

# بررسی اثر فعالیت‌های صنعتی بر نوسان BOD, COD و TSS

## در رودخانه تجن

سیمین ورسه\*، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.  
مصطفی پناهی، استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.  
مصطفی خضری، دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.  
اصغر محمدی فاضل، مربی دانشگاه محیط زیست، کرج، ایران.

E-mail\*: siminvaraseh@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۳ - پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۱۶

### چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی وضعیت کیفی رودخانه تجن از لحاظ شیمیایی و تغییرات منابع آلاینده همجوار رودخانه با توجه به شرایط اقلیمی و هیدرولوژیک آن بوده است. از میان منابع مهم آلاینده مستقر در حاشیه رودخانه، سه واحد «کارخانه چوب و کاغذ مازندران»، «آنتی‌بیوتیک‌سازی ایران» و «شیر پاستوریزه پاکسار» انتخاب شده و پس از تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، اندازه‌گیری‌های لازم به عمل آمدند. بر اساس استانداردها و تجربیات پیشین، نمونه‌برداری‌ها در زمان‌های کم‌آبی و پرآبی رودخانه و در فصول مختلف انجام شدند. بر روی نمونه‌های تهیه شده از رودخانه، تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی انجام و پارامترهای گوناگون شامل BOD، COD و TSS اندازه‌گیری شدند. بررسی‌های به عمل آمده نشان دادند که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه تجن، تحت تأثیر صنایع برگزیده، واجد شرایط غیرمتعارف نبوده و تنها در نیمه دوم سال ۹۰، میزان TSS آب رودخانه، گویای بار آلودگی متوسط بوده است. در نتیجه، شرایط کیفی آب تجن برای مصارف کشاورزی و صنعتی (غیر از صنایع غذایی) در حد قابل قبول ارزیابی گردیده است. مهم‌تر از همه اینکه، نتایج این تحقیق می‌تواند مبنای اطلاعات علمی مورد نیاز برای به کارگیری یکی از ابزارهای مهم اقتصادی در مدیریت منابع آب رودخانه‌ای تحت عنوان «پروانه‌های قابل مبادله انتشار آلودگی» باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، رودخانه تجن، پارامترهای کیفی آب، فعالیت‌های صنعتی.

### ۱- مقدمه

۲۰ درصد جلوگیری کرد، بی‌آنکه از دیدگاه اقتصادی کلان در جامعه، هزینه زیادی دربر داشته باشد. کاهش مخاطرات وارده به سلامت انسان و زیست‌مندان متعلق به بوم‌سازگان‌های به ویژه آبی از یک سو و اهمیت رو به افزایش خدمات و کارکردهای بوم‌سازگانی وابسته به رودخانه‌ها از جهات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی که در قالب مجموعه‌ای از فعالیت‌های تولیدی، تفریحی، زیبایی شناختی و غیره متبلور می‌شوند از سوی دیگر، لزوم توجه

در حال حاضر، آلودگی‌های شیمیایی یکی از تهدیدات جدی اکوسیستم‌های آبی به شمار می‌رود. به‌ویژه، آبهای جاری که هر روزه با آلاینده‌های تازه‌ای دچار آلودگی می‌شوند و سمیت بالقوه انواع آلاینده‌ها به علت برهمکنش بین آنها بسیار پیچیده است (دانگبین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). دلینک و استون<sup>۲</sup> در رابطه با تلفیق فعالیت‌های اقتصادی با کیفیت آب معتقدند که می‌توان با ایجاد نظم در فعالیت‌های اقتصادی، از انتشار آلاینده‌ها تا

یک دغدغه در دستورکار شماری از پژوهش‌های میدانی قرارداداشته است. مهرداد و قبادی در تحقیقی تحت عنوان «ارزیابی کیفیت و پتانسیل خودپالایی رودخانه تجن با استفاده از مدل QUAL2E» نشان داده‌اند که میزان BOD و COD رودخانه تجن در نیمه دوم هر سال بیشتر از نیمه اول است. به طوری که زهتابیان و همکاران (۱۳۸۲)، با بررسی وضعیت رودخانه جاجرود، پی بردند که نادیده انگاشتن محیط زیست از طرف صاحبان صنایع و رهاسازی فاضلاب اماکن صنعتی نظیر مرغداری‌ها، دامداری‌ها، کارخانه‌ها و شهرک‌های صنعتی به داخل رودخانه جاجرود درکنار نبود سیستم‌های دفع کارآمد فاضلاب باعث تخریب کیفیت آب رودخانه جاجرود گردیده است. رضویان نیز در سال ۱۳۸۳ طی تحقیقی با عنوان «بررسی اثرات کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر رودخانه تجن» بر نقش راه‌اندازی کارخانه مزبور بر افزایش بار آلودگی رودخانه تجن تأکید داشته است. وی با نتایج خود نشان داد که در سال‌های ۸۲ و ۸۳، تمام قسمت‌های رودخانه برای مصارف شرب، صنایع غذایی و سایر استفاده‌های بهداشتی نامناسب بوده است. بدون تردید، رشد سریع جمعیت و شهرنشینی به همراه توسعه بی‌رویه روستایی مبتنی بر انجام فعالیت‌های کشاورزی با بهره‌وری پائین، اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر نوار باریک سواحل جنوبی دریاچه خزر را طی دهه‌های اخیر، مورد تهدید جدی قرار داده است. این درحالی است که فعالیت‌های معدنی در سرشاخه رودخانه‌ها، توسعه شبکه خطوط مواصلاتی، احداث سازه‌های آبخیزداری و نیز توسعه صنعتی و فعالیت‌های اقتصادی مزید بر علت شده و در نهایت، تمرکز بسیاری از انواع آلاینده‌های محیط‌زیستی را در پهنه‌های آبی و خاکی حوزه آبریز رودخانه تجن به دنبال داشته است (لوپزه، ۱۳۸۴).

تخریب بوم‌سازگان رودخانه تجن به واسطه واقع شدن شهر ساری به عنوان مرکز استان مازندران در میانه مسیر آن، از قدمتی به درازای حدود نیم سده برخوردار است و در این مدت، همواره با دخالت‌ها و تعرضات جدی

به آسیب‌پذیری و سنجش حساسیت‌های محیط‌زیستی پیکره‌های آبی را در برنامه‌ریزی مدیریت رودخانه‌ها و روش‌های نوین کنترل ورود آلاینده‌ها یادآور می‌سازد. سازوکارهایی همچون «سهمیه بندی تخلیه مجاز بار آلودگی‌ها» به رودخانه‌ها و نیز تلاش برای پایدارسازی استفاده از آب آنها برای مصارف مختلفی مثل نیازهای شرب، آبیاری اراضی کشاورزی و یا سایر استفاده‌های صنعتی، زمینه‌ساز طرح اهمیت و ضرورت مطالعه کیفیت آب رودخانه تجن است. دانگهو<sup>۳</sup> و همکارانش طی مطالعه‌ای با عنوان «رابطه فضائی بین فعالیت‌های اقتصادی و کیفیت آب رودخانه» در سال ۲۰۱۰ به این نتیجه رسیدند که در نظر گرفتن تاثیر فعالیت‌های اقتصادی بر روی کیفیت محیط‌زیستی آب ابزار مهمی برای مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی با هدف بازسازی و حفظ کیفیت آب به شمار می‌آید. نتایج بررسی آنها نشان داد که عواملی نظیر فعالیت‌های صنعتی، شدت و نوع فعالیت‌های کشاورزی، نوع روش تصفیه فاضلاب و غیره، بر روی کیفیت منابع آب تأثیرگذارند.

رودخانه تجن، یکی از منابع عمده تأمین کننده آب برای مصارف خانگی شمار زیادی از سکونتگاه‌ها و فضاها شهری همجوار بوده و درعین حال از جاذبه‌های مهم گردشگری منطقه تلقی می‌شود. آبیاری حدود ۴ هزار هکتار از شالیزارهای دهستان‌های مربوطه وابسته به تجن بوده و افزون بر آن، محلی برای تخم‌ریزی و صید گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری و پولک‌دار است (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). از این رو، پایش مستمر کیفیت آب تجن برای رفع نگرانی از ورود آلودگی‌های مختلف بدان، به عنوان یکی از وظایف کلیدی نهادهای نظارتی ذی‌ربط به حساب می‌آید. درهمین راستا، برای تعیین کیفیت آب رودخانه، بررسی نوسان سه پارامتر مهم COD، BOD و TSS از میان پارامترهای قابل سنجش، در دستور کار این تحقیق، قرار گرفته است. مطالعه منابع علمی داخلی نشان می‌دهد که موضوع کیفیت منابع آب رودخانه‌های مهمی مثل تجن، به خصوص در سال‌های اخیر به عنوان

ساماندهی اقدامات اساسی برای جلوگیری از تخریب منابع آبی، از حمایت جامعه علمی برخوردار خواهد بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- محدوده مورد مطالعه

رود تجن در استان مازندران و در حوزه آبریز تجن، از زیر حوزه‌های دریای خزر قرار دارد. این رودخانه با طول تقریبی ۱۴۰ کیلومتر از ارتفاعات شمالی رشته کوه البرز سرچشمه می‌گیرد و با گذشتن از شرق ساری، در نزدیکی فرح‌آباد به دریا می‌ریزد. رژیم جریان این رودخانه، برفی- بارانی بوده و جزء رودخانه‌های دائمی به شمار می‌آید. میزان متوسط دبی سالانه برای یک دوره آماری ۳۹ ساله منتهی به سال ۱۳۸۷ برابر ۱۴.۹ مترمکعب بر ثانیه و آورد سالانه آن ۴۶۰ میلیون متر مکعب تخمین زده شده است (ناصری و قانعیان، ۱۳۸۱).

### ۲-۲- مکان یابی ایستگاه‌های پایش و نمونه برداری

از آنجا که تمرکز این مطالعه بر روی منابع آلاینده صنعتی بوده، سه واحد صنعتی مهم و بزرگ مقیاس موجود در منطقه، یعنی کارخانه‌های چوب و کاغذ مازندران، شیر پاستوریزه پاکسار و آنتی‌بیوتیک سازی ساری مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به نقطه‌ای بودن منابع آلاینده، در مجموع شش ایستگاه نمونه‌برداری، یکی قبل از ورود پساب و دیگری بعد از ورود پساب هر یک از کارخانه‌ها تعیین شده و براساس تواتر زمانی در برگیرنده دوره‌های پربابی و کم آبی، نمونه‌برداری‌ها صورت گرفته‌اند.

نمونه‌برداری با استفاده از نمونه‌گیر دستی در ظروف پلاستیکی پلی‌اتیلنی که قبل از استفاده به مدت یک شبانه روز با محلول پتاسیم یداید ۸٪ پر و نگهداری شده بودند، انجام شده است. پس از برداشت نمونه‌ها و به منظور تثبیت آنها تا زمان انجام آزمایش‌های بعدی، حدود دو میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به هر لیتر نمونه اضافه شده و در یخچال نگهداری شده‌اند. از زمان برداشت

انسانی مواجه بوده است. آنچنانکه، پاک‌تراشی جنگل در بخش دودانگه (محمدآباد و فریم صحرا) که به تشدید فرسایش آبی خاک و حمل رسوبات حاصله به عرصه‌های پایین‌دستی اراضی جنگلی انجامیده است، احداث سد شهید رجائی (سلیمان تنگه)، احداث و افزایش بار آمد و شد در جاده کیاسر- شه‌میرزاد، گسترش بی‌رویه اراضی کشاورزی از طریق تبدیل دائمی کاربری اراضی طبیعی ساحلی، توسعه سریع و غیراصولی شهرستان ساری به ویژه در سال‌های اخیر، دفع غیراصولی زباله‌های شهری درحوزه آبریز رودخانه تجن و بالاخره احداث کارخانه‌های مختلف که پساب خود را مستقیماً به داخل رودخانه تجن وارد می‌کنند مواردی از مشکلات بحران‌زا و تهدید کننده این رودخانه به شمار می‌آیند (اسفندیاری، ۱۳۸۹).

گفتنی است که برای این منظور، پساب‌های خروجی برخی از صنایع مستقر در مجاورت رودخانه تجن مورد توجه واقع شده و به تحلیل اثر آنها بر روی کیفیت آب رودخانه پرداخته شده است. شایان ذکر است که در مطالعات پیشین انجام شده، تمرکز بر روی واحدهای صنعتی دارای احتمال بارآلودگی زیاد صورت نگرفته و اثر چنین واحدهائی جدای از سایر عوامل آلاینده، مورد سنجش و بررسی قرار نگرفته‌اند. حال آنکه، در این تحقیق به طور مشخص نمونه‌برداری‌ها در موقعیت مکانی نزدیک به سه واحد صنعتی مهم در مجاورت رودخانه انجام شده و شرایط کیفی آب عبوری از محل نمونه برداری‌ها در قبل و بعد از کارخانه به عنوان کانون‌های آلودگی نقطه‌ای، مورد بررسی قرار گرفته است.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثر واحدهای صنعتی غالب به صورت تجمعی و هم‌زمان بر روی کیفیت آب رودخانه تجن بوده است. از آنجا که حفاظت منابع آب از راهیابی انواع آلودگی‌های احتمالی و تأمین آب سالم موردنیاز شهروندان، از جمله وظایف و برنامه‌های مهم دولتی به شمار می‌آید، از این رو، تولید اطلاعات علمی مرتبط با تلاش‌های انجام شده در زمینه شناسایی و سنجش ابعاد و انتشار آلاینده‌های احتمالی، به‌منظور

مجدداً اندازه‌گیری شده و مقدار TSS از اختلاف وزن اولیه و ثانویه برآورد گردیده است. داده‌های به دست آمده از نتایج آزمایش‌ها وارد نرم افزار اکسل شده و از آنها برای ترسیم نمودارها و توصیف نتایج استفاده شده است. بدین ترتیب با توجه به پارامترهای مورد نظر، واحدهای اصلی آلاینده و همچنین بار آلودگی آنها تعیین و در نهایت اطلاعات لازم جهت برنامه ریزی کنترل و مدیریت تخلیه پساب حاصل از فعالیت‌های اقتصادی آلاینده حاصل گردیده است.

### ۳- نتایج

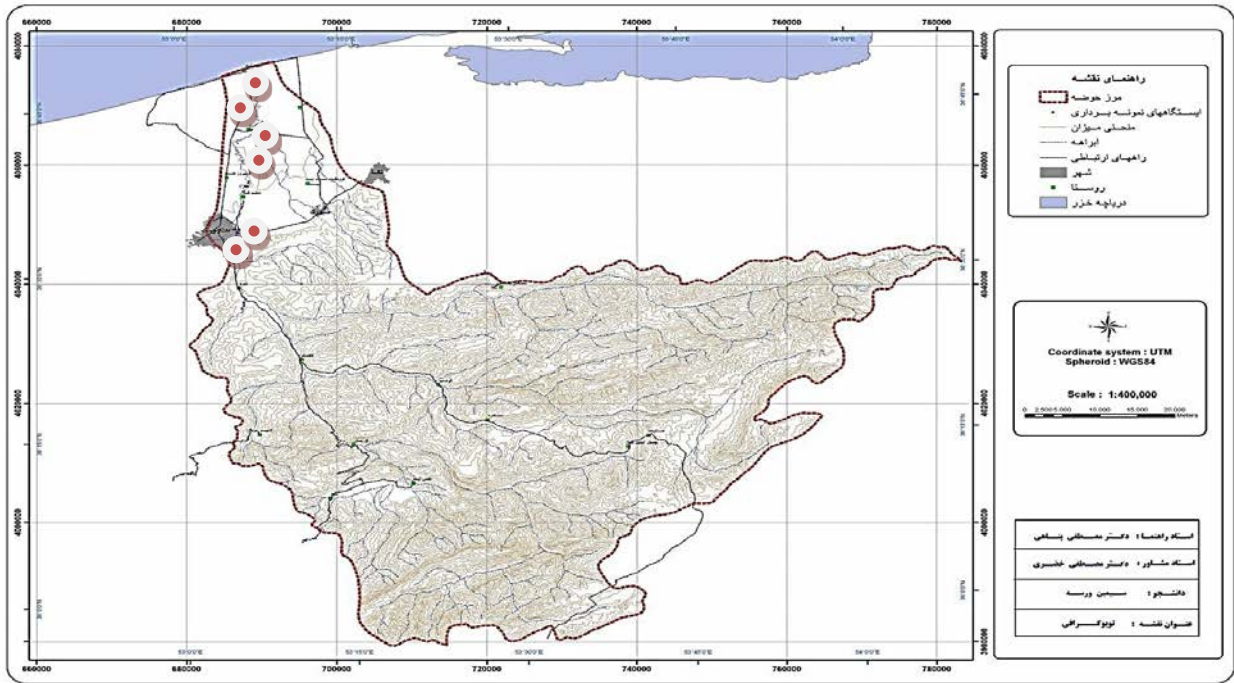
#### ۳-۱- بررسی نوسانات BOD

بررسی نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و میدانی نشان می‌دهد که به طور کلی رودتجن از نظر PH حالت بازی دارد و میزان آن بین ۷/۴ تا ۸/۹ در نوسان است. پارامتر BOD در پساب، میزان اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها طی اکسیداسیون بیوشیمیایی موادآلی موجود در آن و یا همان نرخ مصرف اکسیژن در محیط آب است که به عنوان شاخصی از پاکی آب و میزان حضور ارگانیزم‌ها در نظر گرفته می‌شود. هرگاه مقدار BOD تا ۵ ppm باشد، آب را نسبتاً خالص و با افزایش مقدار آن در غلظت‌های بیش از ۵، ناخالصی آب هم بیشتر خواهد شد و تجاوز مقدار آن از ۲۰ ppm موجب به خطر افتادن سلامت عمومی انسان‌ها می‌گردد (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به واحد صنعتی شیر پاستوریزه پاکسار در محل‌های قبل و بعد از تخلیه پساب نشان می‌دهد که میزان BOD تنها از شهریور تا اسفند سال ۱۳۹۰ به کمتر از ۵ رسیده و نسبتاً خالص تلقی می‌شود. همچنین در ایستگاه شماره (۱) با مقایسه میزان این پارامتر برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ گویای برقراری روند نزولی بوده و تنها در خرداد ماه هر دوسال، این مقدار به یک اندازه بوده است. به نظر می‌رسد که آورده آبی در بالا دست کارخانه شیر پاکسار، از BOD بالائی در سال ۱۳۸۹ برخوردار بوده و چنین

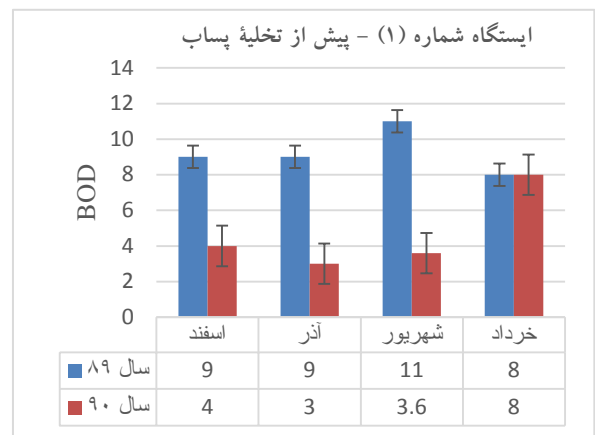
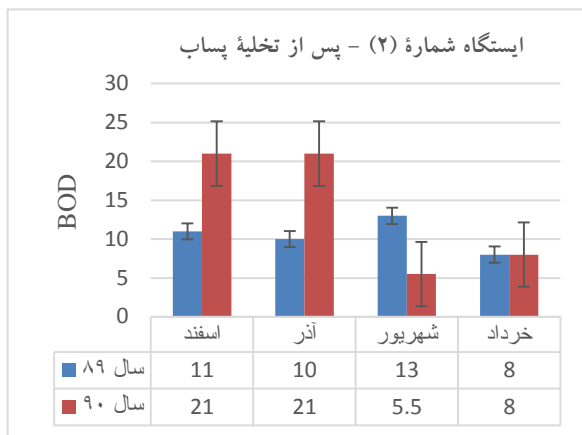
نمونه‌ها تا پیش از انجام بررسی‌های آزمایشگاهی و برای جلوگیری از انجام فعالیت‌های میکروبی درون محلول‌های نمونه برداری شده، از دو عامل نگهداری در دمای پایین و ایجاد شرایط اسیدی در محیط، بهره‌گیری شده است. گفتنی است که تمام بررسی‌های آزمایشگاهی این تحقیق در آزمایشگاه اداره کل حفاظت محیط زیست مازندران انجام شده و پارامترهای فیزیکوشیمیایی کیفی آب شامل، BOD، COD و TSS مورد اندازه‌گیری واقع شده‌اند.

لازم به ذکر است که برای سنجش BOD، به روش مستقیم عمل شده است. برای این منظور، ابتدا نمونه‌ها هوادهی شده‌اند تا مقدار اکسیژن محلول در شروع آزمایش به حد تقریبی اشباع برسد. سپس، نمونه‌ها درون شیشه‌های آزمایشگاهی مخصوص ریخته شده و پس از اندازه‌گیری اکسیژن محلول یکی از نمونه‌ها به صورت تصادفی، به مدت ۵ شبانه‌روز در دستگاه انکوباتور و در دمای ۲۰°C نگاهداری شده‌اند. آنگاه میزان اکسیژن محلول باقیمانده در نمونه‌های کشت شده، مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و BOD در پنجمین روز از تفاضل مقادیر اکسیژن روزهای آخر و نخست محاسبه شده است. برای اندازه‌گیری COD از روش رفلکس دی کرومات پتاسیم و دستگاه COD استفاده شده است. یون کرومات، یک اکسیدکننده قوی به شمار می‌آید و قادر است مواد موجود در پساب را اکسید کند. برای تسریع اکسیداسیون از سولفات نقره به عنوان کاتالیزور و برای رفع مزاحمت یون‌های کلرور و جلوگیری از بروز خطا در آزمایش، سولفات جیوه به کاررفته است. همچنین، برای سنجش پارامتر TSS از روش وزن‌سنجی و اندازه‌گیری جرم رسوب استفاده شده است. این شیوه، مبتنی بر تبخیر یک نمونه تا مرحله خشک شدن و اندازه‌گیری جرم باقیمانده، است. برای اندازه‌گیری مواد جامد معلق، مقداری از نمونه از صافی که وزن آن قبلاً اندازه‌گیری شده است، عبور داده شده و صافی برای خشک شدن در درون آون، قرار گرفته و برای خنک شدن بدون جذب رطوبت دوباره، داخل دیسیکاتور گذارده شده است. سپس، وزن صافی

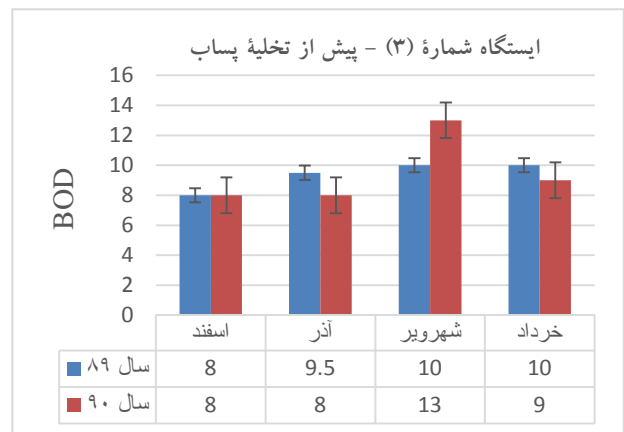
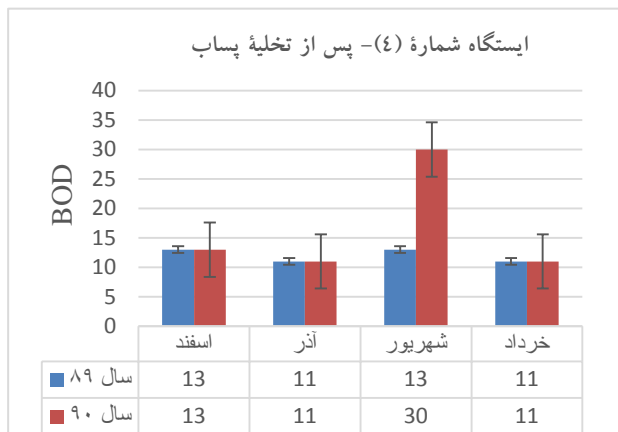
بررسی اثر فعالیت‌های صنعتی بر نوسان BOD، COD و TSS در رودخانه تجن



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه اطراف رودخانه تجن



شکل (۲-الف). تغییرات فصلی و سالانه BOD در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه شیر پاکسار



شکل (۲-ب). تغییرات فصلی و سالانه BOD در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه آنتی بیوتیک سازی ایران

نامطلوبی داشته و حتی در تابستان به بیش از ۶ برابر شرایط سالم، می‌رسد. ضمن آنکه، مقادیر اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال قبل از آن در همین ایستگاه، بیشتر بوده است (مراجعه به شکل شماره ۲-ج). با توجه به نتایج کلی این بررسی، می‌توان گفت که مقدار BOD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف، طی دو سال بررسی و در فصول مختلف از نوسانات قابل توجهی برخوردار بوده و مقدار آن در ایستگاه‌های قبل از تخلیه پساب در واحدهای صنعتی مختلف از ۳ میلی‌گرم در لیتر تا ۱۳ میلی‌گرم در لیتر و در ایستگاه‌های بعد از تخلیه پساب از ۵.۵ میلی‌گرم در لیتر تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر است.

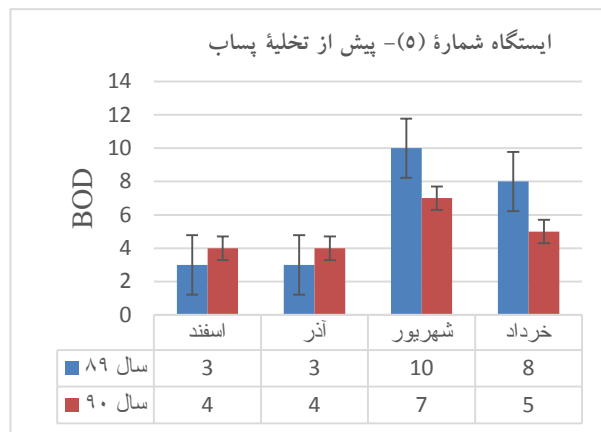
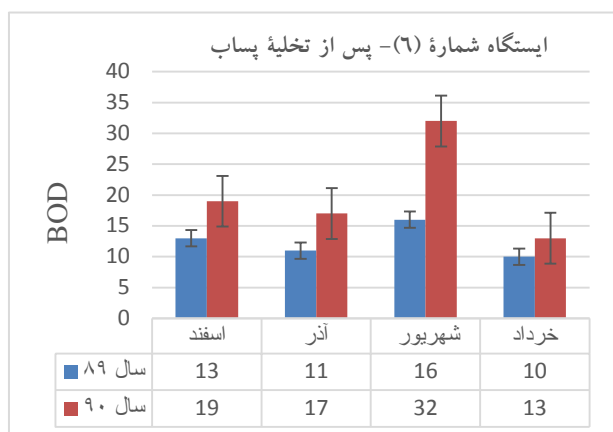
### ۲-۳- بررسی نوسانات COD

دومین پارامتر اندازه‌گیری شده در این بررسی، COD یا اکسیژن‌خواهی شیمیایی است و شاخص مهمی در سنجش آلودگی پساب‌ها تلقی می‌شود. برای تعیین بارآلودگی محیط‌های آبی از نظر مواد خارجی وارده به آن که ممکن است به شکل محلول و یا معلق دیده شوند، از این پارامتر استفاده می‌شود. از آنجا که COD معرف مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون کل مواد خارجی موجود در آب است، پس هراندازه مقدار COD بیشتر باشد، مقدار مواد خارجی موجود در آب که باعث آلودگی می‌شود، نیز بیشتر خواهد بود.

عاملی در سال ۱۳۹۰ تا اندازه‌ای تقلیل یافته است. ولی این روند، در ایستگاه شماره (۲) برعکس می‌شود. یعنی مقدار BOD در طول سال ۱۳۹۰ هم بیش از ۱۳۸۹ شده و هم به ویژه در نیمه دوم سال، به آستانه خطرناک شدن نزدیک شده و یا حتی از چنین آستانه‌ای تجاوز کرده است (مراجعه به شکل شماره ۲-الف).

نتایج به دست آمده در مورد واحد صنعتی آنتی بیوتیک سازی ایران (شکل شماره ۲-ب) نشان می‌دهد که با وجود یکسان بودن شرایط زمانی (فصلی و سالانه)، شرایط مکانی غلظت BOD در ایستگاه‌های نمونه برداری پیش از تخلیه پساب و پس از آن، دارای اختلاف‌های مهمی است. نکته دارای اهمیت در این خصوص آن است که فصل تابستان، بحرانی‌تر از سایر فصول است. زیرا آورده BOD از بالادست با پساب آزاد شده از آنتی‌بیوتیک سازی، تلفیق یافته و به مقادیر خطرناک تا حدود ۳۰ ppm در فصل تابستان سال ۱۳۹۰ می‌رساند.

همچنین، نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در ایستگاه‌های نمونه برداری مرتبط با کارخانه چوب و کاغذ مازندران نیز نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده BOD قبل از ورود پساب کارخانه مزبور در فصول کم‌آبی سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۹ تا حدودی کمتر و در فصول دیگر بیشتر بوده است. اما اندازه‌گیری‌های پس از محل تخلیه پساب کارخانه حاکی از آن هستند که به غیر از فصل بهار، در بقیه طول سال، شرایط رودخانه وضعیت



شکل (۲-ج). تغییرات فصلی و سالانه BOD در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه چوب و کاغذ مازندران

کاهش جریان رودخانه تجن منشأ می‌گیرد. ولی در ایستگاه شماره (۶) که به اندازه‌گیری COD پس از رهاسازی پساب کارخانه مربوط می‌شود، افزایش محسوسی در غلظت این پارامتر حاصل شده و حتی در فصل تابستان سال ۱۳۹۰، مقدار آن از حد مجاز نیز فراتر رفته است.

در جمع بندی نتایج مربوط به میزان COD مرتبط با هر سه واحد صنعتی، می‌توان اشاره کرد که در ایستگاه‌های قبل از تخلیه پساب COD از ۷ میلی‌گرم در لیتر تا ۴۵ میلی‌گرم در لیتر و در ایستگاه‌های بعد از تخلیه پساب از ۱۱ میلی‌گرم در لیتر تا ۶۵ میلی‌گرم در لیتر نوسان داشته است. ولی با توجه به استاندارد موجود، میزان COD در فصل تابستان شرایط بحرانی را نشان می‌دهد و در سایر فصول سال، مشکل خاصی از این نظر به چشم نمی‌خورد.

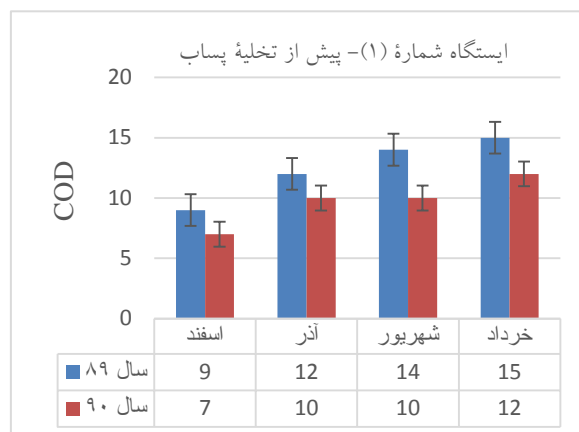
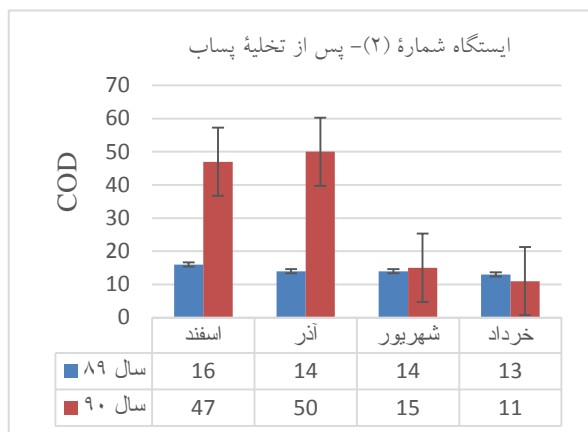
### ۳-۳- بررسی نوسانات TSS<sup>۱</sup>

مطابق با ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب، استاندارد مربوط به مجموع ذرات جامد معلق در آب، معادل ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اعلام شده است. همچنین طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست، اگر میزان مواد جامد معلق در پساب‌های خروجی از کارخانه‌ها بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، آب آلوده تلقی خواهد شد. شدت آلودگی نیز اگر در بازه ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، کم و اگر بین ۲۰۰ تا ۳۷۵ میلی‌گرم در لیتر باشد، متوسط و همچنین مقادیر بیشتر از آن، زیاد به شمار می‌آید. نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی این مطالعه نشان داده است که برای تمامی ایستگاه‌های نمونه برداری، مقدار این شاخص در نیمه نخست سال، در حد معقول و در نیمه دوم، چندین برابر آستانه مجاز است. به طوری که مثلاً کارخانه شیر پاکسار، از روی شکل شماره (۴-الف) دیده می‌شود که در ایستگاه‌های نمونه برداری پیش و پس از تخلیه پساب و در فصول پاییز و زمستان از نظر این پارامتر، شرایط ناسالمی در

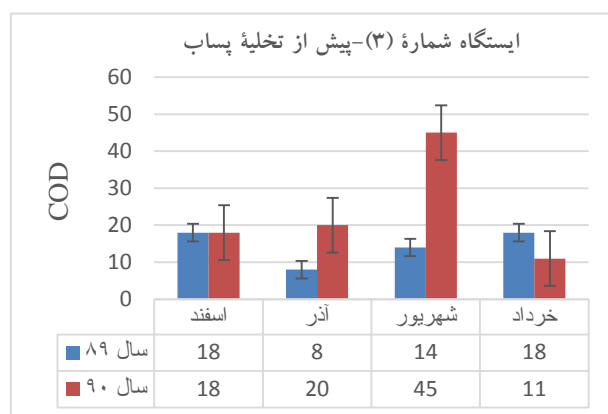
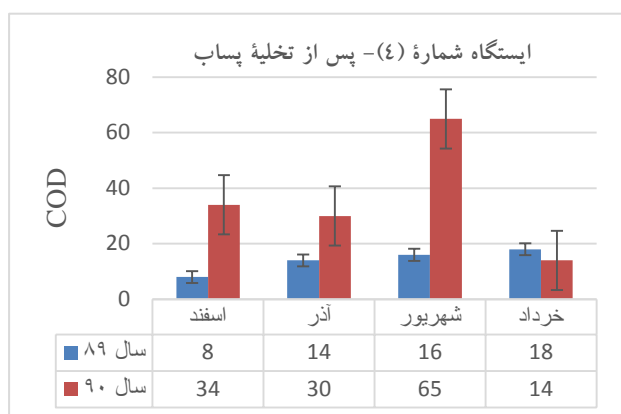
برمبنای استانداردهای موجود، میزان COD تعیین شده برای خروجی فاضلاب معادل ۶۰ میلی‌گرم در لیتر است. نتایج آزمایش‌های انجام شده در محل‌های نمونه‌برداری پیش و پس از تخلیه پساب کارخانه شیر پاکسار که در شکل شماره (۳-الف) ارائه شده‌اند، حاکی از آن هستند که پیش از رهاسازی پساب کارخانه، میزان COD در فصول مختلف سال‌های بررسی چندان حاد نبوده و حتی در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال قبل از آن، روند کاهشی داشته است. با اینکه در ایستگاه شماره (۲) نمونه برداری، یعنی جائیکه پساب خروجی کارخانه شیر پاکسار وارد جریان رودخانه تجن می‌شود، مقادیر COD در فصول مختلف تا چند برابر افزایش می‌یابد، ولی هیچگاه از آستانه ۶۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نمی‌کند. اگرچه در نیمه دوم سال ۱۳۹۱، تفاوت مقدار COD در مقایسه با سال پیش قابل توجه می‌شود، ولی در سایر موارد اختلاف فاحشی از نظر سال دیده نمی‌شود.

وضعیت درمورد کارخانه آنتی بیوتیک سازی ایران تا حدودی مشابه توضیحات فوق است. به طوری که تا پیش از تخلیه پساب کارخانه، مقدار COD هیچگاه از حد استاندارد تجاوز نکرده و فقط در فصل تابستان سال ۱۳۹۰ بوده که میزان آن به مقدار زیادی افزایش یافته است. ولی در ایستگاه شماره (۴) که پساب خروجی کارخانه به رودخانه وارد می‌شود، اگرچه مقدار COD هم به تناسب زیاد می‌شود، ولی به غیر از فصل تابستان هیچگاه از آستانه مجاز، گذر نمی‌کند. البته روند افزایشی در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال قبل از آن برقرار است که علت آن عمدتاً با کمی بارش به خصوص در فصل تابستان قابل پیوند است.

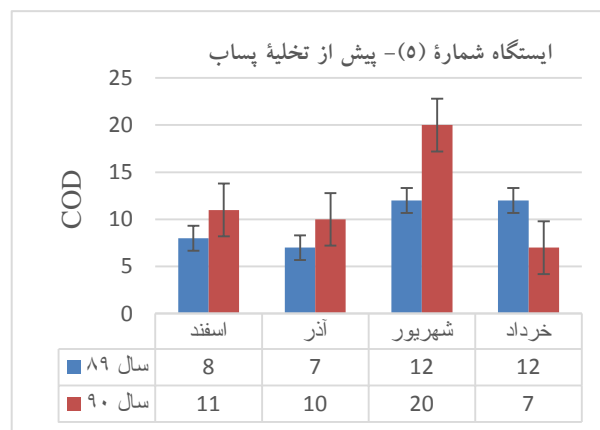
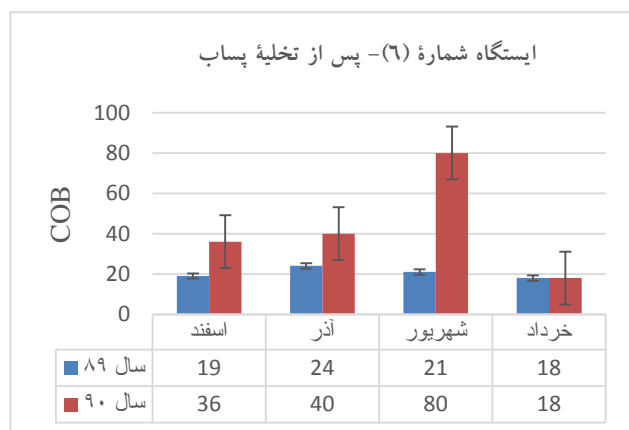
نتایج آزمایش‌های به عمل آمده در محدوده کارخانه چوب و کاغذ مازندران، گویای وضعیتی نسبتاً مشابه به سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری است. یعنی تا پیش از رهاسازی پساب کارخانه، آلودگی خاصی از نظر COD دیده نمی‌شود و البته روند افزایشی در مقایسه سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ حاکم بوده است که از کمبود بارش و



شکل (۳-الف). تغییرات فصلی و سالانه COD در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه شیر پاکسار



شکل (۳-ب). تغییرات فصلی و سالانه COD در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه آنتی بیوتیک سازی ایران



شکل (۳-ج). تغییرات فصلی و سالانه COD در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه چوب و کاغذ مازندران



مقادیر کمینه و بیشینه بین ۸۵ و ۲۵۲ میلی‌گرم در لیتر به ثبت رسیده‌است.

برمبنای آنچه شرح داده شد، میزان شاخص کیفی TSS در اکثر ایستگاه‌ها از میزان استاندارد مجاز فراتر رفته و موجب آلودگی آب رودخانه تجن شده است. آنچنانکه، به طور مشترک، همواره شاخص مزبور در واحدهای صنعتی ارزیابی شده در این مطالعه، در نیمه دوم سال به اوج رسیده و زمینه‌ساز آلودگی رودخانه شده است.

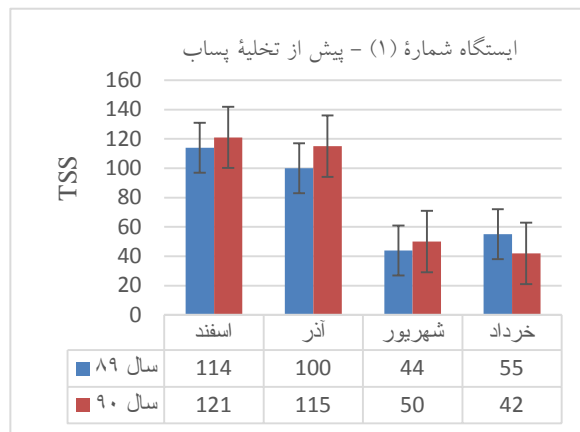
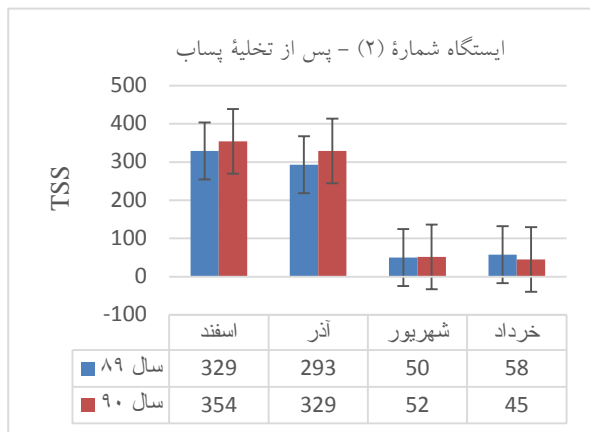
#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

تخلیه پساب صنایع یکی از عمده‌ترین منابع آلاینده رودخانه‌ها به حساب می‌آید (وینر<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷). ورود پساب، فاضلاب و رواناب شهری، کشاورزی و صنعتی به رودخانه‌ها، غلظت برخی از آلاینده‌ها و مواد سمی از جمله مواد مغذی و فلزات سنگین، کدورت، BOD و COD را افزایش داده و به مشکلاتی نظیر کاهش اکسیژن محلول، افزایش مواد مغذی، افزایش غلظت فلزات سنگین و کاهش ذی‌توده آبزیان دامن می‌زند (تجریشی، ۲۰۰۱؛ هینک<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). یافته‌های تحقیق نشان دادند که علی‌رغم حضور و فعالیت تعداد زیادی از واحدهای صنعتی، کیفیت شیمیایی آب از نظر مصارف شرب دستخوش نوساناتی شده و در بعضی از ماه‌های سال، به دلیل افزایش قابل توجه میزان مواد جامد معلق، چنین قابلیتی با شرایط مطلوب برای آب‌های آشامیدنی فاصله می‌گیرد. عملاً دیده شد که رهاسازی پساب واحدهای صنعتی در محیط رودخانه، باعث افزایش غلظت آلاینده‌های مورد مطالعه این تحقیق (COD، BOD و TSS) و در نتیجه کاهش کیفیت آب، شده است. بدون تردید، هرگونه تغییر در ابعاد تولید یک واحد صنعتی می‌تواند حجم پساب را تغییر داده و از این نظر غلظت آلاینده‌ها را دچار نوسان نماید. عمده مشکلات زمانی بروز می‌کند که حجم خروجی پساب‌های آلاینده رودخانه، فراتر از ظرفیت خودپالایی طبیعی رودخانه باشد.

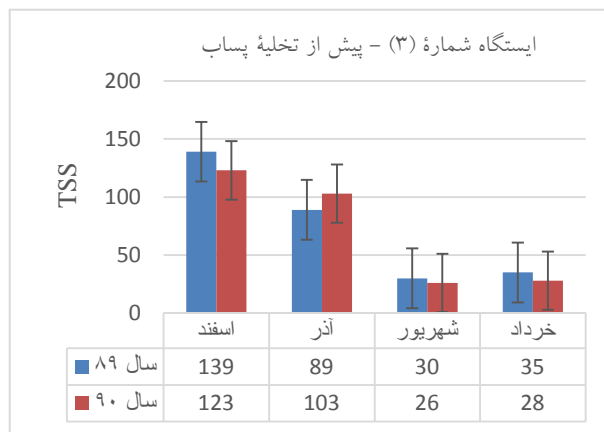
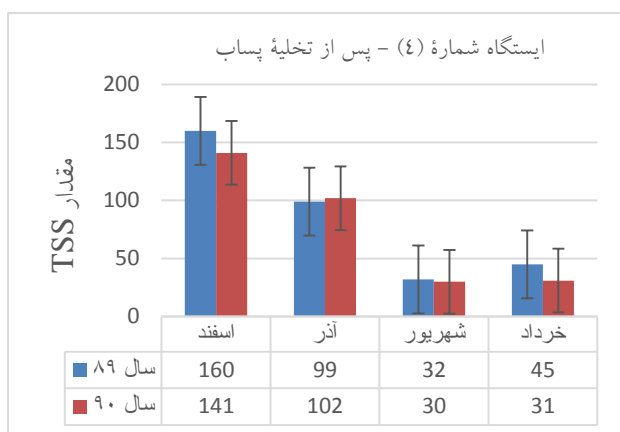
رودخانه تجن برقرار بوده است. در ایستگاه نمونه برداری پس از تخلیه پساب نیز مقدار TSS تا بیش از ۵ برابر حد استاندارد افزایش یافته و شرایط کاملاً غیرمتعارفی حاکم گردیده است. البته اختلاف چشمگیری از نظر سال‌های بررسی، دیده نمی‌شود.

در مورد واحد صنعتی آنتی بیوتیک سازی ایران باید اشاره کرد که به طور کلی میزان ذرات جامد معلق در نمونه‌های آزمایش‌شده، از الگوی شرح داده شده در مورد کارخانه شیر پاکسار پیروی می‌کند. یعنی نیمی از سال میزان TSS پائین و در حد استاندارد و نیم دیگر از سال، وضعیت بالاتر از استاندارد و نامساعد ارزیابی می‌شود. ضمن اینکه از نظر سال نیز تفاوت مهمی دیده نمی‌شود (مراجعه به شکل ۴-ب). البته با آزاد شدن پساب خروجی کارخانه آنتی بیوتیک سازی به رود تجن، میزان شاخص فوق افزایش می‌یابد و برخلاف کارخانه قبلی میزان چنین افزایشی بسیار کمتر اندازه‌گیری شده است. شاید چنین پدیده‌ای از وجود عرصه‌های باغی زیاد در محیط پیرامونی و استفاده متمرکز باغداران از آب رودخانه برای آبیاری باغات در این قسمت ناشی شده باشد.

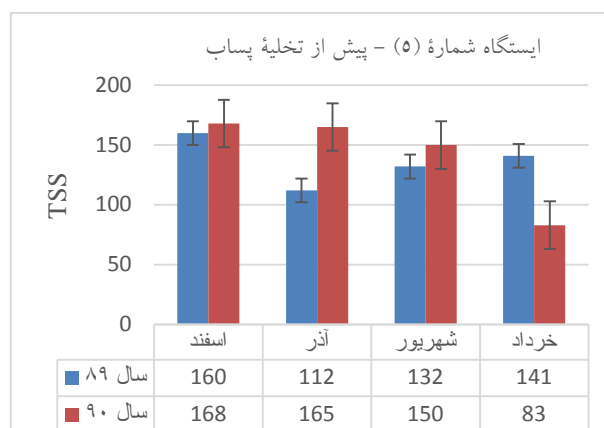
نتایج مربوط به ایستگاه‌های مرتبط با کارخانه چوب و مازندان نشان می‌دهند که میزان TSS تقریباً در همه فصول و در دو سال بررسی، بالا و فراتر از استاندارد بوده است. اگرچه در موقعیت مکانی پس از تخلیه پساب، دیده می‌شود که ارقام سال ۹۰ در مقایسه با سال ۸۸ کاهش یافته و شرایط بهتری را از نظر این شاخص رقم زده است. وجود کارخانه شن و ماسه فعال در زمینه برداشت از بستر رودخانه در نزدیکی محل‌های نمونه برداری، قطعاً در افزایش مقادیر TSS اثرگذار بوده است. البته به صورت تجربی نیز نمونه‌های برداشت شده از این ایستگاه‌ها رنگ کدرتری داشته و ذرات ته‌نشین شده در نمونه‌های فوق قابل تشخیص بوده‌اند. به هر حال، میزان TSS از حدود ۸۳ میلی‌گرم در لیتر تا ۱۶۸ میلی‌گرم در لیتر در محل نمونه برداری پیش از تخلیه پساب در نوسان بوده است. ولی در مورد ایستگاه پس از تخلیه پساب،



شکل (۴-الف). تغییرات فصلی و سالانه TSS در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه شیر پاکسار



شکل (۴-ب). تغییرات فصلی و سالانه TSS در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه آنتی بیوتیک سازی ایران



شکل (۴-ج). تغییرات فصلی و سالانه TSS در محل‌های نمونه‌برداری - کارخانه چوب و کاغذ مازندران

COD در مدت بررسی دارای تغییراتی بین ۷ تا ۲۴ ppm در شرایط پرآبی و کم آبی بوده است. میزان هدایت الکتریکی به جز مصب رودخانه که به علت ورود آب دریا دارای مقدار بالایی است، در مابقی مسیر تجن، دارای میزان قابل قبولی بوده است. علاوه بر آن و به‌طور کلی کیفیت شیمیایی آب از نظر شرب در ایستگاه‌های دودانگه (سلیمان تنگه)، تجن (ریگ چشمه)، زارم رود و کردخیل در حد قابل قبولی بوده و تنها در بعضی از ماه‌ها به دلیل افزایش سختی و مواد محلول این کیفیت تنزل پیدا می‌کند (اسفندیاری، ۱۳۸۹). از نظر ارزیابی کیفیت و پتانسیل خودپالایی رودخانه تجن نیز می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نتایج این بررسی، تأیید کننده یافته‌های مهربادی، صبغی و رکنی (۱۳۸۲) است که در آن بیشتر بودن میزان BOD و COD در فصول پاییز و زمستان در مقایسه با بهار و تابستان مورد اشاره قرار گرفته و حضور برخی صنایع در حاشیه رودخانه و به ویژه سهم زیاد کارخانه چوب و کاغذ مازندران، علت بالا رفتن این دو پارامتر معرفی گردیده است. همچنین میزان  $DO^9$  رودخانه بین ۴ تا ۹ میلی گرم در لیتر بوده و گویای شرایط نامطلوبی نیست. آنچنانکه نیازهای موجودات اکوسیستم رودخانه را به راحتی تامین می‌کند. سایر مطالعات انجام شده به محدودیتی از نظر اکسیژن محلول در رودخانه تجن اشاره‌ای به عمل نیاورده‌اند (امیرزاده، ۱۹۹۸؛ مهربادی و همکاران، ۲۰۰۶).

باتوجه به آمارها و داده‌های جمع‌آوری شده در این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه تجن در تمامی مسیر رودخانه و در اکثر ایستگاه‌های هیدرومتری در شاخه‌های اصلی و فرعی آن دارای شرایط نسبتاً عادی (غیر از زمان وقوع سیل و یا در زمان‌هایی که رژیم آبدهی رودخانه در وضعیت کم‌آبی فصلی قرار دارد) از جهت مصارف کشاورزی و صنعت (به جز صنایع غذایی) بوده است. با توجه به احداث و بهره‌برداری سد بزرگ شهید رجایی (سلیمان تنگه) در بالادست رودخانه و جمع‌آوری

لازم به ذکر است که یکی از محدودیت‌های مهم این تحقیق، عدم همکاری واحدهای صنعتی برای ارائه آمار حجم پساب و تغییرات سالانه و فصلی آنها بوده است.

نوسان مقادیر پارامترهای بررسی شده در موقعیت‌های مختلف زمانی (فصلی و سالانه) و مکانی (واحدهای مختلف صنعتی)، حاکی از عدم وجود چهارچوب مشخص از نظر ضوابط و مقررات پایش و کنترل فعالیت‌ها در مدیریت رودخانه تجن است. به جای مدیریت فنی کنترل بار مجاز آلودگی قابل رهاسازی از سوی صاحبان صنایع، ظاهراً شرایط اقلیمی در این خصوص نقش آفرینی می‌کند. به گونه‌ای که با افزایش میزان بارش غلظت آلودگی‌ها کاهش و در مواقع کم بارش، غلظت زیاد شده و مخاطرات احتمالی را افزایش می‌دهد. به طوری که به دلیل کاهش میزان بارش در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال پیش از آن و همچنین در فصول کم بارش هر سال، مشاهده افزایش قابل توجه شاخص‌های سه گانه این مطالعه، دور از انتظار نخواهد بود.

همین الگو از روی مطالعات سایر محققین نیز قابل برداشت بوده است. به طوری که بررسی تجمع فلزات سنگین در آب رودخانه تجن، نشان می‌دهد هرگاه میزان بارش دچار تقلیل می‌شود، غلظت عناصری از قبیل کادمیم، نیکل و سرب در فصول تابستان و پاییز از استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای آب آشامیدنی بالاتر می‌رود. سعیدی و کرباسی (۱۳۸۵)، منبع اصلی آلودگی تجن را عمدتاً به فاضلاب کارخانه چوب و کاغذ مازندران نسبت داده‌اند. مطالعات صفری نشان داده است که فاکتورهای فیزیکوشیمیایی در ایستگاه‌هایی که در مجاورت صنایع قرار دارند، آلودگی بیشتری را نشان می‌دهند (صفری، ۱۳۸۶). بررسی کیفی آب رودخانه تجن میزان PH را در محدوده بین ۷ تا ۸/۶ نشان داده که در حدود تغییرات متعارف آب‌های جاری است. شاخص BOD در طول سال و در فصول مختلف، از نوسانات چندان زیادی برخوردار نبوده و مقدار میانگین آن برای رودخانه تجن بین ۳ تا ۱۲ برآورد گردیده است. میزان

"دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی (جاری)"، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، نشریه شماره ۵۲۲.

- رضویان، فاطمه. پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۸۳) " بررسی اثرات کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر رودخانه تجن"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.

- زهتابیان، غلامرضا؛ رفیعی امام، عمار؛ علوی پناه، سید کاظم و جعفری محمد (۱۳۸۲) "بررسی کیفیت آب رودخانه جاجرود در ورامین"، نشریه بیابان، شماره ۸، ص ۱۶۴ تا ۱۷۷.

- سعیدی، محسن؛ کرباسی، عبدالرضا (۱۳۸۵) "اثر فعالیت‌های انسانی بر تجمع فلزات سنگین در آب رودخانه تجن در استان مازندران"، مجله محیط شناسی، سال سی و دوم، شماره ۴۰، ص ۴۱ تا ۵۰.

- صفری، رضا (۱۳۸۶) "تعیین و برآورد عملکرد بیواندیکاتورهای موجود در رودخانه تجن و شیروود با هدف جایگزینی با برخی از روش‌های متداول شیمیایی"، سازمان حفاظت محیط زیست استان مازندران.

- لویزه، فرشاد (۱۳۸۴) "بررسی منشأ و میزان تمرکز آلاینده‌های فلزی سنگین در حوضه آبریز رودخانه‌های تالار تجن نکارود"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.

- مهرداد، ناصر؛ صباغی، عقیل و رکنی، محمودعلی (۱۳۸۲) "بررسی کیفی آب رودخانه تجن و تعیین اثر توسعه صنعتی، کشاورزی و شهری بر آن"، مجله آب و فاضلاب اصفهان، شماره ۴۸، ص ۱۲.

- ناصری، سیمین و قانعیان، محمدتقی (۱۳۸۱) "مدیریت کیفیت آب در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها"، انتشارات نص.

رواناب‌های جاری در فصول پر باران و ذخیره‌سازی در مخزن سد و رهاسازی آب جمع‌آوری شده در فصول کم باران جهت استفاده در فعالیت‌های کشاورزی در دست انجام در دشت‌های پایین دستی، رودخانه دارای دبی تقریباً یکنواختی در طول سال بوده است. در پایان باید متذکر گردید که اطلاعات به دست آمده از این تحقیق، مبنای مناسبی را برای استفاده از ابزار اقتصادی رایج در مورد مدیریت رودخانه‌ها تحت عنوان «پروانه‌های قابل مبادله انتشار آلودگی در رودخانه» فراهم می‌سازد.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

1. Dongbin
2. Dellink and Stone
3. Danghue
4. Biological Oxygen Demand
5. Chemical Oxygen Demand
6. Total Suspended Solids
7. Weiner
8. Hinck
9. Kyoto protocol

## ۷- مراجع

- احمدی ممقانی، یوسفعلی؛ خراسانی، نعمت ا...؛ رفیعی، غلامرضا (۱۳۸۹) "بررسی منابع آلاینده و کیفیت آب رود تجن"، نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۴، ص ۳۱۷ تا ۳۲۷.

- اسفندیاری، یحیی. پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۸۹) "بررسی کیفیت آب رودخانه تجن ساری و مدل‌سازی مفهومی آن در سال ۱۳۸۸"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

- دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی (۱۳۸۳) "دستورالعمل نمونه‌برداری از آب"، وزارت نیرو، معاونت امور فنی، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه شماره ۲۷۴.

- دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا (۱۳۸۸)

No. 371, pp. 383-390.

-Hinck Jo Ellen; Ross J. Norstrom; Carl E. Orazio; Christopher J. Schmitt and Donald E. Tillitt. (2009) "Persistence of organo-chlorine chemical residues in fish from the Tombigbee River", Environmental Pollution, No. 157, pp. 582-591.

-Mehrdadi, N; Ghobadi, M and Nasrabadi, T (2006) "Evaluation of the quality and self-purification potential of Tajan river using equal2 model", Journal of Environmental Health Science and Engineering, No.3, pp. 199-204.

-Tajrishi, M. (2001) "A review of water quality problems facing the country", Second Asian Conference on Water and Wastewater Management Proceeding, Ministry of Energy, Tehran:1-10.

-Weiner, Eugene R. (2007) "Applications of environmental aquatic chemistry a practical guide", Third Edition. USA. CRC Press, p. 442.

-Amirzadeh, R. (1998) "Investigation of environmental impacts of development in soil and water in the Tajan watershed at the Mazendaran province", Msc. Dissertation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, p.96.

-Danghue, cathal; Howley, peter; Hynes, Stephen; Fealy, Reamon; Chyzheuskaya, Aksana (2010) "The spatial relationship between economic activity and river water quality", Economics Working Paper no. 163, Department of Economics, National University of Ireland, Galway.

-Dellink, Rob; Stone, Karin (2008) "Integrating economic activity and water quality", Presented at the 11th Annual Conference on Global Economic Analysis, Helsinki, Finland.

-Dongbin, Wei; Akira Kisuno; Takashi Kameya, and Kohei Urano (2006) "A new method for evaluating biological safety of environmental water with alga", Science of Total Environment Journal,

