مدل‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس در سال ۱۳۸۷ با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K

سیداحمد میرباقری *[۱]، شاهرخ محمودی [۲] و سیدمصطفی خضری [۳]
[۱] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست - منابع آب دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
[۳] استادیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

چکیده

رودخانه‌ها به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین آب شیرین مصرفی بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. رودخانه چالوس (یکی از رودخانه‌های حفاظت شده کشور) به عنوان یکی از رودخانه‌های استان مازندران که از مناطق مسکونی و زراعی عبور می‌کند و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد دارای اهمیت می‌باشد. لذا انجام تحقیقاتی جامع، پیرامون آلودگی‌های آن از لحاظ کمی و کیفی و استفاده از ابزارهای مدیریتی همچون مدل‌های ریاضی و کامپیوتری به منظور آگاهی از روند تغییرات و پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه و تعیین میزان بار آلاینده وارده و ارائه راهکار برای بهبود کیفیت آن با توجه به نوع مصرف براساس استانداردها، امری ضروری محسوب می‌شود. در این مطالعه با توجه به آمار و داده‌های اندازه‌گیری شده در مورد کیفیت آب این رودخانه در چهار ایستگاه و مقایسه آنها با استانداردهای موجود، وضعیت این رودخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل خودپالایی رودخانه در مدل نرم‌افزاری $QUAL2K$ با ورود مشخصات کمی و کیفی رودخانه در ایستگاه‌های تعین شده و پساب‌های ورودی به آن در دو فصل کم آب و پر آب، ساخته و کالیبره شد. سپس با رساندن مشخصات پساب‌ها به حد استاندارد (با توجه به استانداردهای تخلیه پساب سازمان محیط زیست) تخلیه به آب‌های سطحی، وضعیت جدید رودخانه با استفاده از نرم‌افزار و کاربری‌های آن در نواحی مختلف رودخانه مشخص گردید و کیفیت آن به حد استانداردهای موجود برای مصارف کشاورزی، مصرف چهارپایان و آبزیان رسید. از نتایج حاصله، استنتاج شد که قدرت خودپالایی رودخانه کم بوده است و روند افزایشی در میزان نیتروژن آلی همزمان با ورود فاضلاب‌ها قابل ملاحظه می‌باشد و همچنین میزان فسفر غیرآلی در طول رودخانه، روند رو به رشدی داشته است که از علل آن می‌توان به افزایش میزان فسفر آلی در طول رودخانه اشاره کرد و همچنین میزان نیترات در طول رودخانه در فصل پر آب روند کاهشی داشته است که علت آن دنیتریفیکاسیون و آزاد شدن نیترات بصورت N_2 می‌باشد ولی در فصل کم آب میزان نیترات ابتدا ثابت و در آخر به علت هجوم فاضلاب‌ها از آنجا که دبی پایه کم است و نسبت به آلاینده‌ها حساس می‌باشد افزایش می‌یابد. در عین حال میزان کم نیترات در ابتدای مسیر، نشان دهنده آن بوده که پساب‌های آلوده به کودهای ازته، چندان به رودخانه وارد نشده و قابل توجه نیستند. در پایان، مشکل اصلی رودخانه، در مدلسازی ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری به آن تشخیص داده شد لذا ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب در مناطق مسکونی و هدایت آنها به تصفیه‌خانه برای حفظ حیات رودخانه امری ضروری به شمار می‌رود.

واژگان کلیدی: خودپالایی، مدل $QUAL2K$، رودخانه چالوس.

۱- مقدمه

امروزه توسعه صنعتی و افزایش جمعیت و شهرک‌ها، آثار مخرب و زیان‌آوری بر محیط زیست در سراسر جهان از جمله کشورمان گذاشته است. بنابراین چنانچه همزمان با رشد و توسعه، به مسائل و مشکلات فراروی محیط زیست به خصوص کیفیت منابع آب توجه نشود نه تنها توسعه اقتصادی محقق نخواهد شد، بلکه این امر معضلات و پیامدهای جبران ناپذیری را در پی خواهد داشت. رشد روزافزون جمعیت و در نتیجه لزوم کنترل کیفیت منابع آب، نیاز به استفاده از ابزارهای مدیریتی از جمله مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت آب، بطور چشمگیری افزایش یافته است [۱]. در این میان، استفاده از کامپیوتر و علوم وابسته، به منظور مدل‌سازی شرایط واقعی، به صورت ابزاری در دست بهره‌برداران، فزونی یافته است. مدل‌های ریاضی کیفیت آب به علت پیچیدگی‌های موجود، تحلیل‌کنندگان سیستم را درگیر مسائل متفاوتی (ازجمله توصیف حرکت آب و مکانیزم اختلاط وابسته به هیدرولوژی و هیدرومکانیک) می‌نمایند. از طرفی، برای بیان شرایط ویژه سطح تماس آب و هوا اطلاعات هواشناسی، اقلیم‌شناسی و اتمسفر اطراف مورد نیاز است. مسائل شیمیایی همانند انرژی شیمیایی و بیوشیمیایی جهت برآورد میزان میرایی مواد غیر قابل حل یا معلق آب نیز جزئی از احتیاجات مدل را تشکیل می‌دهد [۲].

در همین راستا مدل‌هایی جهت شبیه‌سازی ساده غلظت

* نویسنده مسئول
دریافت ۸۸/۱۲/۲۰ پذیرش ۸۹/۶/۹

Archive of SID
www.SID.ir

اکسیژن محلول و $BOD5$، در صورت‌های مختلف پی‌ریزی گردید و به تدریج مدل‌های فوق توسعه یافته‌اند تا اینکه توانایی شبیه‌سازی اجزای کیفی نیز در آنها فراهم شد [۳].

۱-۱- مروری بر تحقیقات گذشته

امروزه توجه روزافزونی به آن گروه از آب‌های سطحی جهان که به طور جدی آلوده شده‌اند معطوف شده است، چرا که آلودگی منابع آب‌های سطحی به نتایج نامطلوبی که منجر به ازدیاد مواد مغذی گیاهان و کمبود اکسیژن که به پدیده یوتریفیکاسیون[1] موسوم است، می‌انجامد. در این زمینه تحقیقات زیادی در کشورهای مختلف جهان صورت گرفته است. این تحقیقات شامل ارائه مدل‌های ریاضی کیفیت آب رودخانه، شناسایی منابع آلاینده آب رودخانه و همچنین ارائه راه‌حل‌های مناسب با کمک مدل‌های کامپیوتری می‌باشد [۴].

Drolc و همکارانش [۶] در سال ۱۹۹۷ طرحی تحت عنوان «کالیبره کردن مدل $QUAL2E$ برای رودخانه ساوا در اسلوونیا» انجام دادند. در این طرح، برای ارزیابی تأثیرات فاضلاب ورودی به رودخانه ساوا از مدل $QUAL2E$ که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده تهیه شده است استفاده گردیده است. به همین منظور فاضلاب‌ها و مواد آلی قابل تجزیه که به رودخانه ساوا ریخته می‌شدند، مورد بررسی قرار گرفت و مدل مذکور توسط اندازه‌گیری‌های صحرایی و آزمایشگاهی متعدد کالیبره و اصلاح شد و آنالیز حساسیت نیز برای فاکتورهای بسیار مهمی که روی غلظت اکسیژن محلول آب رودخانه تأثیر داشتند، انجام شد. از نتایج مدل چنین استنباط شد که در شرایط دبی کم در فصل تابستان فاضلاب ورودی به رودخانه باید تصفیه شده تا نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی آن به کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر برسد، در این شرایط، استانداردهای کیفیت آب اسلوونیا نقض نخواهد شد، به این معنا که غلظت اکسیژن محلول بالاتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر باقی خواهدماند.

Thomas و همکارانش [۷] در سال ۲۰۰۴ تحقیقی تحت عنوان «اهمیت داده‌های صحرایی در مدل‌سازی کیفی آب جریان‌های سطحی با استفاده از $UNCAS-QUAL2E$» انجام دادند. آنها در این تحقیق، مدل $UNCAS-QUAL2E$ را برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول رودخانه‌ها در شرایط جریان پایدار مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله به‌طور خلاصه تعدادی از کاربردهای این مدل بازبینی شده است، و قابلیت آنالیز عدم قطعیت را شرح داده و درمورد اهمیت داده‌های صحرایی در پیشگویی مدل بحث شده است.

ابوالقاسمی [۸] در سال ۱۳۷۸ تحقیقی با عنوان «شناخت و بررسی تأثیر منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از مدل $QUAL2E$» انجام داده است. در این تحقیق دو هدف عمده مد نظر بود که عبارت بودند از شناسایی و تأثیر منابع آلاینده رودخانه در شرایط کنونی و سپس استفاده از یک مدل کامپیوتری مناسب جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود. پورکریمی [۹] در سال ۱۳۸۴ تحقیقی تحت عنوان "شناخت منابع آلاینده رودخانه قره‌آغاج و بررسی تأثیر آنها بر کیفیت آب رودخانه با استفاده از مدل $QUAL2K$" انجام داده است که در آن براساس نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی کامپیوتری به این نتیجه رسیده‌اند که کیفیت آب رودخانه جهت مصارف کشاورزی از کیفیت مناسبی برخوردار می‌باشد ولی جهت مصارف شرب نیاز به تصفیه اولیه و کلرزنی دارد. در قسمت‌های انتهایی رودخانه مقدار هدایت الکتریکی آب رودخانه به‌علت سازندهای زمین‌شناختی مختلف و وجود گنبدهای نمکی و پیوستن رودخانه شور جهرم به قره‌آغاج افزایش می‌یابد.

۱-۲- هدف تحقیق

هدف از این تحقیق آگاهی از روند تغییرات و پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه، تعیین میزان بار آلاینده وارده، ارائه راهکار برای بهبود کیفیتی و مدیریتی آن با توجه به نوع مصرف براساس استانداردهای کشوری می‌باشد.

۲- روش کار

اصولاً شکل ریاضی همه مدل‌ها یکسان بوده و همه آنها دارای مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل و همچنین معادلاتی برای هر ماده و یا موجود زنده هستند که بایستی به طور واضح در چارچوب مدل منظور گردند [۹].

انتخاب مدل مناسب بستگی به هدف مطالعات و پروژه مورد نظر دارد. بهترین معیار جهت انتخاب مدل، انتخاب ساده‌ترین مدل است که در مسئله مورد نظر کاربرد قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. دستورالعمل‌های انتخاب مدل را می‌توان به دو گروه کلی دستورالعمل‌های فنی و دستورالعمل‌های کاربردی طبقه‌بندی نمود. دستورالعمل‌های فنی در ارتباط با قابلیت مدل در تعریف فرایندهای مهم فیزیکی و بیوشیمیایی سیستم واقعی است. این فرایندها شامل تعیین مکانیسم‌ها و فرایندهای مهم در سیستم

[1] -Eutrophication

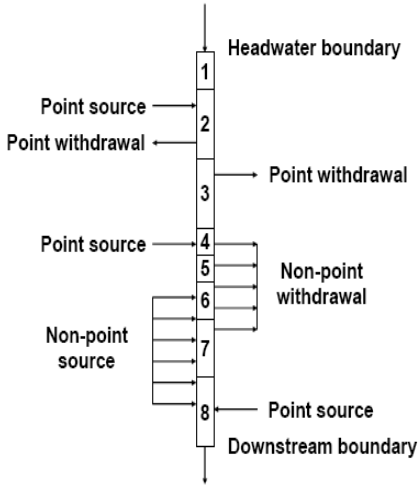
Archive of SID

www.SID.ir

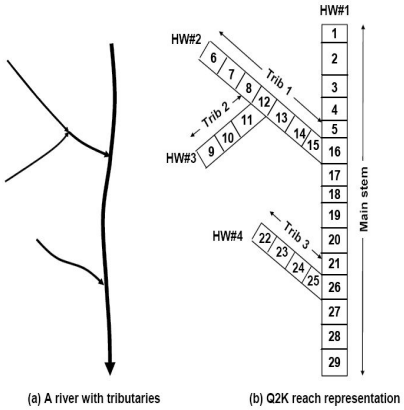
واقعی، بررسی مدل‌های موجود، قابلیت آنها و بالاخره مقایسه مشخصات و خصوصیات مهم سیستم واقعی با قابلیت‌های مدل می‌باشد [۱۰].

۲-۱- مدل QUAL2K

مدل QUAL2K آخرین مدل از سری مدل‌های QUAL می‌باشد که در سال ۲۰۰۶ ارائه و امروزه به طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رابطه با قابلیت مدل در تعریف فرایندهای مختلف سیستم واقعی و نیز در نظر گرفتن انواع پارامترها و موجودات زنده در مدل، در حال حاضر مدل $QUAL2K$ را می‌توان به عنوان جامع‌ترین مدل شبیه سازی معرفی نمود. مدل $QUAL2K$ رودخانه را به بازه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌کند که هر یک از این بازه‌ها دارای شرایط هیدرولیکی یکسانی می‌باشند (مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و ...). همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود این بازه‌ها به ترتیب از بالادست به پایین دست شماره گذاری می‌شوند و منابع نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای می‌توانند در هر قسمت رودخانه وارد شده یا از آن خارج گردند. برای رودخانه‌های دارای شاخه‌های فرعی چگونگی تقسیم بندی رودخانه به بازه‌های مختلف و نحوه شماره گذاری هر بازه در شکل (۲) آورده شده است. مدل $QUAL2K$ برای هر یک از شاخه‌های فرعی همانند شاخه اصلی رودخانه، شبیه‌سازی انجام داده و برای هر یک از آنها نمودارهای جداگانه‌ای ترسیم می‌کند.

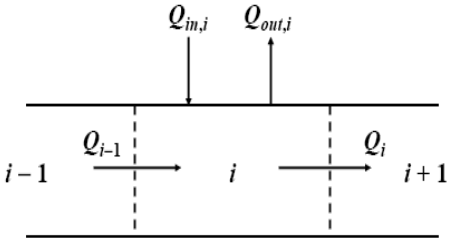


شکل ۱- چگونگی تقسیم‌بندی یک رودخانه بدون شاخه‌های فرعی در مدل $QUAL2K$

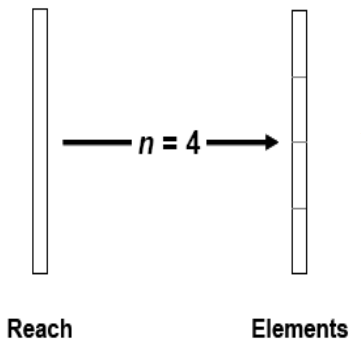


شکل ۲- چگونگی تقسیم‌بندی و شماره گذاری بازه‌ها در یک رودخانه دارای شاخه‌های فرعی در مدل $QUAL2K$

هر یک از بازه‌های تعیین شده برای مدل، به منظور رسیدن به نتیجه مطلوب‌تر و ظرافت بیشتر در ترسیم نمودارها می‌توانند به المان‌های مساوی تقسیم‌بندی شود (شکل‌های (۳) و (۴)). چنانچه هر بازه به تعدادی المان‌های مساوی تقسیم‌بندی شود موازنه جرم و حرارت برای هر یک از المان‌ها صورت می‌گیرد [۱۰].



شکل ۳- تقسیم یک بازه از رودخانه با مشخصات مشخص به چند المان



شکل ۴- موازنه جریان برای هر المان

Archive of SID

www.SID.ir

برای هر المان موازنه جریان رودخانه در حالت جریان ۱ پایدار طبق روابط زیر صورت می‌گیرد:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (۱)$$

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad (۲)$$

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \quad (۳)$$

Q_i: میزان جریان خروجی از المان i به المان $1+i$

Q_{i-1}: میزان جریان خروجی از المان $1-i$

$Q_{in,i}$: کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به المان i

$Q_{out,i}$: کل جریان خروجی از المان i به صورت نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای [۱۰].

۲-۲- واکنش‌های بیوشیمیایی

برای نشان‌دادن واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی که در مدل‌سازی اتفاق می‌افتد از روابط و معادلات زیر استفاده شده است:

۲-۲-۱- فتوسنتز و تنفس گیاهان

الف) یون آمونیوم به عنوان ماده غذایی

$$106\,CO_2 = 16\,NH_4^+ + HPO_4^{2-} + 108\,H_2O \underset{R}{\overset{P}{\rightleftarrows}} C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P_1 + 107\,O_2 + 14\,H^+$$

(۴)

ب) نیترات به عنوان ماده غذایی

$$106\,CO_2 = 16\,NO_3^- + HPO_4^{2-} 122\,H_2O + 18\,H^+ \underset{R}{\overset{P}{\rightleftarrows}} C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P_1 + 138\,O_2$$

(۵)

۲-۲-۲- فرایند نیتریفیکاسیون

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+ \quad (۶)$$

۲-۲-۳- فرایند دنیتریفیکاسیون

$$5CH_2O + 4NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 5CO_2 + 2N_2 + 7H_2O \quad (۷)$$

۲-۲-۴- استوکیومتری مواد آلی

مقادیر استوکیومتری مواد آلی بایستی به مدل داده شود و مقادیر زیر به منظور تخمین اولیه در مدل‌سازی پیشنهاد می‌شود.

$$100\,gD : 40\,gC : 7200\,mgN : 1000\,mgP : 1000\,mgA \quad (8)$$

D، C، N، P و A به ترتیب عبارتند از وزن خشک، کربن، نیتروژن، فسفر و کلروفیل آ. توجه کنید که مقدار مربوط به کلروفیل آ بسیار متغیر می‌باشد و می‌تواند بین ۵۰۰-۲۰۰۰mgA تغییر کند.

۲-۳- واکنش‌های پارامترهای کیفی

معادلات و روابط ریاضی حاکم بر واکنش‌ها به طور مجزا در زیر آورده شده است.

ماده پایدار[1]:

طبق تعریف، ماده پایدار ماده‌ای است که در واکنش‌ها شرکت نمی‌کند، به عبارت دیگر: $S_s = 0$

۲-۳-۱- فیتوپلانکتون

$$S_{ap} = PhytoPhoto - Phyto\,\mathrm{Re}sp - PhytoDeath - PhytoSettl \quad (۹)$$

۲-۳-۲- جلبک‌های کف

جلبک‌های کف در فرایند نیتریفیکاسیون افزایش و در فرایند مرگ و میر و تنفس کاهش می‌یابند.

$$S_{ab} = BotAlgPhoto - BotAlgResp - BotAlgDeath \quad (۱۰)$$

۲-۳-۳- مواد آلی به صورت ذره[2]

دتریتوس‌ها یا مواد آلی ریز در اثر مرگ گیاهان افزایش و به علت حل شدن و ته‌نشین شدن کاهش می‌یابند.

$$S_{mo} = r_{da}\,PhytoDeath + BotalgDeath - DetrDiss - DetrSettl \quad (۱۱)$$

[1] Conservative
[2] Detritus

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۳-۴- تولید و مصرف اکسیژن

میزان تولید و مصرف اکسیژن بایسد برای مدل تعیین شود. میزان اکسیژن تولیدی و مصرفی در حالت‌های زیر توسط مدل محاسبه می‌گردد.

۲-۳-۵- آمونیاک به عنوان ماده غذایی

$$r_{oca} = \frac{107 moleO_2 (32 gO_2 / moleO_2)}{106 moleC (12 gC / moleC)} = 2.69 \frac{gO_2}{gC}$$

(۱۲)

۲-۳-۶- نیترات به عنوان ماده غذایی

$$r_{ocn} = \frac{138 moleO_2 (32 gO_2 / moleO_2)}{106 moleC (12 gC / moleC)} = 3.47 \frac{gO_2}{gC}$$

(۱۳)

در فرایند نیتریفیکاسیون نسبت زیر جهت تعیین میزان اکسیژن مصرفی استفاده می‌شود.

$$r_{on} = \frac{2 moleO_2 (32 gO_2 / moleO_2)}{1 moleC (14 gC / moleC)} = 4.57 \frac{gO_2}{gC}$$

(۱۴)

۲-۳-۷- مصرف CBOD در فرایند دنیتریفیکاسیون

میزان بی او دی که در فرایند دنیتریفیکاسیون مصرف می‌شود به شرح زیر خواهد بود:

$$r_{ondn} = 2.67 \frac{gO_2}{gC} \frac{5 moleC \times 12 gC / moleC}{4 moleN \times 14 gN / moleN} \times \frac{1 gN}{1000 mgN} = 0.00286 \frac{gO_2}{mgN}$$

(۱۵)

۲-۳-۸- تأثیرات دما بر واکنش‌ها

تأثیر دما برای کل واکنش‌های از درجه یک که در مدل استفاده می‌شود طبق رابطه زیر می‌باشد:

$$k(T) = k(20)\theta^{T-20}$$

(۱۶)

۲-۳-۹- نیتروژن آلی

نیتروژن آلی در اثر مرگ گیاهان افزایش و در اثر هیدرولیز و ته‌نشینی کاهش می‌یابد.

$$S_{no} = R_{na} PhytoDeath + q_{0N} BotAlgDeath - ONHydr - ONSettl$$

(۱۷)

۲-۳-۱۰- نیتروژن آمونیاکی

نیتروژن آمونیاکی در طول فرایند هیدرولیز نیتروژن آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش می‌یابد. مقدار این پارامتر در اثر فرایندهای نیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش پیدا می‌کند.

$$S_{na} = DONHydr + r_{na} PhytoResp + r_{nd} BotAlgResp - NH_4 Nitrif - r_{na} P_{ap} PhytoPhoto - r_{nd} P_{ab} BotAlgPhot o$$

(۱۸)

۲-۳-۱۱- نیتروژن نیتراتی

مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتریفیکاسیون آمونیاک افزایش و در اثر فرایند دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد.

$$S_{ni} = NH_4 Nitrif - Denitr - r_{na}(1 - p_{ap}) PhtoPhoto - r_{nd}(1 - P_{ab}) BotAlgPhoto$$

(۱۹)

۲-۳-۱۲- فسفر آلی

فسفر آلی در طول فرایند مرگ گیاهان افزایش و در اثر هیدرولیز و ته‌نشینی کاهش می‌یابد.

$$S_{po} = r_{pa} PhytoDeath + q_{0P} BotAlgDeath - OPHydr - OPSettl$$

(۲۰)

۲-۳-۱۳- فسفر غیر آلی

میزان فسفر غیرآلی در فرایندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد.

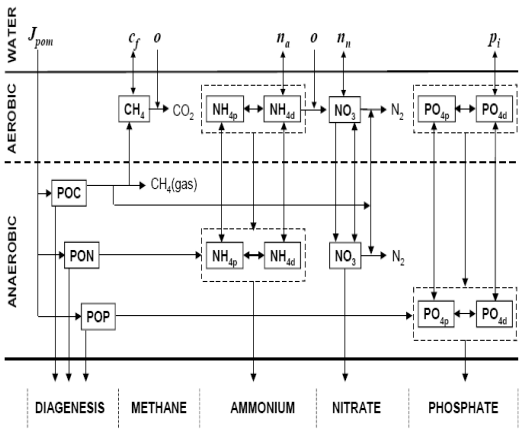
$$S_{pi} = DOPHydr + r_{pa} PhytoResp - R_{pa} PhtoPhoto - r_{pd} BotAlgUptakeP - IPSettl$$

(۲۱)

فلاکس مواد مغذی و اکسیژن مورد نیاز رسوبات کف براساس معادلات Di Toro می‌باشد. در شکل (۵) بطور شماتیک این مدل نشان داده شده است [۱۱].

Archive of SID

www.SID.ir



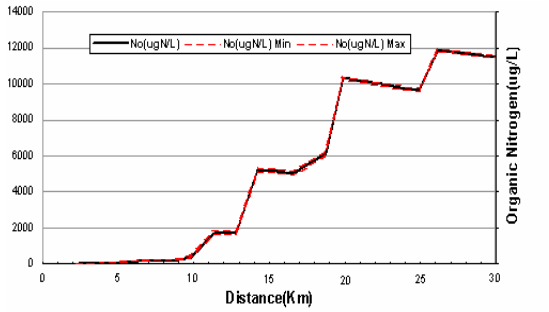
شکل ۵- شماتیک مدل اکسیژن مورد نیاز رسوبات کف و فلاکس مواد مغذی رسوبات

۳- نتایج و بحث

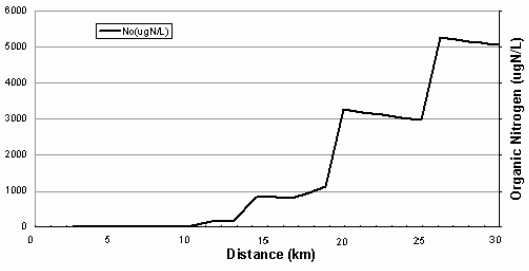
در این مطالعه با توجه به آمار و داده‌های اندازه‌گیری شده در مورد کیفیت آب این رودخانه در چهار ایستگاه (در ضمیمه موجود می‌باشد) و مقایسه آنها با استانداردهای موجود وضعیت این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. مدل خودپالایی رودخانه در مدل نرم‌افزاری $QUAL2K$ با ورود مشخصات کمی و کیفی رودخانه و پساب‌های ورودی به آن در دو فصل کم آب و پر آب، ساخته و کالیبره شد.

۳-۱- نیتروژن آلی

منابع اصلی تولید نیتروژن آلی در طول رودخانه فاضلاب‌های شهری و روستایی، زه‌آب‌های کشاورزی و بقایای گیاهان و جانوران آبزی می‌باشند [۲]. نیتروژن آلی در طول مسیر می‌تواند به علت هیدرولیز شدن یا اکسیداسیون به نیتروژن آمونیاکی تبدیل گشته و یا ته‌نشین شده و میزان آن کاهش یابد. شکل‌های (۶) و (۷) تغییرات نیتروژن آلی را در طول رودخانه نشان می‌دهند. نیتروژن آلی در مدل توسط رابطه (۱۷) محاسبه می‌گردد. از آنجا که قدرت خودپالایی رودخانه کم شده است روند افزایشی در میزان نیتروژن آلی همزمان با ورود فاضلاب‌ها قابل ملاحظه است.



شکل ۶- تغییرات نیتروژن آلی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷



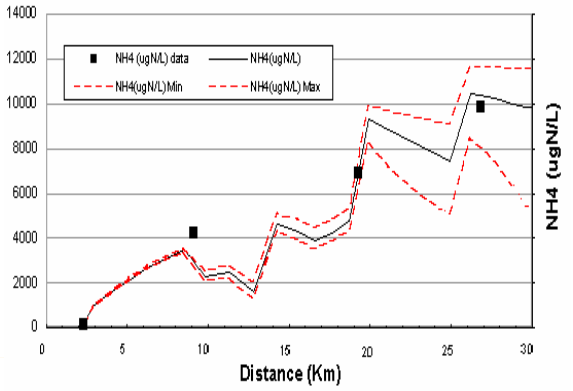
شکل ۷- تغییرات نیتروژن آلی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، آذر ۱۳۸۷

۳-۲- نیتروژن آمونیاکی

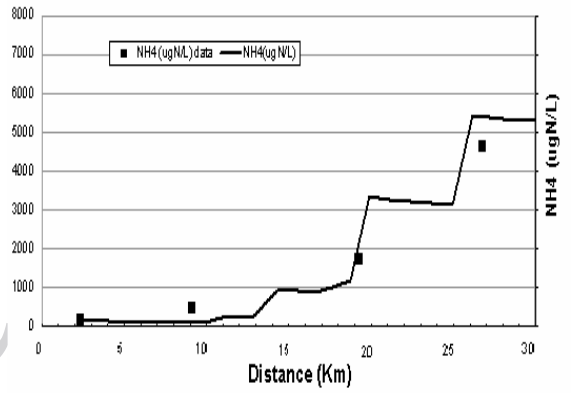
نیتروژن آمونیاکی در طول فرایند هیدرولیز نیتروژن آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها، افزایش می‌یابد. مقدار این پارامتر در اثر فرایندهای نیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد. میزان نیتروژن آمونیاکی در مدل توسط رابطه (۱۸) محاسبه می‌گردد [۱۱]. بالا بودن آمونیاک، نشان دهنده ورود آلاینده به رودخانه است. در شکل‌های (۸) تا (۱۱) تغییرات نیتروژن آمونیاکی در طول رودخانه در زمان‌ها و حالت‌های مختلف آمده است. با توجه به شکل‌های مذکور، مشاهده می‌شود که در فصل پر آب میزان نیتروژن آمونیاکی به مراتب کمتر از فصل کم آب می‌باشد، بالاتر بودن اکسیژن محلول در آذر و در نتیجه بهتر اتفاق افتادن فرایند نیتریفیکاسیون و همچنین بارندگی بیشتر و در نتیجه بالاتر بودن دبی می‌تواند از علل آن باشد. همچنین مشاهده می‌شود که با رساندن غلظت آلاینده‌های ورودی به حد استاندارد میزان نیتروژن آمونیاکی تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

Archive of SID

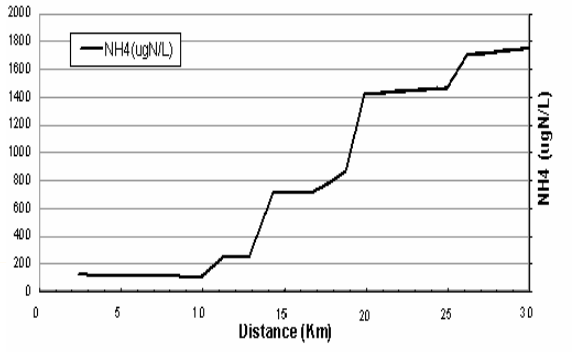
www.SID.ir



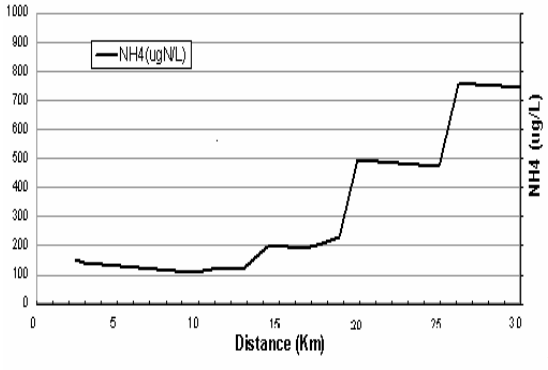
شکل ۸- تغییرات NH_4 در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷



شکل ۹- تغییرات NH_4 در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، آذر



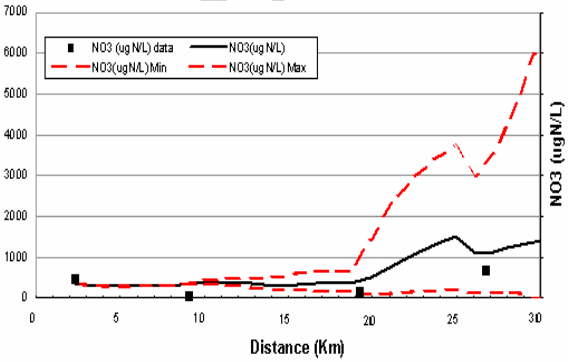
شکل ۱۰- تغییرات NH_4 در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، فصل کم آب در صورت رعایت استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی



شکل ۱۱- تغییرات NH_4 در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، فصل پرآب در صورت رعایت استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی

۳-۳- نیترات

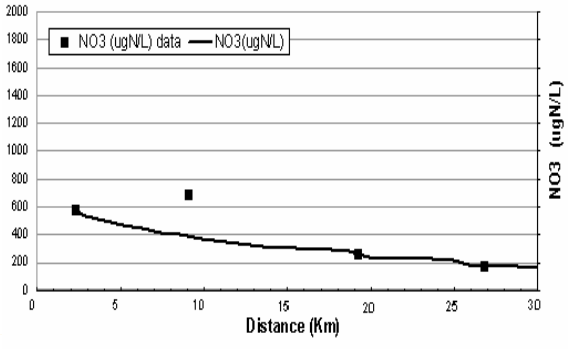
شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) تغییرات نیترات را در طول رودخانه در زمان‌ها و حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. نیتروژن نیتراتی از طریق فاضلاب‌های شهری، کشاورزی (مصرف کودهای ازته) وارد رودخانه می‌شود. مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتریفیکاسیون آمونیاک افزایش و در اثر فرایند دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد [۱۱]. میزان نیتروژن نیتراتی در مدل توسط رابطه (۱۹) محاسبه و تعیین می‌شود. میزان نیترات در طول رودخانه در آذر ۱۳۸۷ روند کاهشی داشته است که علت آن دنیتریفیکاسیون و آزاد شدن نیترات بصورت N_2 می‌باشد. ولی در فصل کم آب میزان نیترات ابتدا ثابت و در آخر به‌علت هجوم فاضلاب‌ها، از آنجا که دبی پایه کم است و نسبت به آلاینده‌ها حساس می‌باشد، افزایش می‌یابد در عین حال میزان کم نیترات نشان دهنده آن است که پساب‌های آلوده به کودهای ازته چندان به رودخانه وارد نشده‌اند و قابل توجه نیستند.



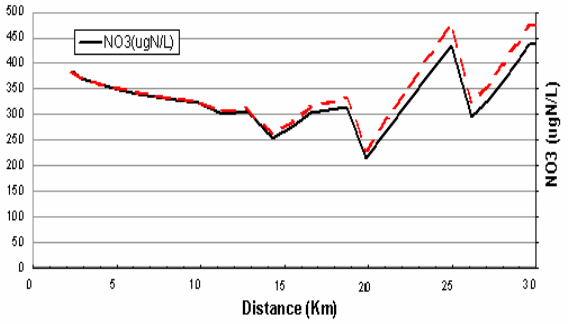
شکل ۱۲- تغییرات نیترات در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷

Archive of SID

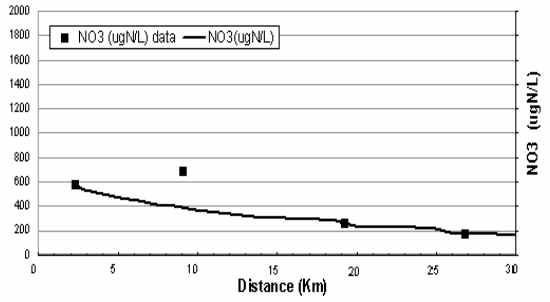
www.SID.ir



شکل ۱۳- تغییرات نیترات در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، آذر ۱۳۸۷



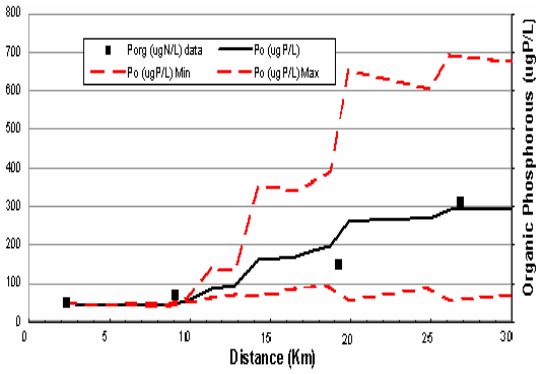
شکل ۱۴- تغییرات نیترات در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، فصل کم آب در صورت رعایت استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی



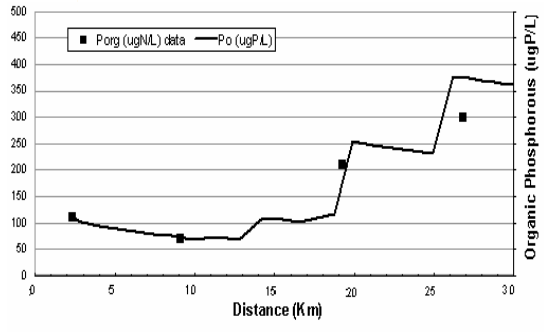
شکل ۱۵- تغییرات نیترات در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، فصل پر آب در صورت رعایت استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی

۳-۴- فسفر آلی

فسفر آلی در طول فرآیند مرگ گیاهان افزایش و در اثر هیدرولیز و ته نشینی کاهش می‌یابد. میزان فسفر آلی در مدل توسط رابطه (۲۰) محاسبه می‌گردد [۱۱]. تغییرات فسفر آلی در طول رودخانه در زمان‌های مختلف در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) آمده است. با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که میزان فسفر آلی در رودخانه چالوس بسیار کم می‌باشد. علت افزایش آن ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی است.



شکل ۱۶- تغییرات فسفر آلی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷



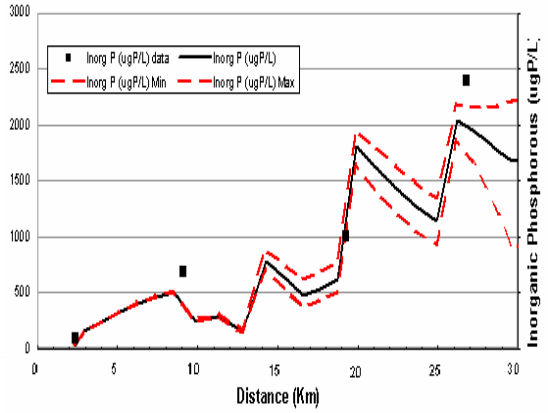
شکل ۱۷- تغییرات فسفر آلی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، آذر ۱۳۸۷

۳-۵- فسفر غیرآلی

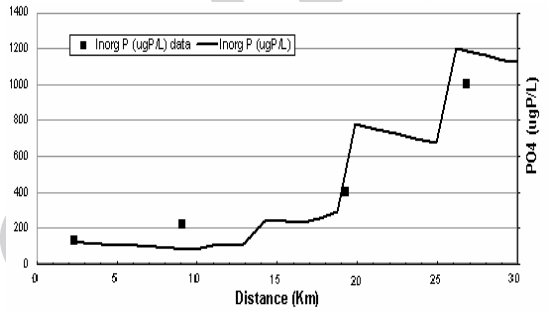
شکل‌های (۱۸) و (۱۹) تغییرات فسفر غیر آلی را در طول رودخانه در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. میزان فسفر غیر آلی در فرایندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد. چگونگی محاسبه میزان فسفر غیر آلی توسط مدل در رابطه (۲۱) آمده است [۱۱]. میزان فسفر غیر آلی در طول رودخانه روند رو به رشدی داشته است که از علل آن می‌توان به افزایش میزان فسفر آلی در طول رودخانه اشاره کرد.

Archive of SID

www.SID.ir



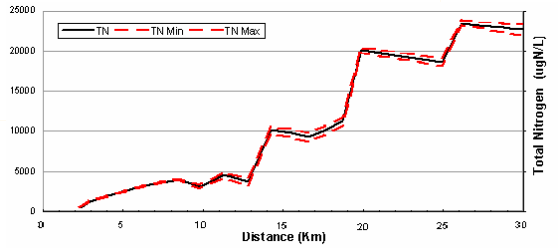
شکل ۱۸- تغییرات فسفر غیرآلی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷



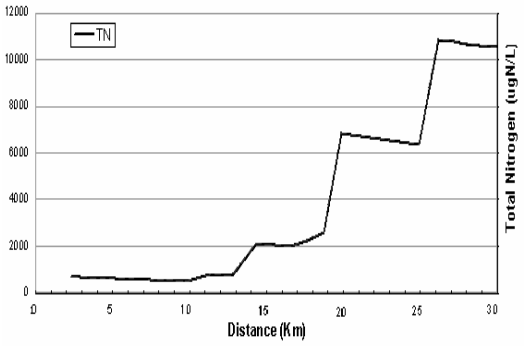
شکل ۱۹- تغییرات نیتروژن کل در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷

۳-۶- نیتروژن کل

نیتروژن کل شامل مجموع نیتروژن نیتراتی، آلی و آمونیاکی می‌باشد. شکل‌های (۲۰) و (۲۱) تغییرات نیتروژن کل را در طول رودخانه در زمان‌های مختلف نشان می‌دهند [۱۱]. میزان نیتروژن کل در تمام فصول در طول رودخانه روند افزایش دارد.



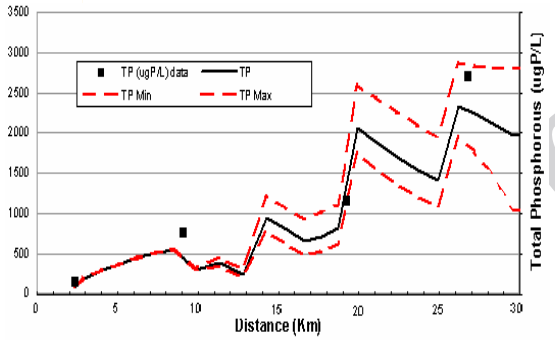
شکل ۲۰- تغییرات نیتروژن کل در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷



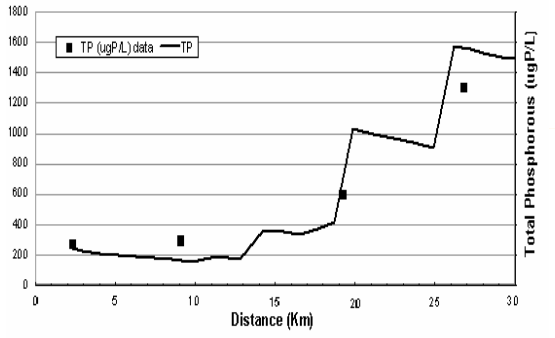
شکل ۲۱- تغییرات نیتروژن کل در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، آذر ۱۳۸۷

۳-۷- فسفر کل

شکل‌های (۲۲)، (۲۳) (۲۴) و (۲۵) میزان فسفر کل را در طول رودخانه در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. فسفر کل شامل فسفر آلی و فسفر غیر آلی می‌باشد. میزان فسفر کل در رودخانه چالوس روند افزایشی را در تمام فصول دارا می‌باشد.



شکل ۲۲- تغییرات فسفر کل در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، مرداد ۱۳۸۷



شکل۲۳- تغییرات فسفر کل در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل، آذر ۱۳۸۷

www.SID.ir

۴- نتیجه‌گیری

از مقایسه نتایج به‌دست آمده با استانداردها نتیجه‌گیری می‌شود که در ایستگاه اول (قبل از مرزن آباد) رودخانه دارای یک روند طبیعی بوده و برای کشاورزی، آبیاری و برای مصارف چهارپایان و آبزیان مناسب است ولی برای مصارف آشامیدن انسان مناسب نیست چرا که با توجه به استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی و مجمع اروپایی، مقادیر آمونیاک و نیترات در حد استانداردهای آب‌های مصرفی چهارپایان و آبزیان بوده ولی به هیچ وجه برای آشامیدن انسان مناسب نیست، مگر اینکه مورد تصفیه فیزیکی و شیمیایی قرار گیرد.

در ایستگاه هیدرومتری دوم (پل زغال) فاضلاب انسانی شهر مرزن‌آباد و فاضلاب‌های خانگی تعدادی از خانه‌های روستاییان کنار رودخانه، موجب آلودگی تدریجی رودخانه می‌شود. پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که کیفیت آب از معیارهای ساختمان طبیعی آب فاصله گرفته و دیگر یک آب کاملاً طبیعی و رودخانه‌ای نمی‌باشد. در این مرحله، مقادیر آمونیاک و نیترات و مواد آلی باز هم بالا رفته که با توجه به استانداردهای ایران، WHO و مجمع اروپایی برای زندگی آبزیان مناسب نمی‌باشد ولی برای آبیاری و کشاورزی مناسب است.

پس از ایستگاه هیدرومتری پل زغال که رودخانه به سمت شهر چالوس پیش می‌رود حجمی از فاضلاب‌های صنعتی، خانگی و کشاورزی منطقه وارد رودخانه شده و پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان از یک آب رودخانه‌ای با کیفیتی که در ایستگاه اول بود را ندارد و هر کدام از پارامترها که استاندارد مصرف برای آنها وجود دارد افزایش را نشان می‌دهد به جز نیترات که براساس استانداردهای موجود قابل قبول می‌باشد و از آنجا که به طور معمول نیترات از طریق پساب‌های کشاورزی حاوی کودهای شیمیایی در اکوسیستم‌های آبی ایجاد می‌شود نشان دهنده ناچیز بودن این نوع پساب می‌باشد.

در انتهای رودخانه چالوس و نزدیک به منطقه قبل از مصب، باز هم حجمی از فاضلاب‌های خانگی و شهری، شهر چالوس را در برگرفته در این منطقه DO پایین می‌باشد و رودخانه به سمت دریای خزر روانه می‌باشد.

البته همچنان که مشاهده می‌شود با رساندن پارامترهای فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه به حد مجاز، تخلیه به آب‌های سطحی کل مسیر برای مصارف کشاورزی و مصرف حیوانات و آبزیان مناسب خواهد شد و رودخانه مجدداً قدرت خودپالایی خود را باز خواهد یافت.

۵- پیشنهادات

پیشنهادات ارائه شده براساس دو محور اساسی ارائه می‌شود که یکی در ارتباط با بهبود کیفی رودخانه در طول مسیر و دیگری در مورد بهبود وضعیت نتایج شبیه‌سازی کیفی آب رودخانه چالوس در مطالعات بعدی می‌باشد.

۱- به دلیل وضعیت این رودخانه، قبل از هرچیز لایروبی و هوادهی مصنوعی توسط پمپ‌های شناور در محل تخلیه فاضلاب‌های نقطه‌ای توصیه می‌شود.

۲- میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده رودخانه و نتایج مدلسازی نشان می‌دهد که مشکل اصلی این رودخانه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی می‌باشد بنابراین ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب درمحل‌های تولید فاضلاب اطراف رودخانه و تأسیس تصفیه خانه‌های فاضلاب جهت رساندن کیفیت فاضلاب‌ها به حد مجاز تخلیه به آب‌های سطحی و همچنین هدایت آب‌های سطحی به تصفیه‌خانه به علت میزان مواد آلی بالا در سطح منطقه توصیه می‌شود.

۳- تصفیه کامل پساب‌های کارخانجات لبنی اطراف رودخانه.

۴- کنترل و اندازه‌گیری سموم کشاورزی و سموم دفع آفات مانند علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها در رودخانه و بررسی پساب‌های کشاورزی آن منطقه.

۵- در صورت گسترش صنایع در حاشیه رودخانه چالوس بایستی نحوه استقرار صنایع در طول رودخانه پراکندگی داشته باشد و طبق نظر سازمان محیط زیست انجام پذیرد و از متمرکز کردن صنایع در قسمت خاصی از رودخانه جلوگیری به عمل آید.

۶- استفاده از مدل‌های دیگر شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها و مقایسه نتایج آن با مدل $QUAL2K$ در شرایط یکسان.

۷- تعیین پارامترهای هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و هندسی در نقاط بیشتری از رودخانه جهت بررسی دقیق‌تر مدل‌های کامپیوتری شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه.

۸- پیش‌بینی روند ازدیاد جمعیت و یا بررسی طرح توسعه شهرک‌ها در حوضه رودخانه چالوس و بررسی وضعیت رودخانه در آینده با در نظر گرفتن توسعه.

۷- مراجع

[۱] ابریشم چی، الف. "مدل‌های ریاضی کیفیت آب رودخانه"، آب و توسعه، سال دوم، شماره سوم، ۱۳۷۳.

[۲] افشین، یدا....، "رودخانه‌های ایران"، وزارت نیرو- شرکت مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۳.

[3] Chapra, S.C., Surface water, quality modeling, McGraw-Hill, New York, 1997.

[4] Steven, C., Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill, New York, 1997.

[۵] شرکت مدیریت منابع آب ایران، "راهنمای مطالعات ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها"، آذر ماه ۱۳۸۴.

[6] Drolc, A., "water Quality Modeling of the save river (Slovwenia)", Journal of Water Science and Technology, 1999, 10, 111-118.

[7] Tomas, O., Barnwel, Jr., Linfield, C., Brown and Raymond C., inporance of field Data in stream water Quality Modeling sing QUAL2E-

Archive of SID

www.SID.ir

UNCAS", Journal of Environmental Engeeniring 2006, 6, 643-647.

[۸] ابوالقاسمی، "شناخت و بررسی تأثیر منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از مدل *QUAL2K*"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۸.

[۹] پورکریمی، علی، "شناخت منابع آلاینده رودخانه قره‌آغاج و بررسی تأثیر آنها بر کیفیت آب رودخانه با استفاده از مدل QUAL2K" پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه شیراز (۱۳۸۴).

[10] Chapra, S.C., Pelletier, G.J., QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and User Manual, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, 2008.

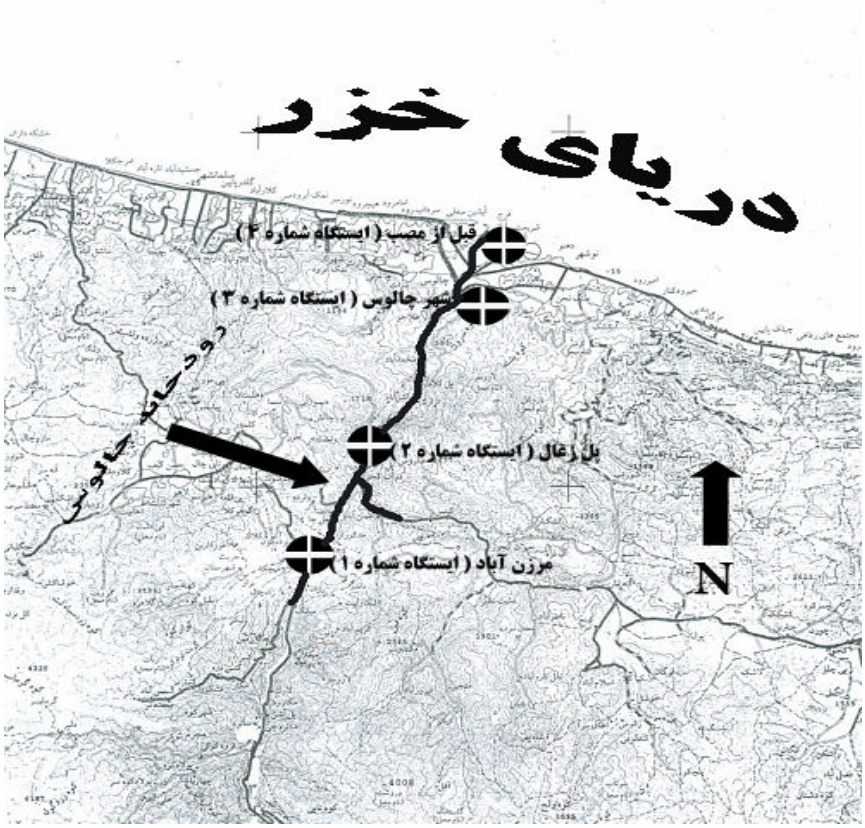
[11] Melching, Ch., "Key Source of Uncertainty in QUAL2E model of Passaic river", Journal of Water Resource Planning and Management, 1996, 2, 105-113.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۲۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده برروی رودخانه چالوس ($\mu gN/L$)

پارامتر / ایستگاه	نیتروژن آلی		نیتروژن آمونیاکی		نیترات		فسفر آلی		فسفر غیر آلی		نیتروژن کل		فسفر کل	
	فصل کم آب	فصل پر آب	فصل کم آب	فصل پر آب	فصل کم آب	فصل پر آب	فصل کم آب	فصل پر آب	فصل کم آب	فصل پر آب	فصل کم آب	فصل پر آب	فصل کم آب	فصل پر آب
مرزن آباد	۷۲	۲۲	۵۶	۱۲۵	۵۴۶	۵۸۰	۵۴	۱۰۴	۱۱۳	۱۸۶	۱۸۵۰	۷۵۵	۲۶۵	۲۶۴
پل زغال	۱۵۷۵	۷۵۵	۳۴۵۰	۱۲۰	۵۱۲	۴۱۰	۷۲	۷۲	۴۷۸	۱۷۵	۴۷۵۴	۹۵۳	۵۹۵	۱۹۵
چالوس	۱۰۰۵۴	۳۱۵۸	۶۷۲۴	۱۸۰۰	۵۰۵	۲۶۵	۲۱۷	۲۰۳	۱۰۰۵	۴۰۵	۱۹۷۵۰	۶۸۵۰	۱۱۷۲	۶۰۵
قبل ز مصب	۱۲۱۲۰	۵۵۰۳	۱۰۵۰۲	۵۲۳۰	۱۲۵۸	۲۱۰	۳۰۵	۳۲۴	۱۹۴۶	۱۱۸۰	۲۳۵۳۰	۱۰۸۶۰	۲۲۴۸	۱۷۷۵



شکل ۲۵- نمای رودخانه چالوس و ایستگاه‌های نمونه‌برداری روی آن

www.SID.ir