

نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها

مریم عاشق معلا*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

اصغر محمدی فاضل، مربی دانشگاه محیط زیست، کرج، ایران.

مجید حمای، دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

E-mail*: m.moalla@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۱۸ - پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۲

چکیده

یکی از مهمترین راه‌های جلوگیری از آلودگی منابع آب‌های سطحی تدوین قوانین و استانداردهای تخلیه پساب به این منابع می‌باشد. این استانداردها باید به گونه‌ای باشند که علاوه بر حفظ شرایط کیفی مناسب رودخانه، از لحاظ اقتصادی و فنی نیز قابل اجرا باشند. در استاندارد بسیاری از کشورها از جمله ایران به توان خودپالایی رودخانه‌ها برای تعیین استاندارد تخلیه آلاینده‌ها، به خصوص آلاینده‌های تجزیه پذیر توجهی نشده است. هدف این مقاله نشان دادن این نکته است که تعیین یک استاندارد یکسان برای تخلیه پساب به همه رودخانه‌ها مناسب نیست و شرایط هیدرولیکی و محیطی هر رودخانه باید در نظر گرفته شود، به همین جهت در این مقاله با بکارگیری مدل $QUAL2kw$ شبیه سازی دو سناریو روی رودخانه قشلاق کردستان صورت پذیرفت. در سناریوی اول غلظت پارامترهای اکسیژن محلول در آب (DO) و اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) تخلیه شده به رودخانه به ترتیب ۲ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بر اساس حدود مجاز استاندارد فعلی تخلیه پساب به آب‌های سطحی ایران شبیه‌سازی شد و در سناریوی دوم بر اساس توان خودپالایی رودخانه و منابع آلاینده موجود به شرط حفظ شرایط کیفی مناسب رودخانه (اکسیژن محلول در آب حداقل برابر ۵ میلی‌گرم بر لیتر) حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای پارامتر BOD جهت تخلیه به رودخانه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. مقایسه اقتصادی این دو سناریو و برتری سناریوی دوم با اختلاف هزینه اقتصادی ده میلیارد ریالی نشان داد که می‌توان با استفاده بهینه از توان خودپالایی هر رودخانه استاندارد تعیین کرد که توجیه اقتصادی مناسبی هم برای تخلیه کنندگان داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، استاندارد، تخلیه پساب، خود پالایی، غلظت BOD ، مدل $QUAL2kw$.

۱- مقدمه

در کشور ایران که اقلیمی گرم و نیمه خشک دارد. مهمترین راه حفظ کیفیت منابع آب، تدوین قوانین و استانداردهای مناسب و برنامه ریزی برای اجرای صحیح آنها است. تدوین استانداردهای محیط‌زیستی یک فرایند پیچیده و مشکل و همواره در حال تغییر و تحول است و باید مسائل حقوقی، اقتصادی، سیاسی، اجتماعی،

در طی سال‌های اخیر، با افزایش جمعیت و توسعه روز افزون صنعت و به تبع آن تخلیه‌ی بیشتر پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به منابع آب، بیشتر منابع آب موجود در سطح جهان اعم از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی آلوده شده‌اند. در صورت ادامه این روند، بشر با بحران کمبود آب مواجه می‌شود به‌خصوص

فناوریهای موجود و همچنین نحوه و چگونگی کنترل و پایش در نظر گرفته شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

تعیین استاندارد تخلیه پساب مربوط می شود به زمانی که همگام با رشد روز افزون جوامع، پسماندها و پسابهای شهری، صنعتی و تجاری به رودخانه ها تخلیه می شود و حتی تصور بر این بود که این اقدام به علت تغذیه ماهیان و جانوران آبری مفید هم خواهد بود در نتیجه رودخانه می سی سی پی به مجرای پر از زباله های شهری و صنعتی تبدیل شد. بنابراین در سال ۱۹۲۸ میلادی دفع زباله به رودخانه های بعضی از ایالت های امریکا ممنوع و از سال ۱۹۶۵ میلادی قوانین خاصی برای دفع انواع آلاینده ها و پساب های صنعتی و شهری وضع شد (ثنائی، ۱۳۸۱).

استانداردهای تدوین شده برای تخلیه پساب در کشورهای مختلف براساس پارامترهای در نظر گرفته شده، کاربری ها و محیط های پذیرنده متفاوت است. در امریکا استاندارد تخلیه پساب شهری و صنعتی بر اساس تکنولوژی تدوین شده است و آلاینده ها به سه بخش آلاینده های متداول، غیر متداول و سمی تقسیم بندی شده اند. در ایالت های مختلف کانادا، استاندارد تخلیه پساب به منابع پذیرنده برای فاضلاب شهری به طور جداگانه تهیه شده است، در ژاپن استاندارد ملی تخلیه پساب در دو بخش (۱) استاندارد بر مبنای حفظ سلامت انسان (۲۴ پارامتر شامل کادمیوم و سیانید)؛ (۲) استاندارد بر مبنای حفظ موجودات زنده تدوین شده است (۱۶ پارامتر). در استاندارد نیجریه به منظور تخلیه به آب های سطحی و خاک ۴۱ پارامتر و برای تخلیه به آب های زیرزمینی ۱۴ پارامتر در نظر گرفته شده است. استاندارد کشور سنگاپور، محدوده مجاز برای دفع پساب را در سه طبقه منابع آبی، منابع آبی حفاظت شده و سیستم فاضلاب و برای ۳۶ پارامتر تهیه کرده است. در ویتنام سه سطح استاندارد براساس کاربری محیط پذیرنده تهیه شده که شامل تخلیه به منبع مصرفی جهت آب آشامیدنی (سطح A)، تخلیه به منبع مصرفی جهت کشاورزی، قایقرانی، شنا و پرورش آبزیان (سطح B) و سطح آخر تنها

در موارد خاص با اخذ مجوز به بعضی از محیط های آبی تخلیه می گردند (سطح C). اردن استاندارد تخلیه پساب خود را برای دو محیط پذیرنده شامل: آب های سطحی و تغذیه مصنوعی آبخوان و برای دو گروه از پارامترها تهیه کرده است (ترابیان، ۱۳۸۷). در کشور سیشل استاندارد تخلیه پساب برای همه محیط های پذیرنده یکسان تدوین شده است (Law of Seychelles, Environmental, 1995). کشور موریس استاندارد تخلیه پساب خود را برای محیط های پذیرنده آب های سطحی، اقیانوس، خاک و سیستم فاضلاب تهیه کرده است (Mauritius Environment Protection Regulations, 2003). در استاندارد کشور تایوان هم فقط در پارامتر درجه حرارت بین آب های سطحی و دریاها تفکیک قائل شده و حدود مجاز بعضی از پارامترها به تفکیک صنایع و منابع آلاینده تخلیه کننده تدوین شده اند (Taiwan Environmental Law Library, 2011).

در ایران استاندارد تخلیه پساب به آب های سطحی، به استناد ماده ۵ آئین نامه جلوگیری از آلودگی آب (۱۳۷۳/۹/۵)، با همکاری وزارتخانه های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع، صنایع سنگین، معادن و فلزات کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست بر اساس غلظت آلاینده ها تهیه و تدوین گردیده است. که در آن برای محیط های پذیرنده آب های سطحی، چاه جاذب، مصارف کشاورزی و آبیاری حدود مجاز ۵۲ پارامتر تعیین شده است و دارای ۵ تبصره می باشد (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۳). اما با توجه به مسائلی مانند یوتریفیکاسیون، از بین رفتن جانوران آبری، ایجاد رنگ، بو و آلودگی های مختلف در آب که همگی باعث نزول کیفیت آب های سطحی در کشور شده است، این فرض ایجاد می شود که استاندارد موجود از جامعیت و کارایی موثری برخوردار نیست. لذا بررسی عواملی که باعث ناکارآمدی این استاندارد در پیشگیری از آلودگی منابع آب های سطحی شده و ارائه راهکار برای آنها از وظایف مهم و اساسی در مدیریت منابع آب کشور

است (ترابیان، ۱۳۸۷). در تدوین مقررات تخلیه پساب به رودخانه‌ها، چند عامل باید مورد توجه قرار گیرد که شامل ماهیت فاضلاب تخلیه شده (نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای، تجزیه پذیری و شدت آلودگی)، ظرفیت خودپالایی رودخانه (ویژگی‌های هیدرولیکی، جمعیت گیاهی و جانوری، ماهیت بستر) و کل بارگذاری جرمی ورودی در نقاط مختلف می‌گردد (وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

بررسی و مقایسه استانداردهای پساب ایران و سایر کشورها در منابعی مانند نزل‌آبادی و پیاده (۱۳۹۱) و چائی بخش لنگرودی (۱۳۸۸) و همچنین کارآمدی استاندارد فعلی ایران در مقاله عاشق‌معلا و ملک‌محمدی (۱۳۸۹) به تفصیل ارائه شده است. اما تمرکز این مقاله بر بررسی یکی از مهمترین ضعف‌های استاندارد فعلی است که در استاندارد سایر کشورها هم وجود دارد و آن، عدم توجه به تفاوت خصوصیات محیط‌های پذیرنده پساب‌ها و وضع موجود آنها می‌باشد. استاندارد فعلی در تعیین معیارها و حدود مجاز تخلیه پساب‌ها بین انواع مختلف آب‌های سطحی (دریاها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، رودخانه‌ها و...) تفکیک قائل نشده است، زیرا که نه تنها هر یک از این گروه‌ها از نظر شرایط محیطی، هیدرولوژیکی، وجود آبزیان، قدرت جذب و تصفیه طبیعی آلاینده‌ها متفاوت هستند (EPA, 1997)، بلکه محیط‌های پذیرنده هر یک از انواع آب‌های سطحی هم، از نظر شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی متفاوت هستند و میزان بار آلودگی قابل تحمل آنها تابع عوامل زمانی و مکانی مختلف، نوع و شدت بار آلودگی ورودی و همچنین شرایط محیطی است.

به علت پیچیدگی عوامل مختلف تعیین کننده کیفیت آب، تفاوت‌های زیادی بین رودخانه‌های واقع در مناطق آب و هوایی و جغرافیایی متفاوت وجود دارد (EPA, 1997). در نتیجه تدوین یک استاندارد یکسان برای همه رودخانه‌های موجود در کشور که بتواند کیفیت شیمیایی یا زیستی آب رودخانه‌ها را تضمین کند، صحیح و اجرایی نیست و حداقل در تعیین حدود مجاز آلاینده‌های تجزیه

پذیر که رودخانه‌ها براساس توان خودپالایی خود، قادر به زدودن آنها هستند باید تفکیکی بین رودخانه‌ها و حتی در مواردی بین بازه‌های مختلف یک رودخانه صورت گیرد. از طرف دیگر تعیین یک استاندارد و حد مجاز ایده‌آل، برای حفظ هیچ یک از منابع محیط‌زیستی، راهگشا نخواهد بود و باید با استفاده بهینه از توان خودپالایی رودخانه، به جلب نظر، منافع و مشارکت ذینفعان هم توجه شود. اگر بدون توجه به جنبه‌های اقتصادی سختگیرانه‌ای جهت عدم آلودگی رودخانه‌ها تدوین شود، این استاندارد یا اجرا نمی‌شود و یا در صورت اجبار، در آن تخلف صورت می‌گیرد و این یکی از دلایل آلودگی محیط‌زیست و نابودی بیشتر منابع آبی می‌باشد. طبق بررسی‌های صورت گرفته در ایران، تخلیه کنندگان آلاینده‌ها نیز تمایل به در نظر گرفتن توان خودپالایی رودخانه در تصفیه آلودگی دارند، چون گاهی فقط چند درصد تصفیه بیشتر هزینه‌ای بالغ بر کل تصفیه اولیه دارد. لذا استفاده بهینه از توان طبیعی رودخانه برای تصفیه آلودگی، هم جلب نظر ذینفعان را در بردارد و هم منافع اقتصادی آنها را شامل می‌شود. همچنین در برخی از کشورهای پیشرفته، متناسب با وضعیت کیفی منابع آب، از استانداردهای ایالتی (استانی) استفاده می‌نمایند مثلاً در برخی از استان‌های ژاپن، استاندارد وضع شده سختگیرانه تر از استاندارد ملی آنهاست (علوی مقدم، ۱۳۸۳). در امریکا تخلیه پساب به مجاری پذیرنده از طریق تدوین استانداردهای تخلیه موسوم به "سامانه ملی حذف تخلیه آلاینده" کنترل می‌شود. در این سامانه، مجوزهای لازم با محدودیت‌های کمی و کیفی پساب در ایالات مختلف صادر می‌شود و نظارت عالی بر آنها توسط دولت فدرال صورت می‌گیرد. محدوده‌های مذکور در ایالات مختلف متفاوت است و به‌صورت مورد به مورد و بر اساس تخمین آتارسوء بالقوه بر محیط‌زیست و برای منابع متعدد بارگذاری مواد زاید، در قالب توزیع میزان بارگذاری در طول مسیر رودخانه به‌منظور بهینه‌سازی استفاده از ظرفیت

خودپالایی مجرای آبی تعیین می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ابتدا منابع آلاینده رودخانه، غلظت و بارآلودگی که در هر قسمت از رودخانه تخلیه می‌شود، مورد شناسایی قرار می‌گیرد، سپس با بدست آوردن شناخت کلی از شرایط هیدرولوژیکی و توپوگرافی، رودخانه به چند بازه متفاوت از نظر مشخصات هیدرولیکی، فیزیکی (شیب رودخانه، مقطع عرضی رودخانه، زبری و غیره) و ضرایب واکنش‌ها (مانند ضریب زوال BOD (۱)، هوادهی و هواگیری) تقسیم می‌شود، به نحوی که در ابتدای هر بازه یک ایستگاه اندازه‌گیری قرار بگیرد. بعد از وارد کردن اطلاعات ایستگاه‌ها، منابع آلاینده و شرایط هیدرولیکی به یک مدل شبیه‌ساز کیفیت رودخانه، با تغییر در ضرایب سنتتیک، مدل واسنجی می‌شود و شرایط موجود کیفی رودخانه شبیه‌سازی می‌گردد. از آنجایی که مشخصه BOD_5 علاوه بر مشترک بودن از نظر نوع یا ماهیت در بین تمام منابع آلاینده، باعث کاهش DO (۲) در رودخانه می‌شود و همچنین شاخص DO معمولاً به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی کنترل کیفیت در رودخانه می‌باشد، این پارامترها مبنای شبیه‌سازی قرار خواهند گرفت. بعد از آن برای تعیین حد مجاز مناسب تخلیه BOD به رودخانه‌ی مورد مطالعه و بررسی کارآمدی استاندارد فعلی، دو سناریو تدوین شد. در سناریوی اول، منابع آلاینده، غلظت پارامترهای BOD و DO بر اساس استاندارد فعلی محیط‌زیست و شرایط کیفی رودخانه بعد از لحاظ کردن استاندارد بررسی می‌شود و هزینه تصفیه بارآلودگی هر یک از منابع آلاینده برای رسیدن به حد مجاز کیفی رودخانه محاسبه می‌گردد. در سناریوی دوم با توجه به توان خودپالایی رودخانه و منابع آلاینده موجود، غلظت دیگری برای حد مجاز تخلیه پارامتر BOD لحاظ می‌شود، بطوریکه با اجرای آن علاوه بر رعایت حد مجاز

اکسیژن محلول، هزینه کمتری هم برای تصفیه آلودگی بر تخلیه کنندگان تحمیل شود (در این تحقیق حد مجاز اکسیژن محلول در استاندارد کیفی رودخانه بر اساس استاندارد اروپا برای کلاس کیفی مناسب، حداقل برابر ۵ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته شد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۸). سپس این دو سناریو با هم مقایسه می‌شوند.

برای مقایسه سناریوها از نظر اقتصادی، هزینه‌هایی که بعد از اجرای هر یک از سناریوها بر تخلیه کنندگان تحمیل می‌شود محاسبه شده، بطوریکه مقدار بار آلودگی فعلی از بار آلودگی مجاز کم می‌شود و هزینه تصفیه برای کاهش آن مقدار بار آلودگی بیش از حد مجاز حساب می‌شود. به منظور محاسبه هزینه تصفیه، با بررسی‌های انجام شده در پروژه‌های جاری کشور در سال ۱۳۹۰، برای احداث تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری به ازای هر یک کیلوگرم بار آلودگی در روز حدود ۲۳ میلیون ریال و برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی به ازای هر یک کیلوگرم بار آلودگی در روز حدود ۳۰ میلیون ریال با عمر مفید ۲۵ سال فرض شده است.

برای بدست آوردن معیار مقایسه و در نظر گرفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، هزینه کنترل آلودگی منابع آلاینده بر اساس هزینه‌های معادل سالانه از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵).

رابطه (۱):

$$A = P * [(i * (1 + i)^n)] / ((1 + i)^n - 1)$$

که در آن:

A = ارزش معادل سالیانه؛

i = نرخ بهره است که در اینجا ۱۵٪ فرض شده است؛

n = تعداد سال‌های بهره‌برداری که ۲۵ سال می‌باشد؛

P = هزینه سرمایه‌گذاری فعلی.

در این تحقیق هزینه بهره‌برداری معادل ۳ درصد هزینه سالانه برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و ۲ درصد برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در نظر گرفته شده است (جعفری و همکاران، ۱۳۸۸).

در نهایت با مقایسه دو سناریو مطرح شده، درباره کارآمدی استاندارد فعلی بحث خواهد شد.

– مدل شبیه‌سازی مورد استفاده

$$\text{CBOD}_u = \frac{\text{CBOD}_5}{1 - e^{-5k}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

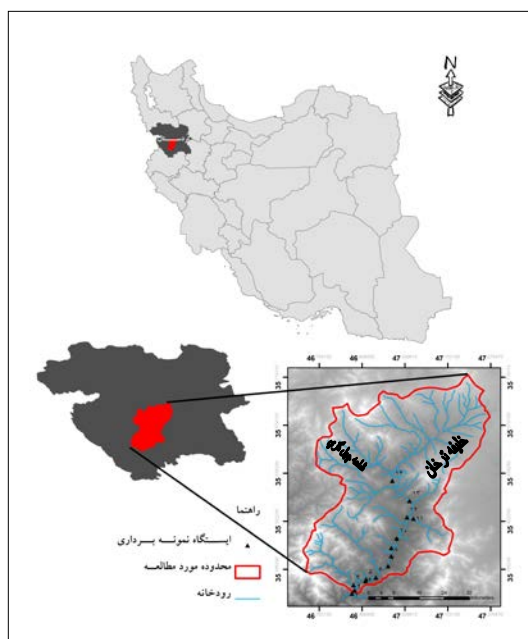
که در این رابطه k نرخ تجزیه CBOD بر حسب day^{-1} می‌باشد.

مقدار رنج k برابر $1 - 0.05 \text{ day}^{-1}$ می‌باشد (Chapra, 1997). اگر نرخ کاهش BOD در هر روز ثابت فرض شود، مقدار معمول k برابر $1 - 0.23 \text{ day}^{-1}$ می‌باشد (Barnwell et al., 1989).

حال با ثابت مقدار k برابر 0.23 مقادیر CBOD نهایی محاسبه گردیده و وارد نرم افزار می‌گردد.

– منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از رودخانه قشلاق در حوضه آبخیز رودخانه قشلاق واقع در استان کردستان است که حد فاصل سد قشلاق (وحدت) تا پایین دست رودخانه قشلاق به طول ۵۰ کیلومتر را شامل می‌شود. شکل (۱).



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز رودخانه قشلاق در استان کردستان

رودخانه قشلاق دارای آب دائمی و رژیم جریان آبی، برفی- بارانی است. بخشی از آب آن نیز توسط چشمه‌های آهکی موجود در حوضه تامین می‌شود. دبی

مدل‌های شبیه‌سازی مدلهایی هستند که برای پیش‌بینی رفتار یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها به صورت مستقیم نمی‌توانند گزینه‌های مناسب مدیریتی را برای محدودیت‌های داده شده محاسبه کنند، بنابراین در قالب سناریوهای مختلف، سیستم را شبیه‌سازی می‌کنند و از خروجی‌های آنها برای مدیریت سیستم استفاده می‌شود. این مدل‌ها پرکاربردترین مدل‌های مورد استفاده در مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب هستند (مصباح، ۱۳۸۷)، در مطالعه حاضر، از بین مدل‌های مختلف، مدل QUAL2kw به دلایل زیر انتخاب شد:

– قابلیت دسترسی آسان عموم به آن؛

– با حداقل هزینه می‌توان آن را تهیه نمود؛

– این مدل امروزه به طور گسترده‌ای در مطالعات تعیین بار مواد زاید به کار گرفته شده است و عموماً مورد قبول متخصصان امر می‌باشد (میری، ۱۳۸۸).

مدل QUAL2kw آخرین مدل از سری مدل‌های QUAL می‌باشد که قابلیت انجام تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را دارا می‌باشد. این مدل می‌تواند معادلات مربوط به رودخانه را هم در شرایط دائمی و هم شبه دینامیکی حل کند. این برنامه قادر است پارامترهایی مانند اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، دما، اسیدیته، مواد معلق، فسفر کل، فسفر آلی، نیتروژن کل، نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن نیتروزی، نیتروژن آلی و جلبک‌ها را در شبکه رودخانه شبیه‌سازی کند. این برنامه قادر است پخش طولی مواد اکسیژن مورد نیاز رسوبات، ته‌نشینی مواد کربنی، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون را در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب به حساب آورد (Chapra et al., 2006).

توجه به این نکته خیلی مهم است که مدل QUAL2kw از پارامتر CBOD نهایی برای شبیه‌سازی BOD استفاده می‌کند در نتیجه می‌بایست قبل از اجرای نرم افزار مقادیر CBOD_5 (۳) بر پایه CBOD نهایی محاسبه گردد. رابطه (۲) برای تبدیل CBOD_5 به CBOD نهایی می‌باشد (kannel et al., 2007).

بحرانی ترین زمان از لحاظ کمترین مقدار دبی و بیشترین میزان دما برای رودخانه تشخیص داده شد و از اطلاعات سلیم، ۱۳۸۸)، فصل تابستان مرداد ماه ۱۳۸۷ به عنوان بحرانی ترین زمان از لحاظ کمترین مقدار دبی و بیشترین میزان دما برای رودخانه تشخیص داده شد و از اطلاعات این ماه برای مدل سازی رودخانه استفاده گردید.

در این تحقیق، ۱۴ ایستگاه پایش در نظر گرفته شده که چهارتای آنها روی شاخه های فرعی که به عنوان ورودی رودخانه قشلاق محسوب می شوند و بقیه در طول رودخانه اصلی واقع شده اند. با توجه به اینکه آب خروجی از دریچه سد از لحاظ کیفی شرایط مناسبی دارد، کمی پایین تر از خروجی سد، به عنوان ایستگاه شاخص (S14) در بالا دست محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. موقعیت این ایستگاه ها در شکل (۲) آورده شده اند. پس از بررسی های به عمل آمده و تعیین شیب کف کانال، عرض کف، شیب دیواره ها و ضریب زبری مقاطع مختلف، رودخانه از بعد از سد قشلاق به ۹ بازه (Reach) تقسیم بندی شد. شکل (۲). نام بازه های انتخاب شده، طول، ارتفاع و سایر شرایط هیدرولیکی هر بازه در جدول (۱) ارائه شده است.

آب طی فصل های مختلف سال دارای نوسان می باشد. طبق اندازه گیری های انجام شده، کم ترین مقدار دبی آب در مرداد ماه بوده و برابر با ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه اندازه گیری شده است. از آن زمان به بعد مقدار آب دارای سیر صعودی بوده تا در اسفند ماه به بیش ترین مقدار خود یعنی ۷.۲۶۷ متر مکعب بر ثانیه می رسد (جعفری سلیم، ۱۳۸۸).

رودخانه قشلاق یکی از رودخانه های مهم مرزی غرب کشور بوده که در تامین نیاز آبی منطقه و استان نقش ویژه ای را ایفا می نماید و از آنجایی که این رودخانه از مجاورت شهر سنندج عبور می کند در طول مسیر خود بعد از سد وحدت تا تلاقی با رودخانه گاورد، در معرض ورود آلاینده های مختلفی قرار دارد.

۳- نتایج

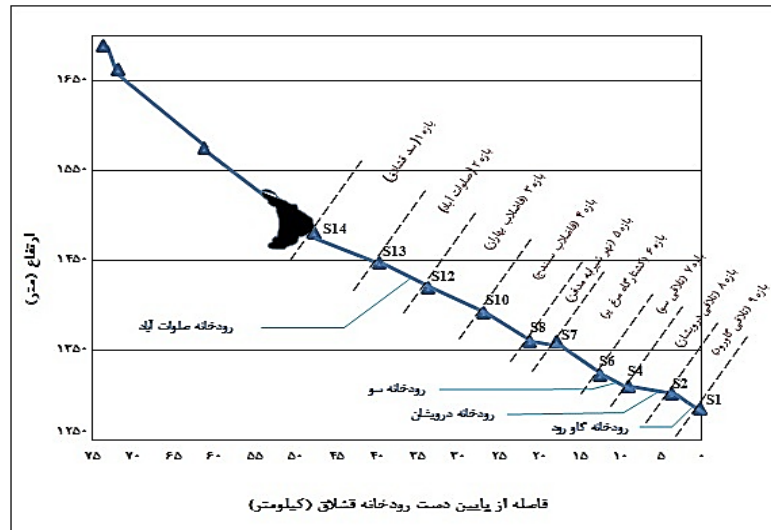
۳- بررسی شرایط کیفی رودخانه

با بررسی اطلاعات مربوط به نمونه برداری در دوره های مختلف و مقایسه نتایج کمی و کیفی رودخانه (جعفری سلیم، ۱۳۸۸)، فصل تابستان مرداد ماه ۱۳۸۷ به عنوان

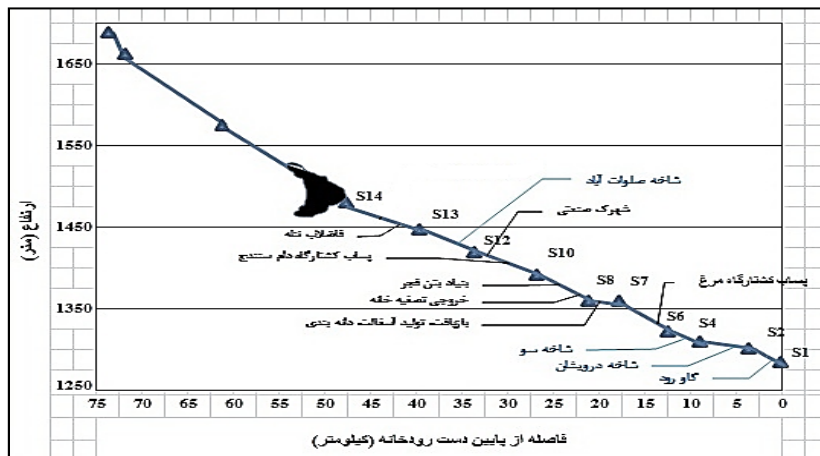
جدول ۱. مشخصات بازه های رودخانه قشلاق (جعفری سلیم، ۱۳۸۸)

شماره هر بازه	نام بازه ها	طول هر بخش (کیلومتر)	موقعیت نسبت به پایین دست (کیلومتر)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	ضریب زبری مانینگ	عرض کف رودخانه (متر)	شیب کف	شیب کناره
۰	سرشاخه		۴۹/۴۵	۱۴۷۹	۰/۰۹	۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
۱	سد قشلاق	۱۰/۴۵	۳۹	۱۴۴۷	۰/۰۹	۵/۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
۲	صلوات آباد	۴	۳۵	۱۴۱۹	۰/۰۸	۷/۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲۵
۳	بهاران	۶/۳۵	۲۸/۵۶	۱۳۹۰	۰/۰۶	۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
۴	فاضلاب سنندج	۵/۷	۲۲/۹۵	۱۳۶۲	۰/۰۵۵	۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱۵
۵	شیرابه مدفن	۵/۴	۱۷/۵۵	۱۳۵۷	۰/۰۵۵	۱۲/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۶	کشترگاه مرغ پر	۵/۵	۱۲/۰۵	۱۳۳۲	۰/۰۵	۱۲/۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۷	تلاقی سو	۳/۴	۸/۶۵	۱۳۱۱	۰/۰۵	۱۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۵
۸	تلاقی درویشان	۵/۴	۳/۲۵	۱۲۹۳	۰/۰۴۵	۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۵
۹	تلاقی گاورد	۳/۲۵	۰	۱۲۲۶	۰/۰۵	۱۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱

نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها



شکل ۲. بازه‌بندی محدوده مورد مطالعه (رودخانه قشلاق)



شکل ۳. محل قرارگیری منابع آلاینده نقطه‌ای در بازه‌های رودخانه قشلاق (جعفری سلیم، ۱۳۸۸)

جدول ۲. منابع آلاینده نقطه‌ای موجود در طول رودخانه قشلاق (جعفری سلیم، ۱۳۸۸)

بار آلودگی (دبی* BOD)(gr/s)	BOD (Mg/lit)	دبی فاضلاب (m3/s)	فاصله تا پایین دست رودخانه (km)	محل قرارگیری در بازه	نام واحد تخلیه کننده
۲۰/۸۰	۲۰۰	۰/۱	۴۱	۱	فاضلاب ننه
۹/۱۳	۸۰۰	۰/۰۱	۳۳	۳	شهرک صنعتی
۲/۵۷	۹۰۰	۰/۰۰۳	۲۸	۳	کشتارگاه دام سنندج
۰/۲۰	۵۰	۰/۰۰۴	۲۵	۴	بنیاد بتن فجر
۱۳۶/۶۳	۹۷/۹۴	۱/۴۰	۲۳	۴	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب
۰/۱۴	۴۰	۰/۰۰۳	۲۱	۵	بازیافت، تولید آسفالت و دانه بندی شهرداری
۶۱/۶۴	۲۰۵۴/۷۹	۰/۰۳	۱۹	۵	نهر شیرابه مدفن
۱/۶۶	۶۹۸/۶۳	۰/۰۰۲	۱۴	۶	کشتارگاه مرغ پر

- شناسایی منابع آلاینده

در حد فاصل سد قشلاق تا انتهای رودخانه، ۸ منبع آلاینده نقطه‌ای که داده‌های مکانی و داده‌های کیفی آنها در دسترس بود، شناسایی شد که اطلاعات آنها در جدول (۲) آورده شده است و همچنین محل قرارگیری آنها در طول رودخانه، فاصله آنها از پایین دست رودخانه و ارتفاعشان در شکل (۳) که پروفیل طولی رودخانه را نشان می‌دهد، ارائه شده است.

بعد از انجام کلیه اندازه‌گیری‌ها و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات، پارامترهای دما، هواشناسی، دبی، هدایت الکتریکی، PH، CBOD، DO، نیترات، عمق و سرعت جریان رودخانه به‌عنوان پارامترهای اندازه‌گیری شده جهت ورودی به مدل انتخاب گردیدند.

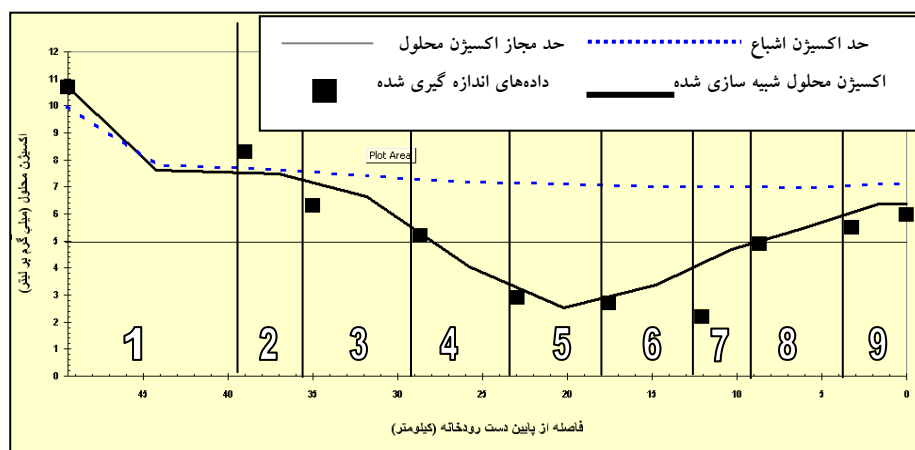
- شناسایی نقاط و بازه‌های بحرانی

بعد از وارد کردن اطلاعات به مدل، واسنجی کردن و

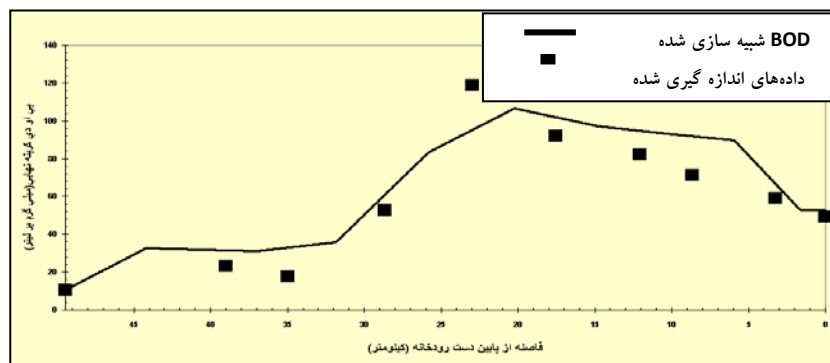
انجام شبیه‌سازی توسط مدل، روند تغییرات DO و CBOD در شکل‌های (۴ و ۵) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل (۴) نمایان است، منحنی نشان دهنده اکسیژن محلول در بازه‌های ۴، ۵، ۶، و ۷ از خط نشان دهنده حد مجاز ۵ میلی‌گرم بر لیتر پایین تر آمده‌است؛ لذا این بازه‌ها در بدترین شرایط افت اکسیژن محلول در آب قرار دارند و بحرانی‌ترین نقطه هم در بازه پنج قرار گرفته است.

- تدوین سناریوهای شبیه‌سازی

در این مقاله، برای بررسی کارآمدی استاندارد فعلی محیط‌زیست در رودخانه مورد مطالعه، دو سناریو تعریف شد و با استفاده از مدل، شبیه‌سازی شد تا بتوان با مقایسه این دو سناریو مناسب‌ترین حد مجاز تخلیه BOD به رودخانه مورد مطالعه را تعیین کرد.



شکل ۴. بازه بندی رودخانه قشلاق و پروفیل تغییرات اکسیژن محلول در آب



شکل ۵. روند تغییرات شبیه‌سازی شده BOD کربنه در طول رودخانه قشلاق بوسیله نرم‌افزار Qual2kw

نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها

خواهد بود. ولی آیا انجام این سناریو از نظر اقتصادی بهینه است؟

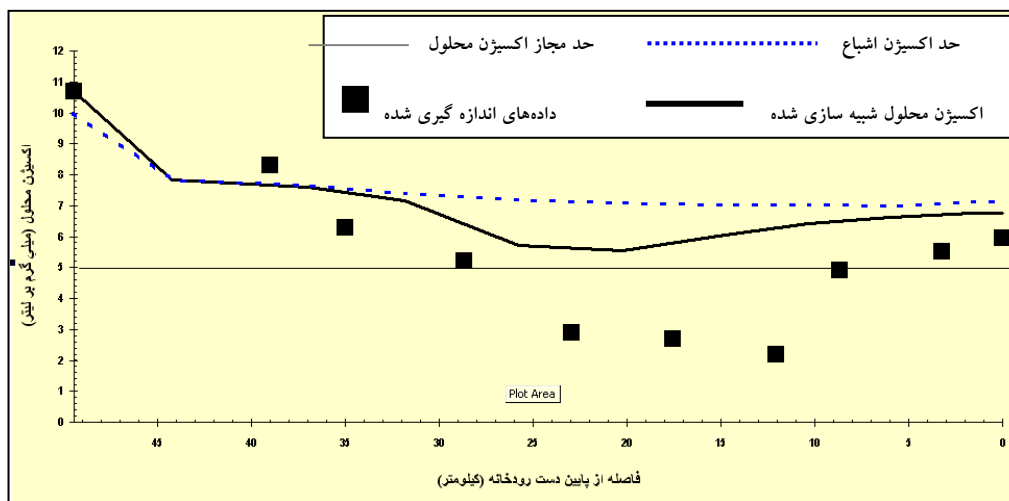
با اجرای این سناریو، بر تمام تخلیه کنندگان هزینه‌ای مشتمل بر احداث تصفیه‌خانه و هزینه بهره برداری تحمیل خواهد شد که برای محاسبه آن، مقدار بار آلودگی فعلی از بار آلودگی مجاز کم می‌شود و هزینه تصفیه برای کاهش مقدار بار آلودگی بیش از حد مجاز حساب می‌شود. میزان کاهش بار آلودگی برای هر یک از تخلیه کنندگان در این سناریو در جدول (۳) ارائه شده است و همینطور هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره برداری کاهش بار آلودگی لازم برای اجرای این سناریو طبق فرضیات بخش روش پژوهش و رابطه (۱) محاسبه شده و نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است.

- سناریو یک: تخلیه فاضلاب منابع آلاینده مطابق با استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست:

در این سناریو فرض شد که همه‌ی منابع آلاینده، غلظت پارامترهای DO و BOD پسابشان را بر اساس استاندارد تخلیه پساب سازمان حفاظت محیط‌زیست تخلیه کنند.

بر اساس این استاندارد، اکسیژن محلول در پساب‌ها حداقل ۲ میلی‌گرم بر لیتر و BOD، حداکثر ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد و این مقادیر برای همه منابع آلاینده وارد مدل شد و شبیه‌سازی صورت گرفت. شکل (۶) نشان دهنده تغییرات نمودار اکسیژن محلول در رودخانه بعد از این شبیه‌سازی می‌باشد.

همانطور که نمایان است حد اکسیژن محلول در بازه‌های مورد مطالعه رودخانه، هیچ‌گاه کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر نمی‌شود و شرایط کیفی آب در طول رودخانه مناسب



شکل ۶. نمودار تغییرات اکسیژن محلول رودخانه بعد از اجرای سناریویک (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۳. برآورد کاهش بار آلودگی لازم برای اجرای سناریو یک (کیلوگرم بر روز)

بازه	۱	۳	۴	۵	۶
نام واحد تخلیه کننده	فاضلاب نله	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب
سناریو ۱	۱۵۲۷/۵۵۲	۷۵۹/۴۵۲	۲۱۴/۵۲۱	۶/۹۵۹	۸۱۸۹/۳۰
سناریو ۲	۱۳۷/۳۹۰	۵۲۴/۲۶۷	۲/۹۸۰	۵۲۴/۲۶۷	۱۳۷/۳۹۰

- سناریوی دو: غلظت‌های مساوی BOD در تخلیه

برای بررسی اینکه آیا رودخانه ظرفیت تحمل غلظتی بیش از حد تعیین شده در استاندارد را دارد یا نه، در این سناریو با سعی و خطا در مدل و بررسی غلظت‌های مختلف، غلظت متناسب با شرایط موجود و توان خودپالایی رودخانه بدست آمد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر حداکثر غلظتی BOD می‌باشد که همه منابع آلاینده می‌توانند به میزان یکسان تخلیه کنند بدون اینکه میزان اکسیژن محلول کمتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر شود شکل (۷). این سناریو نشان می‌دهد که استاندارد محیط‌زیست را با توجه به شرایط هر رودخانه‌ای می‌توان تعدیل و بومی کرد. البته چون در این سناریو حد مبنا نقطه بحرانی در نظر گرفته شد، غلظت ۵۰ میلی‌گرم در BOD تعیین شد در غیر این صورت غلظت فراتر از این نیز با توان خودپالایی دیگر نقاط رودخانه سازگار می‌باشد. بنابراین در بازه‌های مختلفی از رودخانه هم می‌توان استانداردهای متفاوتی در نظر گرفت.

میزان کاهش بار آلودگی برای هر یک از تخلیه‌کنندگان در این سناریو در جدول (۵) ارائه شده است و همینطور هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری کاهش بار روش پژوهش و رابطه (۱) محاسبه شده و نتایج آن در

جدول (۶) نشان داده شده است. جمع نهایی هزینه‌های تصفیه همه تخلیه‌کنندگان در هر سناریو ملاک مقایسه اقتصادی دو سناریو مطرح شده قرار گرفت. اختلاف حدود ده میلیارد ریالی هزینه محاسبه شده در هر سناریو، نشان از برتری سناریو دوم بر سناریو اول دارد پس می‌توان با تعیین یک استاندارد مناسب و درخور محیط پذیرنده، هم به حفظ شرایط کیفی و محیط‌زیستی رودخانه پرداخت و هم نفع اقتصادی تخلیه‌کنندگان را در نظر گرفت. اگر در رودخانه‌ای به علت تعداد زیاد منابع آلاینده و بارآلودگی زیاد و دیگر شرایط محیطی، استاندارد محیط‌زیست نمی‌تواند بحران را در رودخانه حل کند می‌توان با محلی کردن استانداردها از حدود مجاز سختگیرانه‌تر و دقیق‌تر استفاده کرد مثل استانداردهای دولتهای محلی شیگا و کاناگاوا در کشور ژاپن که خیلی سختگیرانه‌تر از استاندارد ملی آن کشور (Environmental Agency of Japan, 1998) و (علوی مقدم، ۱۳۸۳). همینطور در امریکا از استانداردهای ایالتی و محلی استفاده می‌شود و با توجه به نتایج رضایت بخش مدیریت منابع آب در این کشورها، اقدامات در سطح محلی باید سرلوحه مدیریت کیفی منابع آب باشد.

جدول ۴. برآورد مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری کاهش بار آلودگی لازم برای اجرای سناریوی ۱

بازه	نام واحد تخلیه‌کننده	هزینه احداث (تصفیه‌خانه ریال)	ارزش سالیانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (ریال)	هزینه بهره‌برداری سالانه (ریال)	مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره‌برداری (ریال)
۱	فاضلاب نله	۳۵۱۲۲۶۹۶۰۰	۵۴۳۵۱۶۱۷۷۲	۱۰۸۷۰۲۲۳۵	۵۵۴۳۸۶۵۰۰۸
۳	شهرک صنعتی	۲۲۷۸۳۵۶۱۶۴۴	۳۵۲۴۶۰۳۳۶۹	۱۰۵۷۳۸۱۰۱	۳۶۳۰۳۴۱۴۷۰
	کشتارگاه دام سندج	۶۴۳۵۶۱۶۴۳۸	۹۹۵۵۸۶۰۱۷	۲۹۸۶۷۵۸۰	۱۰۲۵۴۵۳۵۹۷
۴	بنیاد بتن فجر	۲۰۸۷۶۷۱۲۳	۳۲۲۹۶۱۴۹	۹۶۸۸۸۴	۳۳۲۶۵۰۳۴
	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب	۱۸۸۳۵۳۸۹۳۶۹۹	۲۹۱۳۸۲۳۴۷۸۰	۵۸۲۷۶۴۶۹۶	۲۹۷۲۰۹۹۹۴۷۵
۵	بازیافت، تولید آسفالت و دانه بندی شهرداری	۸۹۴۰۸۲۱۹	۱۳۸۳۱۳۹۸	۴۱۴۹۴۲	۱۴۲۴۶۳۴۰
	نهر شیرابه مدفن	۱۲۰۷۱۰۱۵۰۱۳۷	۱۸۶۷۳۷۸۸۰۸۰	۳۷۳۴۷۵۷۶۲	۱۹۰۴۷۲۶۳۸۴۲
۶	کشتارگاه مرغ پر	۴۱۲۱۶۹۲۶۲۵	۶۳۷۶۲۳۳۸۶	۱۹۱۲۸۷۰۲	۶۵۶۷۵۲۰۸۷
	جمع کل				۵۹۶۷۲۱۸۶۸۵۳

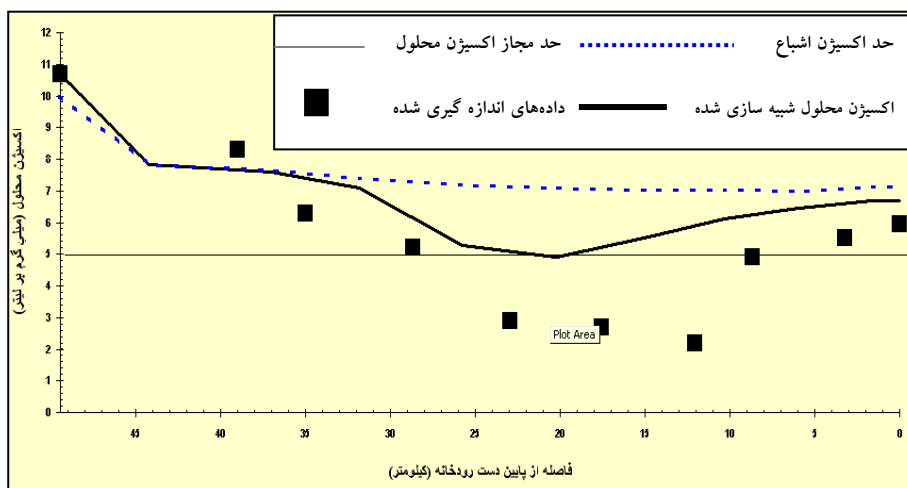
نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها

جدول ۵. برآورد کاهش بارآلودگی لازم برای اجرای سناریو دو (کیلوگرم بر روز)(منبع: یافته‌های پژوهش)

بازه	۱	۳	۴	۵	۶
نام واحد تخلیه‌کننده	فاضلاب ننه	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب
سناریوی ۱	۱۳۴۷/۸۴۰	۷۳۹/۷۲۶	۲۰۹/۵۸۹	۰۰/۰	۵۷۷۸/۷۴۰
نهر شیرابه مدفن	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰
کشتارگاه مرغ پر	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰
مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره برداری (ریال)	۴۸۹۱۶۵۵۹۵	۳۵۳۶۰۴۶۸۱۶	۱۰۰۱۸۷۹۹۵۱	۰	۰
هزینه بهره برداری (ریال)	۹۵۹۱۴۶۲۰	۱۰۲۹۹۱۶۵۷	۲۹۱۸۰۹۶۹	۰	۰
ارزش سالیانه هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه (ریال)	۴۷۹۵۷۳۰۹۷۶	۳۴۳۳۰۵۵۲۳۰	۹۷۲۶۹۸۹۸۲	۰	۰
هزینه احداث تصفیه‌خانه (ریال)	۳۱۰۰۰۳۲۰۰۰۰	۲۲۱۹۱۷۸۰۸۲۲	۶۲۸۷۶۷۱۲۳۳	۰	۰
نام واحد تخلیه‌کننده	فاضلاب ننه	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب
بازه ۱	فاضلاب ننه	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب
بازه ۳	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب	فاضلاب ننه
بازه ۴	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب	فاضلاب ننه	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج
بازه ۵	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب	فاضلاب ننه
بازه ۶	کشتارگاه مرغ پر	شهرک صنعتی	کشتارگاه دام سنندج	بنیاد بتن فجر	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب
جمع کل	۴۹۸۹۸۲۸۲۹۱۰	۱۱۹۵۱۷۸۳۰۱۳۷	۳۹۹۸۴۰۴۹۵۴	۶۱۸۵۵۰۸۵۷	۱۸۵۵۶۵۲۶

جدول ۶. برآورد مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره برداری کاهش بار آلودگی لازم برای اجرای سناریوی دو

بازه	نام واحد تخلیه‌کننده	هزینه احداث تصفیه‌خانه (ریال)	ارزش سالیانه هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه (ریال)	هزینه بهره برداری (ریال)	مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره برداری (ریال)
۱	فاضلاب ننه	۳۱۰۰۰۳۲۰۰۰۰	۴۷۹۵۷۳۰۹۷۶	۹۵۹۱۴۶۲۰	۴۸۹۱۶۵۵۹۵
۳	شهرک صنعتی	۲۲۱۹۱۷۸۰۸۲۲	۳۴۳۳۰۵۵۲۳۰	۱۰۲۹۹۱۶۵۷	۳۵۳۶۰۴۶۸۱۶
	کشتارگاه دام سنندج	۶۲۸۷۶۷۱۲۳۳	۹۷۲۶۹۸۹۸۲	۲۹۱۸۰۹۶۹	۱۰۰۱۸۷۹۹۵۱
۴	بنیاد بتن فجر	۰	۰	۰	۰
	خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب	۱۳۲۹۱۱۰۱۳۶۹۹	۲۰۵۶۱۲۵۴۳۸۱	۴۱۱۲۲۵۰۸۸	۲۰۹۷۲۴۷۹۴۶۹
۵	فاضلاب ننه	۰	۰	۰	۰
	شهرک صنعتی	۱۱۹۵۱۷۸۳۰۱۳۷	۱۸۴۸۹۳۳۶۸۸۹	۳۶۹۷۸۶۷۳۸	۱۸۵۹۱۲۳۶۲۷
۶	کشتارگاه مرغ پر	۳۹۹۸۴۰۴۹۵۴	۶۱۸۵۵۰۸۵۷	۱۸۵۵۶۵۲۶	۶۳۷۱۰۷۳۸۲
جمع کل		۴۹۸۹۸۲۸۲۹۱۰			



شکل ۷. نمودار تغییرات اکسیژن محلول رودخانه بعد از اجرای سناریو دو (منبع: یافته‌های پژوهش)

۴- نتیجه گیری

در استاندارد فعلی تخلیه پساب به آب‌های سطحی کشور ایران، حدود غلظت‌های پارامترهای کیفی پساب‌های تخلیه شده به همه رودخانه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است، درحالی‌که با توجه به تنوع زیاد اقلیمی و جغرافیایی در ایران، رودخانه‌های آن از لحاظ شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و شرایط محیطی متفاوت هستند. در این مقاله از مدل کیفیت آب QUAL2kw برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه قشلاق بر اساس داده‌های سال ۱۳۸۷ استفاده شد. حد مجاز استاندارد فعلی در پارامترهای اکسیژن محلول و بی‌اودی که به ترتیب ۲ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد در قالب سناریویی برای همه تخلیه کنندگان پساب اجرا شد و نشان داده شد که حد مجاز معیار کیفیت رودخانه (حداقل DO برای ۵ میلی‌گرم در لیتر) تامین می‌شود ولی از لحاظ اقتصادی هزینه بالایی دارد. لذا در سناریوی دیگری با استفاده از شبیه‌سازی مدل با در نظر گرفتن بازه بحرانی، حداکثر بارآلودگی قابل تحمل این رودخانه برآورد شد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای این رودخانه پیشنهاد شد که اجرای آن از لحاظ اقتصادی مناسب تر بود. حتی بدون لحاظ کردن بازه بحرانی، رودخانه می‌تواند غلظتهای بیشتری از BOD را نیز تحمل کند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که نه تنها استانداردها برای رودخانه‌های مختلف بر اساس شرایط خودپالایی‌شان باید متفاوت باشد، بلکه بهتر است استانداردها بر اساس تفاوت‌های عمده در نقاط مختلف یک رودخانه تفکیک شوند. لذا محلی کردن استانداردهای تخلیه پساب تاثیر بسزایی در حفظ توام شرایط مناسب رودخانه و منافع اقتصادی ذینفعان خواهد داشت. این یکی از روش‌هایی است که کشورهای پیشرفته‌ای مثل ژاپن و آمریکا با اجرای آن توانستند کیفیت منابع آب موجود در کشورشان را تا حد قابل قبولی بهبود بخشند. نتایج نشان دهنده این نکته است، که با توجه به سود اقتصادی و محیط‌زیستی که برای ذینفعان و محیط‌زیست وجود دارد می‌توان با مشارکت ذینفعان و با بهره‌گیری از

تجربیات سایر کشورها، در راستای تدوین استاندارد تخلیه پساب مناسب اقدام نمود. در نهایت اینکه، در تدوین استانداردهای دقیق و کارآمد باید به توان خودپالایی رودخانه، تعداد منابع آلاینده حاشیه رودخانه و میزان بارگذاری مواد زاید و دیگر شرایط موجود نیز توجه نمود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. Biochemical Oxygen Demand
2. Dissolved Oxygen
3. Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand

۶- منابع

- ترابیان، ع. (۱۳۸۷)، "بازنگری استانداردهای تخلیه پساب و تدوین معیارهای کیفیت منابع آب گزارش‌اولیه"، سازمان حفاظت محیط زیست ایران.
- ثنائی، غ. (۱۳۸۱)، "سم شناسی صنعتی"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- جعفری، ع؛ طاهریون، م؛ یآوری، ا؛ باغوند، ا. (۱۳۸۸)، "تجارت آلودگی به روش مجوزهای تخلیه قابل مبادله در رودخانه و ارزیابی آن از نظر کارایی هزینه"، مجله محیط شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۵۱، صفحه ۱۰۱-۱۱۰.
- جعفری سلیم، ب. (۱۳۸۸)، "شناسایی منابع آلاینده و تعیین بارآلودگی رودخانه قشلاق"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران.
- چائی بخش لنگرودی، م. (۱۳۸۸)، "مطالعه پساب‌های نیروگاه شهید رجایی و مقایسه آن با استاندارد و طرح‌های استفاده مجدد"، اولین کنفرانس ملی صنعت نیروگاه‌های حرارتی، تهران.
- سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۷۳)، "آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب".

- وزارت نیرو (۱۳۸۴)، "راهنمای مطالعات ظرفیت خود پالایی رودخانه‌ها"، شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران، نشریه شماره ۲۹۲-الف.

-Barnwell, T.O; Brown, L.C; Mareck, W., (1989) "Application of Expert Systems Technology in Water Quality Modeling", Water Sci. Tech., 21 (8-9), 1045-1056.

-Chapra, S.C., (1997) "Surface Water Quality Modeling", McGraw-Hill, New York.

-Chapra, S.C.; G.J. Pelletier; H. Tao., (2006) "QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality", Version 2.04: Documentation and Users Manual." Civil and Environmental Engineering Dept ", Tufts University, Medford, MA.

-Environmental Agency of Japan., (1998) "Water Environmental Management in Japan".

-Environmental Law of Seychelles, (1995) "Environment Protection (Standards) Regulations", <http://water.treatment.com.cn/resources/discharge-standards/seychelles>

-EPA., (1997) "Technical Guidance Manual for Developing Total Maximum Daily Loads, Book 2: Rivers and Streams, 823/B-97-002

-Kannel, P.R; Lee, S; Lee, Y.S; Kanel, S.R; Pelletier, G.J., (2007) "Application Of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management In the Bagmati River", Nepal, Journal of Ecological Modeling, 202:503-517.

-"Mauritius Environment Protection (Standards for effluent discharge) Regulations", (2003), <http://water-treatment.com.cn/resources/discharge-standards/mauritius>

-"Taiwan Environmental Law Library (R.O.C)", (2011), <http://law.epa.gov.tw/en/>

- عاشق معلا، م؛ ملک محمدی، ب. (۱۳۸۹)، "بررسی استاندارد تخلیه پسابها به آبهای سطحی و ارائه راهکارهای مدیریتی در راستای نیل به یک بازنگری جامع"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران.

- علوی مقدم، م. (۱۳۸۳)، "مروری بر استانداردهای کیفی منابع آب در ژاپن"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۴.

- کارآموز، م؛ احمدی، آ؛ فلاحی، م. (۱۳۸۵)، "مهندسی سیستم"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، صفحه ۳۵۰.

- مصباح، م. (۱۳۸۷)، "مدیریت کیفی سیستم رودخانه‌ای از طریق تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی با استفاده از منطق فازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، صفحه ۱۷.

- میری، م. (۱۳۸۸)، "بررسی پتانسیل پذیرش بار آلودگی رودخانه قره آقاج با مدل شبیه‌سازی Qual2kw"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران.

- نزل آبادی، ا؛ پیاده، ف. (۱۳۹۱)، "مقایسه و بررسی استانداردهای پساب برای دفع در زمین‌های کشاورزی ایران با سایر استانداردهای موجود"، ششمین همایش ملی مهندسی محیط‌زیست، تهران.

