محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٤، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷، صفحهٔ ۵۳۱-۵۱۹

تعیین آلودگی کل مجاز رودخانه و تخصیص بار آلودگی براساس تغییرات فصلی، الگویی برای استانداردسازی و پایش چندپارامتره و محلی کیفیت آب

منوچهر حیدرپور[1]، شروین جمشیدی[2]*

۱. استاد گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران heidar@cc.iut.ac.ir

۲. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

چکیده

یک چالش برای تعیین حداکثر مجاز انتشار آلودگی رودخانه وجود نوسانات کمّی و کیفی فصلی ناشی از فعالیت‌های زراعی است. این پژوهش با استفاده از مدل Qual2k و شبیه‌سازی رودخانه تجن نشان می‌دهد چگونه می‌توان حداکثر بار آلودگی و غلظت مجاز پارامترها، مؤلفهٔ کلیدی پایش، میزان خودپالایی و تخصیص بهینهٔ بار آلودگی را در شرایط نوسانات فصلی تعیین کرد. مطابق بررسی‌های به‌عمل‌آمده و به‌منظور حفظ شرایط زیستی سالانهٔ آبزیان، برآورد شد مجموعاً ۴۵۰۰ تن COD و ۲۵۰۰ تن نیتروژن کل ظرفیت نهایی بار آلودگی در دهانهٔ رودخانه بوده و در این شرایط استاندارد غلظت مجاز پارامترهای COD، نیتروژن و فسفر کل در به ترتیب ۹، ۵ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین می‌شود. همچنین میزان خودپالایی رودخانه در کاهش بار نیتروژن، فسفر و COD در مسیر جریان به ترتیب ۶، ۹ و ۵۰ درصد برآورد شده که باعث می‌شود سهم آلودگی نقطهٔ پایش از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در مسیر رودخانه به نسبت مخزن بالادست برای انتشار ترکیبات نیتروژن و فسفر بیش از ۸۰ درصد و برای COD تنها ۲۰ درصد باشد. بنابراین برای بهسازی کیفی رودخانه توصیه می‌شود با مدیریت مزرعه و کاهش ۴۵ درصد بار آلودگی مواد مغذی از زهاب‌های کشاورزی، غلظت مجاز اکسیژن محلول برای حفظ آبزیان رعایت شود.

کلیدواژه

تخلیه مجاز، حداکثر بار آلودگی، خودپالایی رودخانه، کیفیت آب، مدل‌سازی.

۱. سرآغاز

با گسترش فعالیت‌های انسان‌ساز در حاشیهٔ رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، مدیریت و حفاظت کیفی منابع آب سطحی به چالشی زیست‌محیطی بدل شده است. بدین منظور رعایت ضوابط و استانداردهای مربوط به تخلیهٔ بار آلودگی راهکاری قانونی برای کنترل این چالش به شمار می‌رود. این در حالی است که دو رویکرد کلی برای استانداردسازی، کنترل و پایش کیفی منابع آب سطحی در دنیا وجود دارد. در روش متعارف استانداردهای آلایندهٔ محور، درصد ترکیبات تخلیه شده و حداکثر آلودگی مجاز پساب منابع آلاینده (به‌ویژه نقطه‌ای) توسط سازمان قانون‌گذار (مانند سازمان حفاظت محیط‌زیست) و براساس استانداردهای مرجع جهانی به‌صورت پیش‌فرض در نظر گرفته می‌شود و در صورت تجاوز ترکیبات آلاینده از مقدار مجاز، آن منبع آلاینده مشمول جریمه خواهد شد (Baldwin et al., 2011). این روش برای کنترل و ثبت جرائم زیست‌محیطی منابع آلاینده نقطه‌ای با جریان پیوسته، مانند شهرهای بزرگ و کارخانه‌های صنعتی، نسبتاً ساده

* نویسنده مسئول: Email: sh.jamshidi@eng.ui.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

است و برای کنترل تخلیه آلودگی‌های تجمع‌پذیر و ریزآلاینده‌ها، مانند فلزات سنگین، استفاده می‌شود؛ اما دارای خلأهای اساسی است (Kostka, 2016). مهم‌ترین چالش این رویکرد، انطباق‌ناپذیر بودن استانداردها و حدود مجاز انتشار آلودگی با شرایط محلی و اجتماعی، نوسانات فصلی مصرف آب و انتشار آلودگی، و عدم لحاظ ظرفیت خودپالایی و میزان آسیب‌پذیری محیط است (Duncan, 2014; Malone, 2015). برای مثال، کنترل و پایش برخی شاخص‌های کیفیت آب مانند میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن محلول آب (DO)، یا ترکیبات نیتروژنی ممکن است به‌واسطهٔ ظرفیت خودپالایی رودخانه متغیر باشد. کاستی دیگر این رویکرد نادیده انگاشتن اهمیت پایش آلودگی‌های منتشرشده از منابع آلایندهٔ غیرنقطه‌ای، مانند زمین‌های زراعی و مراتع دامی، است که علیرغم غلظت پایین ترکیبات آلاینده متعارف کیفی آب می‌تواند به‌صورت فصلی و با حجم زیاد در راستای رودخانه به محیط آبی تخلیه شده و به انتشار آلودگی فراوانی منجر شوند و آثار آن از جمله پدیدهٔ تغذیه‌گرایی تا مدت‌ها در محیط باقی مانده و موجب تهدید زندگی آبزیان و تخریب زیست‌بوم شود (Sun et al., 2012; Imani et al., 2017). بنابراین در سالیان اخیر رویکرد جدیدی برای پوشش این نقصان‌ها برای تنظیم استانداردها به‌صورت محیط‌محور مدنظر قرار گرفته است.

در رویکرد دوم، استانداردهای کیفی آب متناسب با نوع مصرف در محیط پذیرنده و با توجه به توان‌زیستی رودخانه‌ها برآورد می‌شود. بدین منظور می‌بایست در گام نخست در محدودهٔ مورد مطالعه حداکثر ظرفیت مجاز تخلیهٔ آلودگی از تمامی منابع آلایندهٔ نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای پس از گردآوری اطلاعات و شبیه‌سازی تخمین زده شود (Field & Field, 2017). در این رویکرد، از آنجایی که هدف شناسایی حداکثر بار آلودگی مجاز در نقاط حساس و کلیدی جریان همچون محل‌های تخم‌ریزی ماهیان در دهانهٔ رودخانه است، می‌توان ضمن لحاظ آثار خودپالایی محیط مقدار دبی جریان را نیز به همراه غلظت آلودگی مدنظر قرار داد و بار آلودگی مجاز را برآورد کرد (Ferreira et al., 2011). با وجود این و به‌رغم مزایای این رویکرد نسبت به روش متعارف کنترل دستوری در خصوص پایش جامع منابع آلاینده به‌ویژه منابع غیرنقطه‌ای، سیاست‌گذاری همواره با عدم قطعیت ناشی از نوسانات دبی جریان رودخانه مواجه است. برای مثال نوسانات کمّی و کیفی زهاب به‌صورت فصلی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در دوره‌های کشت و غیرکشت باعث می‌شود جریان پایه در رودخانه و غلظت ترکیبات آلاینده همچون نیتروژن و فسفر تغییر کرده و بار آلودگی در این دوره دچار تغییرات چشمگیری شود. برای نمونه در دو مطالعهٔ جداگانه نشان داده شده است آثار این تغییرات و نوسانات کمّی و کیفی جریان موجب می‌شود دریاچه و مخزن پایین‌دست رودخانه با مشکلات تغذیه‌گرایی و رشد جلبکی در دوره‌هایی از سال همراه شود (Garg et al., 2010; Xu et al., 2010). حال این پرسش مطرح می‌شود که حداکثر بار مجاز آلودگی در شرایط بروز نوسانات فصلی باید به‌صورت متوسط سالانه تدوین شده و یا براساس بدترین شرایط کیفی در سال تهیه شود. همچنین چگونه در شرایط وجود پارامترهای کیفی مختلف در آب، می‌توان حداکثر بار مجاز آن‌ها را بین منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای تعیین کرد.

رودخانه تجن در استان مازندران از نظر کیفی با مشکل کمبود اکسیژن محلول (DO) در پایین‌دست مواجه است که می‌تواند موجب مرگ و مهاجرت آبزیان شود (Saravi et al. 2015). این پدیده به‌ویژه در فصول گرم سال و در دورهٔ کشت محصولات زراعی در مصب رودخانه گزارش شده است و پدیده‌ای ثابت به حساب نمی‌آید. در این راستا، برخی تمهیدات سازه‌ای برای هوادهی مصنوعی در محدودهٔ شهر ساری در سال‌های اخیر در طرح‌های توسعهٔ آن درنظر گرفته شده است (Sadeghi Azad, 2016) اما پژوهش‌های پیشین نشان داده است که روش‌های سازه‌ای

Archive of SID
www.SID.ir

هـوادهی مصـنوعی در احیـای کیفـی و افـزایش ظرفیـت خودپالایی رودخانه آثار نـاچیزی دارنـد (Jamshidi et al. 2015). از طرفی توجه به این نکته ضروری است که اصولاً کاهش اکسیژن محلول و کیفیت آب پدیده‌ای اسـت کـه از تخلیهٔ آلودگی بیش از ظرفیت خودپالایی رودخانـه نشـئت می‌گیرد. مادامی‌که این معضـل از سرمنشـأ آن یعنـی منـابع آلاینده برطرف نشود نمی‌توان انتظار داشت احیای رودخانه به‌صورت پایدار صورت پذیرد. همچنین باید خـاطر نشـان کرد که آلودگی‌های مؤثر بر اکسـیژن محلـول رودخانـه بـه شکل شاخص‌های کیفی مختلـف ماننـد BOD و نیتـروژن هستند که از منـابع آلاینـدهٔ نقطـه‌ای و غیرنقطـه‌ای منتشـر شوند. این موضوع بر پیچیدگی‌هـای مربـوط بـه مـدیریت تخلیهٔ پساب در کنار نوسـانات کمّـی و کیفـی بـه‌صـورت فصلی می‌افزاید. ازاین‌رو پاسخ به پرسـش مطـرح شـده در این پژوهش یعنی شناسایی حداکثر بار مجاز تخلیه آلودگی به‌صورت چندپارامتره در شـرایط بـروز نوسـانات کمّـی و کیفی فصلی می‌تواند زمینه‌ای برای ارائهٔ گزینه‌های مدیریتی برای تخصیص بار آلودگی و بهبود شرایط در این محـدوده فراهم آورد.

در این پژوهش با اسـتفاده از اطلاعـات کمّـی و کیفـی رودخانه تجن به‌عنوان محـدودهٔ مـورد مطالعـه یـک روش برای پاسخ به سؤالات فوق ارائه می‌شود. بدین صورت کـه نخست وضعیت کیفی رودخانه در فصول مختلف کشت و غیرکشت سنجیده شده و اثر این نوسانات بر میـزان تخلیـهٔ بـار آلـودگی و پارامترهـای کیفـی تعیـین مـی‌شـود. نهایتـاً براساس کلیدی‌ترین پارامتر کیفی و مؤلفهٔ اثرگذار حـداکثر بار آلودگی در نقطهٔ اصلی پـایش بـرآورد شـده و بـر ایـن اساس سیاست‌گذاری برای تخصیص و کاهش بار آلـودگی بین منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و غلظـت اسـتاندارد پارامترها به‌صورت محلی برآورد می‌شود.

۲. مواد و روش بررسی

۱.۲. محدودهٔ مورد مطالعه

در این تحقیق، رودخانهٔ تجن حد فاصل پایاب سـد شـهید رجایی تا مصب دریا در استان مازندران به طول تقریبی ۵۱ کیلومتر به‌عنوان محدودهٔ مورد مطالعه برای بررسی حداکثر مجاز تخلیهٔ بار آلودگی مدنظر قرار می‌گیرد. حوضـهٔ آبریـز این رودخانه دائمی ۱۴۰ کیلومتر طول دارد و میزان متوسط دبی سالانه بـرای یـک دوره آمـاری ۳۹ ساله منتهی به سال ۱۳۸۷ برابر ۱۴/۹ مترمکعب بر ثانیه و آورد سـالانه آن ۴۶۰ میلیون مترمکعب تخمین زده شده است. این منطقه متشکل از منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای متعددی اسـت. منبـع آلاینده غیرنقطه‌ای به‌طور مشخص فعالیت‌های شالی‌کـاری و کشت برنج است که از حد فاصل سد شـهید رجـایی تـا مصـب رودخانـه را شـامل مـی‌شـود و بـا وجـود کشـت غیرارگانیک سهم عمده‌ای در بین منابع آلاینده غیرنقطـه‌ای دارد. از دیگر منابع آلایندهٔ غیرنقطه‌ای می‌تـوان بـه بـاغ‌هـا، روستاهای کم‌جمعیت، جنگل‌ها و مراتع اشاره کـرد. منـابع آلایندهٔ نقطه‌ای مشرف بـه رودخانـه در ایـن بررسـی شـهر سـاری و کارخانـه‌هـای چـوب و کاغـذ، صـنایع لبنـی و آنتی‌بیوتیک‌سازی است (Sadeghi Azad, 2016).

شکل ۱. جانمایی بازه‌ها در نقشهٔ ماهواره‌ای برای مدل‌سازی

۲.۲. متدولوژی انجام کار

در این پژوهش پس از اخذ اطلاعات کمّی و کیفی محدودهٔ مورد مطالعـه از سـازمان حفاظـت محـیط‌زیسـت اسـتان و

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی میدانی، منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای شناسایی شده و با توجه به اطلاعات کمّی و کیفی پساب‌ها، میزان جمعیت محدوده‌های شهری و روستایی، ضرایب راهبردی و مقدار متوسط سطح زمین‌های زراعی، باغ‌ها و مراتع میزان بار آلودگی هریک از منابع آلاینده تعیین شد و به همراه مشخصات هیدرودینامیکی رودخانه برای شبیه‌سازی استفاده شد. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، ضمن شناسایی توان خودپالایی رودخانه، محل و پارامتر کلیدی پایش و تصمیم‌گیری برای تعیین حدود استاندارد کیفی محلی در این رودخانه مشخص شد و میزان حساسیت مدل به پارامترهای کیفی ناشی از تخلیهٔ آلودگی از منابع آلایندهٔ نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و مخزن بالادست نیز بررسی شد. در نهایت با تعیین حداکثر بار مجاز آلودگی در نقطهٔ پایش، میزان تخصیص بار آلودگی از منابع آلاینده و غلظت مجاز هر یک از پارامترهای اصلی کیفی آب در این منطقه برآورد شد. این روش برای تعیین حداکثر بار مجاز آلودگی و غلظت آب رودخانه در ورودی دریاها و دریاچه‌ها می‌تواند به‌طور مشابه در دیگر محدوده‌های جغرافیایی نیز استفاده می‌شود.

۳.۲. شبیه‌سازی و واسنجی مدل

رودخانه‌های منتهی به دریا و دریاچه‌ها از ارزش اکولوژیکی ویژه‌ای برای آبزیان برخوردار هستند و انتقال آلودگی از بالادست می‌تواند وفق معادلات حاکم بر کیفیت آب رودخانه و دریاچه به تجمع تدریجی آلودگی و بروز پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی همچون تغذیه‌گرایی یا کاهش اکسیژن محلول آب منجر شود (Brooks et al. 2016). به‌طور کلی کاهش اکسیژن محلول آب (DO) در منابع آب سطحی از فعالیت‌های بیولوژیکی باکتری‌ها و موجودات زندهٔ موجود در آب در طی فرایند تجزیه مواد آلی کربنی (BOD) و نیتروژنی و تبدیل آن‌ها به ترکیبات معدنی مانند دی‌اکسیدکربن و نیترات حاصل می‌شود. این فرایند مطابق فرمول‌های استریتر–فلپس منتهی به ترسیم منحنی کمبود اکسیژن محلول در منابع آبی شده و به‌طور معمول شاخصی در مطالعات کیفی منابع آبی به‌شمار می‌رود. این شاخص نشان می‌دهد چگونه پارامترهای چندگانه کیفیت آب همچون BOD، ترکیبات نیتروژن و فسفر به‌عنوان شاخص‌های آلاینده به همراه دبی و سرعت جریان آب به‌عنوان مؤلفه‌های خودپالایی می‌تواند در ایجاد شرایط زیست آبزیان اثرگذار باشد (Hounslow, 1995; Jamshidi & Niksokhan, 2016). از این مؤلفه در بسیاری از مطالعات و مدل‌سازی‌های کیفی شاخصی کمکی برای تصمیم‌گیری برای تخصیص بهینهٔ بار آلودگی ذیل پارامتر BOD (Feizi Ashtiani et al., 2015) یا نیتروژن کل (Jamshidi et al., 2016a) استفاده شده است تا بر این اساس ضمن شناسایی ظرفیت خودپالایی رودخانهٔ نگاه جامع‌تری به پارامترهای کیفی آب برای تدوین استانداردهای محیطی داشته باشد. در این مطالعه نیز از این پارامتر به‌عنوان یکی شاخص کلیدی در فرایند شبیه‌سازی استفاده شده است.

به‌طور کلی شبیه‌سازی رودخانه با هدف تخمین تغییرات متغیرهای کیفی آب است به‌نحوی‌که نتایج به دست آمده از مدل با نتایج آزمایشگاهی مشابه باشد. بدین منظور برای انجام مطالعات در مرحله شبیه‌سازی از نرم‌افزار Qual2k نسخه ۵ استفاده شده است (Pelletier et al., 2006). برخلاف مطالعات پیشین (Mehrdadi et al., 2006) در این مطالعه و برای افزایش دقت مدل، رودخان مجموعاً به ۱۸ بازه تقسیم شده و محاسبات شبیه‌سازی در مسیر جریان از بالادست به پایین‌دست است. در طی مرحله شبیه‌سازی و پس از واسنجی مدل با نتایج آزمایشگاهی، ضرایب هوادهی براساس مشخصات هیدرولیکی جریان برآورد شده است (جدول ۱). بدین‌منظور از روش رانگ – کوتا با دوره‌های محاسباتی ۵ دقیقه استفاده شده که نسبت به روش اویلر از دقت بالاتری برخوردار است (Jamshidi et al., 2016b).

برای اینکه نتایج مدل و داده‌های نمونه‌برداری شده به

Archive of SID
www.SID.ir

یکدیگر نزدیک باشند و به اصطلاح واقعی‌سازی شود لازم است مدل واسنجی شود. واسنجی، نخستین مرحله در آزمودن و وفق دادن مدل با مجموعه‌ای از داده‌های میدانی است. مدل Qual2k مجهز به واسنجی خودکار است که از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌نماید. بدین‌منظور و برای مطالعات حاضر میزان جمعیت و تعداد نسل‌های در حال تکامل در الگوریتم هرکدام ۱۰۰ واحد در نظر گرفته شده است. به‌علاوه نرخ جفت‌یابی که از نوع ۲ است و به‌صورت قابل تطبیق با تابع فیتنس در نظر گرفته شده است، مقادیر اولیه آن ۰/۰۰۵ است.

تابع فیتنس در واقع معکوس حاصل‌جمع تمامی مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برای پارامترهای مختلف تقسیم بر میانگین آماری آن‌هاست (RMSE نسبی) که در ضرایب وزنی مربوط به هرکدام از آن‌ها ضرب شده است. نحوهٔ محاسبه RMSE نسبی به‌صورت رابطهٔ ۱ قابل محاسبه است (Chapra et al., 2008).

$$RMSE_R = \frac{(\frac{\sum(O_{i,j}-P_{i,j})^2}{n})^{0.5}}{\bar{O}} \quad (1)$$

در این رابطه، O و P به‌ترتیب داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل بوده که مجموع مربعات اختلاف آن‌ها بر تعداد داده‌ها تقسیم شده و بر متوسط داده‌های مشاهداتی تقسیم می‌شود.

جدول ۱. مشخصات بازه‌های رودخانه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار

شماره بازه	نام بازه	طول بازه (کیلومتر)	فاصله تا مصب دریا (کیلومتر)	شیب بازه (٪)	عرض متوسط (متر)	ضریب هوادهی متوسط (در واحد روز)
۱	خروجی سد	۱/۳	۵۱	۰/۴۷	۱۶	۹
۲		۲/۴	۴۸/۶	۱	۱۳	۱۳/۷
۳		۱/۵	۴۷	۱	۱۷	۱۷/۱
۴		۱/۷	۴۵/۳	۱	۱۴	۱۴/۷
۵		۱/۳	۴۴	۱/۳	۱۵	۱۸/۳
۶		۱/۷	۴۲/۳	۰/۷۸	۱۶	۱۲/۹
۷		۱/۵	۴۰/۹	۱/۴	۲۰	۲۲/۸
۸	زرم‌رود	۱/۲	۳۸/۷	۱/۲	۳۲	۲۶/۵
۹	ایستگاه بالادست	۱/۵	۳۷/۲	۰/۳	۲۸	۹/۴
۱۰		۱/۷	۳۵/۶	۱/۱	۲۵	۲۲/۲
۱۱		۱/۶	۳۳/۹	۰/۶۷	۳۰	۱۶/۵
۱۲	گرم رود	۷/۴	۲۶/۶	۰/۸۲	۳۸	۲۱/۵
۱۳	کارخانه چوب و کاغذ	۵/۷	۲۰/۹	۰/۷	۴۶	۲۰/۶
۱۴	راهبند	۲/۸	۱۸/۱	۰/۵۸	۵۷	۲۰
۱۵	ایستگاه میانی	۶	۱۲/۱	۰/۵۸	۸۰	۲۳/۷
۱۶	ساری	۴/۱	۸	۰/۵۸	۳۹	۱۵/۶
۱۷		۳/۷	۴/۳	۰/۲۷	۵۲	۱۰/۳
۱۸	مصب رودخانه (نقطه پایش)	۴/۳	۰	۰/۲۵	۳۶	۷/۹

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. متوسط مشخصات کیفی ایستگاه‌های نمونه‌برداری (mg/L) در دو دورهٔ کشت و غیرکشت

شمارهٔ بازه	نام بازه	دوره	اکسیژن محلول	COD	آمونیوم	نیترات	نیتروژن کل	فسفات	pH
۹	بالادست	کشت	۶/۳	۲۰	۱/۶	۲/۶	۴/۶	۰/۳۵	۸/۱
		غیرکشت	۶/۱	۱۸	۰/۴	۱	۱/۵	۰/۰۳	۸
۱۵	میانی	کشت	۷	۱۳	۲/۳	۵/۴	۸	۰/۸	۸/۳
		غیرکشت	۷/۵	۱۱	۰/۴	۱/۱	۱/۵	۰/۰۴	۸
۱۸	مصب رودخانه	کشت	۵/۵	۱۱	۲/۴	۶/۸	۹/۵	۱	۸/۲
		غیرکشت	۷/۲	۸/۵	۰/۴	۱/۲	۱/۶	۰/۰۵	۸

با در اختیار داشتن مجموعه دادهٔ کیفی اندازه‌گیری شده در آب رودخانه، آن‌ها به دو زیرمجموعه برای استفاده در بخش واسنجی و صحت‌سنجی تقسیم می‌شوند به‌طوری‌که بخش اصلی برای واسنجی استفاده می‌شود (جدول ۲). پس از واسنجی مدل با اطلاعات اندازه‌گیری شده، می‌توان مدل را با استفاده از باقی ماندهٔ اطلاعات اندازه‌گیری شده، صحت‌سنجی کرد. یعنی بدون تغییر دادن پارامترهای واسنجی، مدل با شرایط جدید اجرا می‌شود. سپس با مقایسهٔ نتایج به دست آمده از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده، می‌توان صحت عملکرد مدل را برای شرایط جدید بررسی و میزان اطمینان به مدل واسنجی شده را برآورد کرد (Chapra et al. 2008). برای واسنجی از اطلاعات کیفی رودخانه در فصول گرم (فصل کشت) و برای صحت‌سنجی از داده‌های سه ماه زمستان که بیانگر فصول غیرکشت است استفاده می‌شود.

نتایج مدل واسنجی شده و صحت‌سنجی شده براساس پارامتر RMSE در جدول ۳ به‌ترتیب در دو فصل کشت و غیرکشت نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار RMSE بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده با نرم‌افزار از همبستگی خوبی به‌ویژه برای پارامتر اکسیژن محلول برخوردار است. این مقادیر حداکثر به ۰/۰۸ (معادل ۸ درصد خطا) برای اکسیژن محلول می‌رسد. عدد فیتنس مستخرج از واسنجی مدل با الگوریتم ژنتیک معادل ۴/۶ است که این عدد نشان می‌دهد مجموع مقدار خطای وزن‌دهی‌شده مدل برای کل پارامترها برابر ۲۱درصد است. یعنی خروجی مدل تا ۷۱درصد از دقت برخوردار است.

جدول ۳. مقدار خطای نسبی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در فصل کشت (واسنجی) و غیرکشت (صحت‌سنجی)

فصل	NO_3	COD	DO
تابستان (کشت)	۰/۰۶۶	۰/۰۷۳	۰/۰۷۹
زمستان (غیرکشت)	۰/۱۰۱	۰/۰۸	۰/۰۶۱

۴.۲. تعیین توان خودپالایی و حداکثر بار مجاز آلودگی

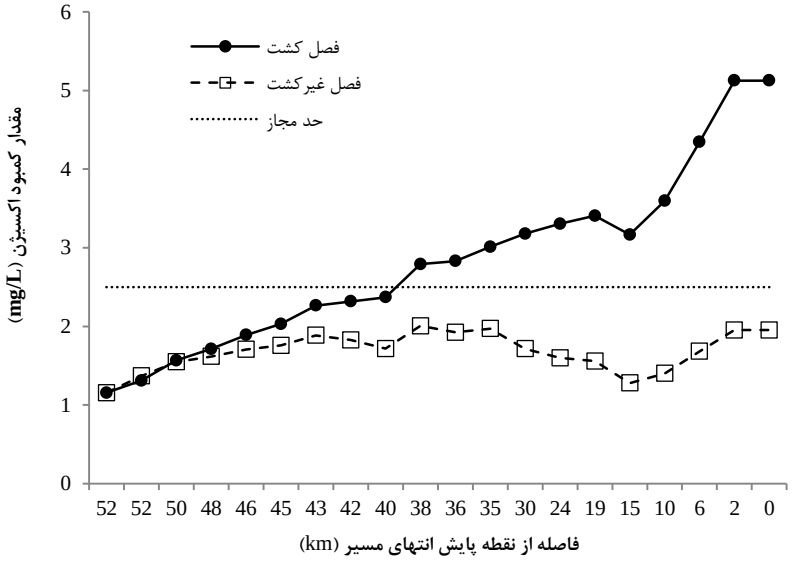
به‌منظور ارزیابی حداکثر بار مجاز تخلیهٔ آلودگی لازم است نخست پروفیل کیفیت آب شبیه‌سازی شده در رودخانه برای شاخص‌های اصلی ترسیم شده و بحرانی‌ترین نقطه بر این اساس شناسایی شود. در این نقطه با در اختیار داشتن دبی متوسط رودخانه و غلظت پارامترهای شبیه‌سازی شده در دو دورهٔ کشت و غیرکشت می‌توان بار آلودگی بهینه سالانه و فصلی را برای حفظ زیست‌بوم تعیین کرد. همچنین با در اختیار داشتن مجموع بار آلودگی منتشر شده از منابع آلاینده و مقایسهٔ آن با مجموع بار آلودگی موجود در انتهای مسیر رودخانه توان خودپالایی رودخانه قابل ارزیابی است. این ساختار به‌علاوه زمینه‌ای فراهم می‌سازد تا با ارزیابی و مقایسهٔ تأثیر کاهش بار آلودگی در هر یک از منابع آلاینده (نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای) و بار آلودگی موجود در مخزن بالادست به تفکیک و با درصد مشابه، بر غلظت شاخص‌ها در نقطهٔ پایش نتیجه

Archive of SID
www.SID.ir

گرفت حساسیت کیفی رودخانه بیشتر تابع کدام یک از سه مؤلفهٔ مذکور است. درنهایت با در اختیار داشتن مدل شبیه‌سازی شده و به روش سعی و خطا با کاهش بار آلودگی از ۱۰۰درصد مقادیر داده شده تا آستانهٔ زیست‌محیطی آن، می‌توان حداکثر مقدار تخصیص بار آلودگی را برآورد کرد. توضیحات تکمیلی در بخش نتایج آمده است.

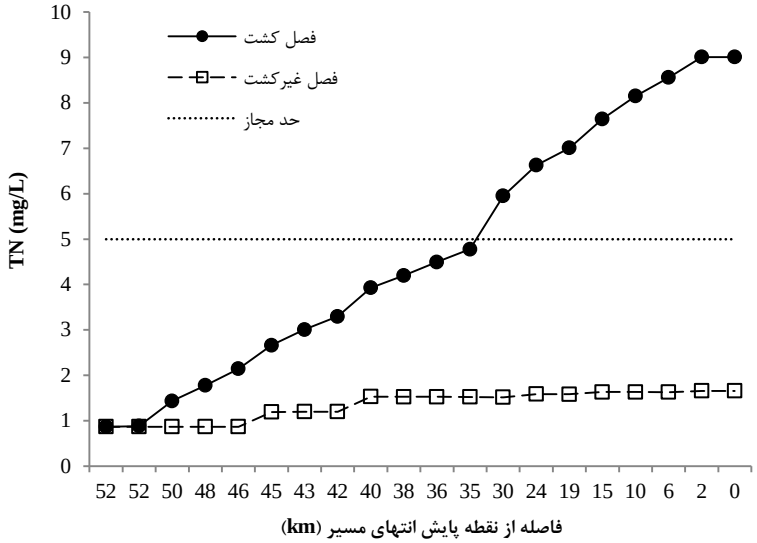
۳. نتایج و بحث

براساس شبیه‌سازی انجام شده، پروفیل میزان کمبود اکسیژن محلول نسبت به حد اشباع در مسیر رودخانهٔ مورد مطالعه در دو دورهٔ کشت و غیرکشت به‌طور جداگانه ترسیم شود. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تغییرات فصلی ورود آلاینده‌ها همچون زهاب منابع آلاینده غیرنقطه‌ای تأثیر بسزایی در کاهش کیفیت آب و افزایش میزان کمبود اکسیژن محلول در رودخانه دارد که در طی ماه‌هایی که کشاورزی و شالی‌کاری جریان دارد به خفگی رودخانه و مرگ آبزیان به‌ویژه در ۱۵ کیلومتر انتهایی مسیر جریان منتهی به دریای خزر می‌انجامد. از طرفی، این منطقه به دلیل شرایط رسوب‌گذاری و هیدرودینامیکی برای تخم‌گذاری آبزیان اهمیت بسزایی دارد که می‌بایست برای کنترل کیفیت آن تدابیر ویژه‌ای اتخاذ کرد. شایان‌ذکر است میزان حد اشباع اکسیژن محلول در منطقه با توجه به هدایت الکتریکی و دمای متوسط آب بین ۸ تا ۹ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شده است که با احتساب ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر حد مجاز کمبود اکسیژن، می‌توان مقدار ۶ میلی‌گرم بر لیتر را شرایط مطلوب و ۵ میلی‌گرم بر لیتر را شرایط بحرانی برای تعیین ظرفیت حداکثر تخلیه بار آلودگی به رودخانه براساس پارامتر اکسیژن محلول تعیین کرد. به‌عبارت‌دیگر غلظت این پارامتر در هیچ نقطه‌ای از رودخانه و در هیچ دورهٔ زمانی مجاز نیست کمتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد زیرا موجب بروز شرایط نامساعد برای آبزیان می‌شود. اما از طرف دیگر متوسط غلظت سالانهٔ اکسیژن محلول در بحرانی‌ترین نقطهٔ پایش باید بیشتر از ۶ میلی‌گرم بر لیتر باشد. با توجه به شکل ۲ نقطهٔ بحرانی برای پایش اکسیژن محلول رودخانه همان نقطه انتهایی مسیر شبیه‌سازی شده است.



شکل ۲. پروفیل کمبود اکسیژن شبیه‌سازی شده به تفکیک دورهٔ کشت و غیرکشت

Archive of SID
www.SID.ir

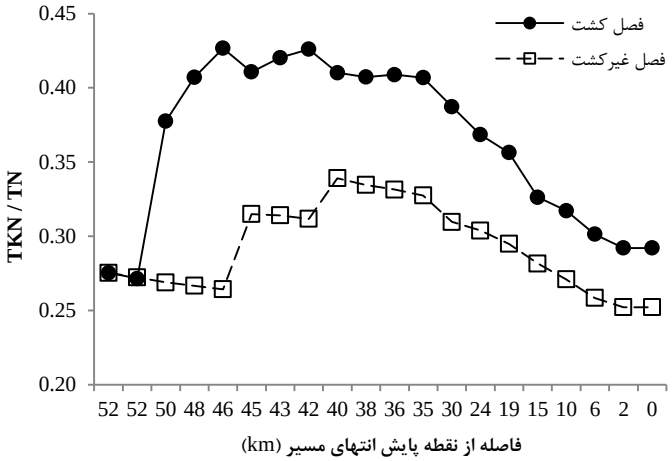


شکل ۳. پروفیل نیتروژن کل شبیه‌سازی شده به تفکیک دورهٔ کشت و غیرکشت

با بررسی غلظت ترکیبات نیتروژنی شبیه‌سازی شده در مسیر رودخانه شامل نیتروژن آلی، آمونیوم، نیتریت و نیترات می‌توان همبستگی بالایی بین میزان تخلیهٔ بار آلودگی نیتروژنی، به‌ویژه از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای با تغییرات فصلی، و میزان کاهش اکسیژن محلول در منطقه برقرار کرد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در فصول کشت مقدار غلظت نیتروژن کل (TN) آب رودخانه از بالادست (در حدود ۱ میلی‌گرم بر لیتر) تا ۹ برابر در پایین‌دست افزایش می‌یابد اما این پارامتر در فصول غیرکشت تغییرات ویژه‌ای از بالادست تا پایین‌دست ندارد. همین روند به‌طور مشابه برای فسفر نیز قابل ترسیم است. ازاین‌رو فعالیت‌های فصلی کشاورزی اصلی‌ترین عامل افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در رودخانهٔ تجن است. این نتیجه به نوعی مطالعات دیگر محققان در حوضهٔ تجن را تأیید می‌کند که در آن با مدل‌سازی نشان داده شده است انتشار نیتروژن و فسفر در این حوضه اساساً از فعالیت‌های کشاورزی و دامی (منابع غیرنقطه‌ای) سرچشمه می‌گیرد (Rajaei et al., 2017). اما از طرفی این نتایج با دستاوردهای پژوهش دیگر که در آن براساس کیفیت و ظرفیت اکولوژیکی محیط مسئولیت اصلی آلودگی را فعالیت‌های صنعتی منطقه دانسته بود تفاوت دارد (Aazami et al., 2015). این اختلاف ناشی از تفاوت در انتخاب محدودهٔ مورد مطالعه و مقایسهٔ بالادست و پایین‌دست سد شهید رجایی در مطالعات مذکور است.

درصورتی‌که پروفیل مقدار نیتروژن هوادهی‌نشده (با شاخص TKN) نسبت به کل نیتروژن در مسیر رودخانه ترسیم شود مشاهده می‌شود که منابع آلایندهٔ غیرنقطه‌ای در فصل کشت، به دلیل استفاده از کودهای ازته و آمونیاکی، به افزایش قابل‌ملاحظه این نسبت می‌انجامد (شکل ۴). بدیهی است این ترکیبات آلی در مسیر رودخانه از اکسیژن محلول آب برای نیترات‌زایی (نیتریفیکاسیون) استفاده کرده و به همراه ترکیبات کربنی آلی (BOD) به کاهش اکسیژن محلول آب می‌انجامند. بنابراین تعیین حداکثر ظرفیت تخلیهٔ بار آلودگی براساس پارامترهای مختلف می‌بایست به‌گونه‌ای صورت پذیرد که اثر تعاملی آن‌ها با یکدیگر نیز در تخصیص بار آلودگی مدنظر قرار گیرد. به‌عبارت‌دیگر تعیین حداکثر ظرفیت تخلیه بار آلودگی نیتروژن یا کربن در محیط صرفاً نباید به ترتیب براساس پارامتر TN یا BOD صورت پذیرد بلکه باید تمامی این پارامترها در کنار اکسیژن محلول نیز دیده شوند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴. پروفیل نسبت نیتروژن کجلدال به نیتروژن کل شبیه‌سازی شده به تفکیک دورهٔ کشت و غیرکشت

جدول ۴. مقدار کل بار آلودگی تخلیه‌شده از منابع آلایندهٔ مختلف به رودخانه به تفکیک دورهٔ زمانی و پارامتر

پارامترهای پایش کیفی رودخانه	مقدار کل بار آلودگی تخلیه‌شده به رودخانه از منابع مختلف (تن)									مجموع کل بار آلودگی تخلیه‌شده به رودخانه	سهم منابع آلاینده از کل آلودگی تخلیه‌شده (درصد)
	منابع نقطه‌ای			منابع غیرنقطه‌ای			مخزن بالادست رودخانه				
	فصل کشت	فصل غیرکشت	مجموع سالانه	فصل کشت	فصل غیرکشت	مجموع سالانه	فصل کشت	فصل غیرکشت	مجموع سالانه		
TKN	۱۰۰/۵	۱۰۰/۵	۲۰۱	۱۱۲۴/۶	۹/۴	۱۱۳۴	۳۷/۷	۵۶/۵	۹۴/۲	۱۴۲۹/۲	۹۳/۴
NO_3	۱۲۳/۲	۱۲۳/۲	۲۴۶/۴	۸۴۴/۱	۷/۷	۸۵۱/۸	۹۹/۲	۱۴۸/۸	۲۴۸	۱۳۴۶/۲	۸۱/۶
TN	۲۲۳/۷	۲۲۳/۷	۴۴۷/۴	۱۹۶۸/۷	۱۷/۱	۱۹۸۵/۸	۱۳۶/۹	۲۰۵/۳	۳۴۲/۲	۲۷۷۵/۴	۸۷/۷
TP	۳۵/۴	۳۵/۴	۷۰/۸	۳۴۱/۲	۶/۶	۳۴۷/۸	۶/۳	۹/۵	۱۵/۸	۴۳۴/۴	۹۶/۴
COD	۸۳۷/۵	۸۳۷/۵	۱۶۷۵	۳۵۷/۴	۲۲/۹	۳۸۰/۳	۳۱۵۳/۶	۴۷۳۰/۴	۷۸۸۴	۹۹۳۹/۳	۲۰/۷

به‌منظور تعیین ظرفیت تخلیهٔ آلودگی به رودخانه تجن و براساس مدل شبیه‌سازی میزان کل بار آلودگی تخلیه‌شده مطابق جدول ۴ به تفکیک منابع آلاینده و دورهٔ زمانی برآورد شده است. همان‌گونه که از ارقام محاسباتی استنباط می‌شود بخش اصلی آلودگی تخلیه‌شده سالانهٔ حاوی نیتروژن و فسفر در آب رودخانهٔ تجن از فعالیت‌های کشاورزی و منابع آلاینده غیرنقطه‌ای نشئت می‌گیرد به‌طوری‌که سهم این منابع در انتشار نیتروژن کل با ۱۹۸۵/۸ تن در سال بیش از ۷۰درصد و برای فسفر با ۳۴۷/۸ تن در سال بیش از ۸۰درصد است که بالغ بر ۹۸درصد این آلاینده‌ها در فصول کشت به رودخانه تخلیه می‌شوند. این در حالی است که سهم منابع آلاینده نقطه‌ای در انتشار بار مواد مغذی سالانه تنها ۱۶درصد است و مابقی آلودگی از بالادست و از مخزن به رودخانه وارد می‌شود که برای نیتروژن و فسفر به ترتیب کمتر از ۱۴درصد و ۴درصد است. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت برای مدیریت کیفی رودخانه از نظر مواد مغذی و البته به دلیل تأثیر متقابل آن بر غلظت اکسیژن محلول می‌بایست در این منطقه تمرکز سیاست‌گذاری زیست‌محیطی بر کنترل انتشار آلودگی از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای استوار باشد. همچنین این نکته نیز

Archive of SID

www.SID.ir

خاطرنشان می‌شود که سهم مجموع منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای از انتشار بار COD در کل رودخانه تنها ۲۰درصد بوده و بخش زیادی از این آلودگی از مخزن بالادست به رودخانه تخلیه می‌شود. از این رو اعمال محدودیت‌های کیفی برای منابع آلاینده نقطه‌ای در مسیر رودخانه نمی‌تواند تأثیر چندانی بر بهبود کیفیت آب در نقطهٔ پایش و انتهای مسیر داشته باشد. هرچند حساسیت کمتر آلودگی رودخانه تجن به بار آلی کربنی ناشی از فاضلاب شهری به نسبت آلودگی بالادست نمی‌تواند دلیلی بر حذف نقش تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری مانند شهر ساری باشد؛ زیرا رعایت اصول بهداشتی در حذف آلودگی‌ها با منشأ کربنی و آلی جزو ضروریات بوده و مطالعات یکپارچهٔ منابع آب و بهره‌برداری تصفیه‌خانهٔ فاضلاب صرفاً برای بهبود و ارتقای روند بهره‌برداری از این تأسیسات است.

در جدول ۵ مقدار کل بار آلودگی تخلیه‌شده از نقطهٔ انتهایی رودخانه به تفکیک فصول کشت (بهار و تابستان) و غیرکشت (پاییز و زمستان) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بار آلودگی تخلیه‌شده با منشأ ترکیبات نیتروژنی و فسفر نوسانات بالایی بین فصول کشت و غیرکشت دارد اما بار آلودگی کربنی (COD) تغییرات بارزی نسبت به دورهٔ زمانی ندارد. در مقایسه جدول ۴ و ۵ مشخص است که از مجموع ۲۷۷۵/۴ تن در سال بار نیتروژنی تخلیه‌شده به رودخانه ۲۶۰۰ تن از نقطهٔ انتهایی مسیر به دریا تخلیه می‌شود که نشان از ظرفیت پایین خودپالایی رودخانه برای نیترات‌زدایی (کاهش نیتروژن) معادل تقریبی ۶درصد دارد. به‌طور مشابه این مقدار برای فسفر کل نیز کمتر از ۹درصد است. اما از طرفی، ظرفیت پالایش رودخانه در خصوص پارامترهای کربنی بالا بوده و نشان داده شده است این مقدار از مجموع ۹۹۳۹/۳ تن COD در سال تا ۵۰۴۵ تن COD در سال معادل تقریبی ۵۰درصد در طول مسیر رودخانه کاهش یافته است. این خود مؤید این مطلب است که در رودخانهٔ تجن، برای بهبود کیفیت آب و ارتقای زیست‌بوم آبزیان، می‌بایست بر کنترل انتشار بار آلودگی مغذی از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای تمرکز کرد. حال به‌منظور تعیین سقف کل بار آلودگی تخلیه‌شده از نقطهٔ انتهایی مسیر جریان به‌عنوان محل اصلی پایش رودخانهٔ تجن (نقطهٔ بحرانی) لازم است برای هرکدام از پارامترهای کیفی کلیدی پس از ارزیابی در مدل شبیه‌سازی و کنترل تأثیر کاهش بار آلودگی بر نقطهٔ انتهایی و دیگر پارامترها (مانند اکسیژن محلول) محدودهٔ مجاز آن اعلام شود.

جدول ۵. مقدار کل بار آلودگی و غلظت مجاز در دهانهٔ رودخانه و نقش سیاست تخصیص بار آلودگی به تفکیک پارامتر کیفی

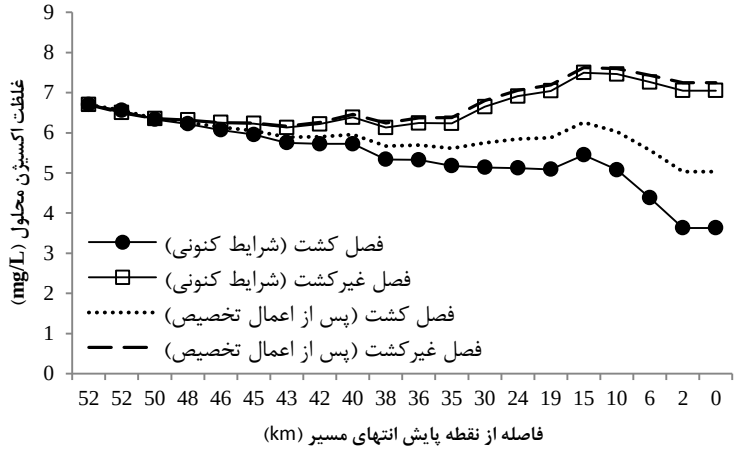
پارامترهای پایش کیفی رودخانه	مقدار کل بار آلودگی تخلیه‌شده به دریا در شرایط کنونی (تن)			کل بار آلودگی سالانه پس از تخصیص (تن)	کاهش بار آلودگی در نقطهٔ انتهایی (٪)	سقف کل بار آلودگی تعیین شده (تن)	حداکثر غلظت مجاز در نقطه انتهایی پایش (mg/L)
	فصل کشت	فصل غیرکشت	سالانه				
TKN	۶۳۹	۱۱۱	۷۵۰	۴۴۶	۴۰/۵	۵۰۰	۱
NO_3	۱۵۴۹	۳۲۹	۱۸۷۸	۱۲۸۱	۱۳/۸	۲۰۰۰	۴
TN	۲۱۸۸	۴۴۰	۲۶۲۸	۱۷۲۷	۳۴/۳	۲۵۰۰	۵
TP	۳۸۱	۱۶	۳۹۷	۲۱۲	۴۶/۵	۲۵۰	۰/۵
COD	۲۷۸۴	۲۲۶۱	۵۰۴۵	۴۳۶۱	۱۳/۶	۴۵۰۰	۹

Archive of SID
www.SID.ir

پس از تعیین پارامتر کلیدی تخصیص بار آلودگی براساس سهم آلودگی منتشر شده، حساسیت رودخانه و توان خودپالایی آن و پس از انجام سعی و خطا در مدل شبیه‌سازی شده مشخص شد که کاهش ۴۵درصد بار آلودگی مواد مغذی منتشر شده از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای (تخصیص بار آلودگی)، که اصولاً در دوره کشت صورت می‌پذیرد، می‌تواند شرایط مناسب را برای بهبود کیفیت رودخانه در محدودهٔ مورد مطالعه فراهم آورد. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، اعمال سیاست کاهش ۴۵درصد بار مواد مغذی در زهاب منابع آلاینده غیرنقطه‌ای به ارتقای غلظت اکسیژن محلول رودخانه در همان فصل کشت به بیش از ۵ میلی‌گرم بر لیتر منجر شده و متوسط غلظت این پارامتر نیز در کل مسیر رودخانه بیش از ۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌شود. نقطهٔ انتهایی مسیر به‌طور متوسط سالانه ۶/۱۴ میلی‌گرم بر لیتر حاوی اکسیژن محلول خواهد بود که معادل افزایش ۱۵درصد این پارامتر است. همچنین در این شرایط نقطه مینیمم پروفیل اکسیژن محلول متوسط سالیانه در کیلومتر ۳۸ قرار می‌گیرد.

در شرایط اعمال سیاست کاهش ۴۵درصد بار آلی تخلیه‌شده از پساب منابع آلایندهٔ غیرنقطه‌ای، مجموع آلودگی تخلیه‌شده از نقطهٔ انتهایی رودخانه به دریا به ترتیب برای نیتروژن، فسفر و COD به ۱۷۲۷، ۲۱۲ و ۴۳۶۱ تن در سال کاهش می‌یابد که به ترتیب معادل تقریبی ۳۴درصد، ۴۶درصد و ۱۴درصد کاهش در مقایسه با شرایط کنونی در نقطهٔ پایش برای این سه پارامتر در انتهای مسیر جریان است. این موضوع نشان می‌دهد که اولاً کاهش بار مواد مغذی بر تغییرات دیگر پارامترها نیز مؤثر بوده و ثانیاً دارای رابطه یک به یک با میزان بار آلودگی تخلیه‌شده در انتهای مسیر به دریا نیست.

از مجموع موارد ذکر شده در بالا می‌توان چنین برداشت کرد که برای بهبود کیفیت آب رودخانهٔ تجن، حدفاصل مخزن سد تا مصب دریا با هدف بهبود شرایط لازم برای رشد و نمو آبزیان لازم است استانداردهای محلی متناسب با نوسانات فصلی کیفیت آب تهیه شده تا بر اساس ظرفیت موجود برای انتشار آلودگی سیاست‌گذاری و تخصیص لازم صورت پذیرد. بدین‌منظور، سقف مجاز بار آلودگی نیتروژن هوادهی‌نشده (TKN)، نیترات و نیتروژن کل به ترتیب برابر ۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ تن در سال تعیین شد که کمی بیش از مقادیر تخصیص بار آلودگی بهینه معادل ۴۴۶، ۱۲۸۱ و ۱۷۲۷ تن در سال است تا بهتر عملیاتی و اجرا شود. تحت این شرایط حداکثر غلظت متوسط سالانه برای استانداردسازی و پایش در نقطهٔ انتهایی رودخانه به ترتیب ۱، ۴ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین می‌شود که به‌ویژه برای ترکیبات نیترات و نیتروژن کل نسبت به استانداردهای ملی بسیار پایین‌تر و سخت‌گیرانه‌تر است.



شکل ۵. پروفیل اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده به تفکیک دورهٔ کشت و غیرکشت در شرایط تخصیص بار آلودگی

Archive of SID
www.SID.ir

به‌طور مشابه برای پارامتر فسفر، حداکثر ظرفیت بار آلودگی در نقطهٔ انتهایی مسیر برابر ۲۵۰ تن در سال و برای پارامتر COD مقدار ۴۵۰۰ تن در سال تعیین شد که مشابه روند فوق به تعیین حداکثر غلظت مجاز برابر ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر کل و ۹ میلی‌گرم بر لیتر COD می‌انجامد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش و در قالب مطالعه‌ای موردی در رودخانهٔ تجن، متدولوژی تعیین حداکثر بار مجاز آلودگی و در نتیجه غلظت مجاز سالانه پارامترهای اصلی کیفی آب رودخانه مانند اکسیژن محلول، نیتروژن، فسفر و COD به‌صورت محلی و محیط‌محور و با استفاده از مدل شبیه‌سازی رودخانه تعیین شد. در این چارچوب مشخص شد اولاً پارامتر اکسیژن محلول رودخانه به همراه نیتروژن و فسفر نسبت به نوسانات فصلی جریان رودخانه ناشی از تسهیم دوره‌ای آب برای مزارع کشاورزی و آلودگی‌های ناشی از آن حساسیت بالایی دارند و این موضوع تعیین حداکثر مجاز بار آلودگی را با دشواری همراه می‌سازد. ثانیاً فعالیت‌های دوره‌ای کشاورزی در محدودهٔ مورد مطالعه، اصلی‌ترین عامل انتشار آلودگی و کاهش اکسیژن محلول در نقطهٔ انتهایی مسیر شناخته شد به‌طوری‌که تمرکز سیاست‌گذاری در تعیین حداکثر بار آلودگی و تخصیص آن بر کنترل بار آلودگی از منابع آلایندهٔ غیرنقطه‌ای استوار شد. در این چارچوب، پس از تعیین میزان کل بار آلودگی تخلیه‌شده به تفکیک منابع آلاینده در دو دورهٔ کشت و غیرکشت و میزان بار آلودگی موجود در نقطهٔ پایش در این دو دوره، توان خودپالایی محیط و مقادیر حداکثر مجاز آلودگی در نقطهٔ پایش برای استانداردسازی و کنترل بهتر شرایط کیفی در شرایط نوسانات چندپارامتره مشخص شد. در این مرحله حفظ مقدار متوسط اکسیژن محلول رودخانه بیش از ۶ میلی‌گرم بر لیتر در طول سال و حفظ حداقل ۵ میلی‌گرم بر لیتر اکسیژن محلول در بدترین شرایط کیفی رودخانه (دورهٔ کشت) به‌عنوان شروط کنترل انتشار آلودگی درنظر گرفته شد. بر این اساس، توان خودپالایی محیط در کاهش بار مغذی کمتر از ۱۰درصد و بار آلی کربنی تا ۵۰درصد برآورد شده و سقف کل بار آلودگی مجاز موجود سالانه در نقطهٔ انتهایی مسیر جریان برای نیتروژن و COD به ترتیب برابر ۲۵۰۰ و ۴۵۰۰ تن در سال برآورد شد. در این شرایط استاندارد محیطی غلظت مجاز نیتروژن و COD به ترتیب ۵ و ۹ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد. همچنین با در اختیار داشتن این مجموعه اطلاعات مشخص شد با کاهش و کنترل ۴۵درصد آلودگی منتشر شده از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای می‌توان حدود پیشنهادی را رعایت کرد. در نهایت متدولوژی پیشنهادی شامل استفاده از مدل شبیه‌سازی برای تعیین پارامترها و منابع آلاینده کلیدی و تعیین حداکثر مجاز انتشار و تخصیص بار آلودگی برای استفاده در دیگر منابع آب سطحی به‌ویژه رودخانه‌های منتهی به دریا و دریاچه‌ها پیشنهاد می‌شود.

منابع

Aazami, J., Esmaili Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H. and Van der Brink, P.J. 2015. Assessment of ecological quality of the Tajan River in Iran using a Multimetric Macroinvertebrate Index and species traits, *Environmental Management*, 56(1): 260-269.

Baldwin, R., Cave, M. and Lodge, M. 2011. Understanding Regulation: Theory, Strategy and Practice. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press.

Feizi Ashtiani, E., Niksokhan, M.H. and Jamshidi, S. 2015. Equitable fund allocation, an economical approach for sustainable waste load allocation, Environmental Monitoring and Assessment, 187(8): 522.

Field, B. and Field, M. 2017, Environmental economics: An introduction. New York, NY: McGraw-Hill Education.

Brooks, B.W., Lazorchak, J.M., Howard, D.A., Johnson, M.V., Morton, S.L., Perkins, D.A.K., Reavie, E.D., Scott, G.I.,

Archive of SID
www.SID.ir

Smith, S.A. and Steevens, J.A. 2016. Are harmful algal blooms becoming the greatest inland water quality threat to public health and aquatic ecosystems?, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(1): 6-13.

Chapra, S.C. 1997. Surface water quality modeling. The McGraw-Hill Company, Inc.

Chapra, S.C. Pelletier, G.J. and Tao, H. 2008. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and User's Manual.

Duncan, R. 2014. Regulating agricultural land use to manage water quality: The challenges for science and policy in enforcing limits on non-point source pollution in New Zealand, *Land Use Policy*, 41: 378-387.

Ferreira, J.G., Andersen, J.H., Borja, A., Bricker, S.B., Camp, J., da silva, M.C., Garces, E., Heiskanen, A., Humborg, C., Ignatiades, L., Lancelot, C., Menesguen, A., Tett, P., Hepffner, N. and Claussen, U. 2011. Overview of Eutrophication indicators to assess environmental status within the European marine strategy framework directive, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 93(2): 117-131.

Garg, R.K., Rao, R.J., Uchchariya, D., Shukla, G. and Saksena, D.N. 2010. Seasonal variations in water quality and major threats to Ramsagar reservoir, India, African Journal of Environmental Science and Technology, 4(2).

Hounslow A. 1995. Water quality data, Analysis and interpretation, CRC press.

Imani, S., Niksokhan, M.H., Jamshidi, S. and Abbaspour, K.C. 2017. Discharge permit market and farm management nexus: an approach for Eutrophication control in small basins with low-income farmers, *Environmental monitoring and assessment*, 189: 346.

Jamshidi, S., Ardestani, M. and Niksokhan, M.H. 2016a. A seasonal waste load allocation policy in an integrated discharge permit and reclaimed water market, Water Policy, 18(1): 235-250.

Jamshidi, S., Niksokhan, M.H. and Ardestani, M. 2016b. Wastewater Reuse, an Opportunity to Expand Nitrogen Discharge Permit Markets, *Journal of Environmental Studies*, 42(1): 211-227.

Jamshidi, S. and Niksokhan, M.H. 2016. Multiple pollutant discharge permit markets, a challenge for wastewater treatment plants, *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(8): 1438-1455.

Jamshidi, S., Niksokhan, M.H., Ardestani, M., Jaberi, H. 2015. Enhancement of surface water quality using trading discharge permits and artificial aeration, Environmental Earth Sciences, 74(9): 6613–6623.

Kostka, G. 2016. command without control: the case of china's environmental target system, *Regulation and Governance*, 10(1): Wiley, 58-74.

Pelletier, G., Chapra, C. and Tao, H. 2006. QUAL2KW; A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. *Environmental Modelling and Software*, 21: 419–4125.

Rajaei, F., Esmaili, Sari A., Salman Mahini, A., Delavar, M. and Massah Bavani, A.R. 2017. modelling of effective components contribution of phosphate pollution transport from the agriculture, forest and rangeland land uses using SWAT (case study: Tajan Watershed), *Journal of Water and Irrigation Management*, 6(2): 237-250.

Sadeghi, Azad, A. 2016. Assessment of self-purification in tajan river and impacts of using control structures on water quality enhancement Using Qual-2K and CCHE-2D Models, MSc Thesis, Isfahan University of Technology.

Saravi, M.S., Ahmadi, M.R., Rahmani, H. and Kamrani, E. 2015. Water quality assessment based on hilsenhoff biological, Diversity Shannon- Wiener Indices and Environmental Parameters in Tajan River, Fisheries Science and Technology, 3(4): 43-55.

Sun, B., Zhang, L., Yang, L., Zhang, F., Norse, D. and Zhu, Z. 2012, Agricultural non-point source pollution in china: causes and mitigation measures, *Ambio*, 41: 370-379.

Malone, P.R. 2015. Identifying and managing impacts of point and non-point source pollution on surface water quality, MSc thesis, Worcester Polytechnic Institute.

Mehrdadi, N., Ghobadi, M., Nasrabadi, T. and Hoveidi, H. 2006. Evaluation of the quality and self purification potential of Tajan River using Qual2e model, *Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering*, 3(3): 199-204.

Xu, J., Yin, K., Lee, J.H.W., Liu, H., Ho, A.Y.T., Yuan, X. and Harrison, P.J. 2010. Long-term and seasonal changes in nutrients, phytoplankton biomass, and dissolved oxygen in Deep Bay, Hong Kong, *Estuaries and Coasts*, 33(2): 319-416.

Archive of SID

www.SID.ir