabad"*. Sustainability of Water Quality and Ecology, 3, 67-76.

46. Sharma, D., & Kansal, A. (2011). "Water quality analysis of River Yamuna using water quality index in the national capital territory, India (2000–2009)". *Applied Water Science*, 1(3-4), 147-157.
47. Said, A., Stevens, D. K., & Sehlke, G. (2004). "An innovative index for evaluating water quality in streams". *Environmental management*, 34(3), 406-414.
48. Smith, D. G. (1990). "A better water quality indexing system for rivers and streams". *Water Research*, 24(10), 1237-1244.
49. Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). "Water quality assessment in terms of water quality index". *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34-38.
50. Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). "Groundwater hydrology edition" (Vol. 1625). Wiley, New Jersey.
51. Wanda, E. M., Mamba, B. B., & Msagati, T. A. (2016). "Determination of the water quality index ratings of water in the Mpumalanga and North West provinces, South Africa". *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 92, 70-78.

Abstract

Qualitative indicators are used as effective managing tools in decision making programs. Aji-chay is the main river in East Azerbaijan province which ends into Urmia Lake after it passes the Tabriz Plain. Contaminant sources and causes in Tabriz Plain increase the risk for river pollution. So, this study was aimed to assess and zoning the Aji-chay River based on quality indicators, in order to help its better management. In the regard water samples were collected at the wet (May 2016) and dry (September 2016) seasons and Parameters EC, TDS, pH, turbidity, suspended solids, major ions, minor ions (nitrate and phosphate), Potentially toxic elements, organic matter (BOD, COD and TOC) and biological constituents (coliform) were measured. Based on the results turbidity and EC is high at the upstream which is related to movement of the River in upper red formation (Miocene series) which enhances the chloride, sodium, calcium and sulfate. Arsenic concentrations are exceeding the drinking standards (0.01 ppm) in the all samples mainly from a geogenic sources as well as discharge of wastewater in some areas. The Elements Cd, Mn, Ni, Pb, Mo, Co, Zn, Fe and Al are mainly geogenic, where as Cu, Ba and Cr are mostly originated from anthropogenic activity. Based on the results, river quality at the wet season is highly controlled by the main branch and Gomnab-chay, but Mehranrood plays the major role in downstream water quality at the dry season due to its higher discharge rate. The process was confirmed by Piper and Scholler diagrams. Most of the parameters are increased in middle parts at the river where the concentrated sources of contaminants and discharge of wastewater increased the organic and biological constituents and nutrients especially in dry season. Assessing the river quality for agricultural uses based on modified Wilcox diagram shows except for Mehranrood, the other samples are unsuitable for agriculture and the dry season quality is better than the wet. Based on the quality indicators of NSFQI, IRWQI_{SC}, Said, Dinius, WQI, OWQI and RPI most of the samples are classified in bad or very bad classes. Comparing the quality indicator reveals that NSFQI, IRWQI_{SC} and Said indicators are more preferred as they better show the trend in the quality changes.

Keywords : Aji-chay, Potentially toxic elements, Coliform, quality indicator, zoning, Tabriz



Shahrood University Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. thesis in Environmental Geology

**Monitoring and zoning of Aji-chay river in Tabriz plain area
using quality indices**

By: Zeynab Pashazadeh Laleh

Supervisors: Dr. Hadi Jafari

Abdolreza Vaezi Hir

May 2017