Archive of SID

شبیه‌سازی کیفیت آب رود بشار در محدوده‌ی شهر یاسوج با استفاده از شبیه QUAL2K

فردین بوستانی[۱*]، احسان گوهرگانی[۲]

چکیده

رود بشار یکی از منابع آبی با ارزش در استان کهگیلویه و بویراحمد بوده و از نظر زیست محیطی و اقتصادی از ارزش بالایی برخوردار است، که با تهدیدهای جدی، از جمله ورود پسابهای تصفیه‌خانه‌ی شهر یاسوج، فاضلاب کارخانه‌های قند، گلوکز و نشاسته ، زهآبهای کشاورزی، زباله‌های شهری، و آلودگی ناشی از شبکه‌ی جمع آوری آبهای سطحی شهر یاسوج مواجه گردیده است. در این پژوهش، به منظور آگاهی از روند تغییرها و پیش‌بینی کیفیت آب رود بشار و با توجه به طرحها و برنامه‌های آینده‌ی توسعه‌ی شهری، کشاورزی و صنعتی، از نرم افزار QUAL2K استفاده گردیده است. ابتدا آمار مورد نیاز، شامل داده‌های هواشناسی از جمله دمای هوا، دمای نقطه‌ی شبنم، سرعت باد، پوشش ابری، درصد قرارگیری رود در سایه، تابش نور خورشید، آبدهی و کیفیت آب رود، شرایط هیدرولیکی رود، از جمله ضرایب هیدرولیکی، مختصات مکانی، رقوم ارتفاعی ابتدا و انتها، فواصل و شکل مقاطع عرضی، اطلاعات منابع آلاینده شامل کیفیت منابع آلاینده و محل ورود به رود ، و ضرایب جنبشی، جمع‌آوری و صحت و کیفیت آنها مورد بررسی قرار گرفت. سپس با آن جام مطالعات میدانی، ۴ موقعیت مناسب به منظور آن جام نمونه‌برداری در بازه‌ی تنگ سرخ تا پل مختار تعیین گردیدند. دمای آب، قابلیت هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی زیست شیمیایی، نیتروژن نیتراتی، فسفر آلی و اسیدیته، در کم‌آب ترین و پرآب‌ترین ماههای سال یعنی شهریور و اسفند ، با نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها اندازه‌گیری یا تعیین، و از داده‌های اندازه‌گیری شده صحرایی و نتایج تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه برای واسنجی شبیه استفاده و با معیارهای زیست محیطی مقایسه گردید. شبیه‌سازی آن جام شده به‌وسیله شبیه در مورد اکسیژن خواهی زیستشیمیایی نشان داد که میزان آن در شهریور، به علت ورود فاضلابهای شهری، روانابهای کشاورزی و فاضلابهای آبزی پروری، نوسانهای بیشتری را نسبت به اسفند ماه داشته است. کمترین BOD شبیه‌سازی شده در اسفندماه ۴/۶ و حداکثر ۸/۴ میلی‌گرم در لیتر بوده، که این مقادیر در شهریور بین ۱ تا ۷ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شده است. نتایج شبیه و همچنین داده های انداره گیری شده نشان از میزان بالای اکسیژن محلول در رود بشار داشته، که می‌تواند ناشی از ظرفیت مناسب خودپالایی آن باشد. مقادیر pH رود بشار نیز عموما قلیایی، و تقریبا یکسان بوده است. مقایسه‌ی مقادیر شبیه‌سازی شده با کاربرد QUAL2K با داده‌های واقعی نشان داد که بازه‌ی پایین‌دست روستای دهنو تا پل مختار بیشترین بار آلودگی را تحمل کرده، و کیفیت آب رود بشار در پایین‌دست پل مختار در ماه شهریور بدترین وضعیت را داشته است؛ ظرفیت مناسب خودپالایی رود موجب گردیده است که کیفیت جریان آب پس از طی حدود ۱۰ کیلومتر بهبود یابد در نهایت، از شبیه QUAL2K می‌توان برای بررسیها و مدیریت کیفیت آب رود بشار استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی کیفیت آب، رود بشار، QUAL2K

[۱] - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

[۲] - دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی (سازه‌های آبی)، واحد علوم و تحقیقات فارس، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران

[*]- نویسنده مسوول مقاله: fardinboustani@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رودها و دیگر آبهای سطحی به عنوان یکی از منابع اصلی تامین آب مطرح می باشند، اما امروزه گذشته از مشکل خشکسالی (کمی)، آلودگی کیفی رودها نیز مزید بر علت شده است تا سیاست مداران در راستای حفظ کیفیت رودها به فکر تمهیداتی اجرایی بیافتند [نصیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۱].

در استانهایی که کشاورزی رونق دارد، بخش عمده‌ای از آلودگیها مربوط به ورود سموم آفات گیاهی و کودها و مواد شیمیایی خطرناک از طریق آبهای برگشتی زمینهای کشاورزی به داخل رودهاست، و در مناطقی هم که رودها از روستاها عبور می‌کند، و حتی برخی مناطق شهری، نیز به دلیل نبودن شبکه‌ی جمع آوری فاضلاب و آبهای سطحی، فاضلابهای خانگی نیز به داخل رودها هدایت می‌شوند، بطوری که در مناطق پایین دست به جای رود شاهد جریان داشتن فاضلابهای مملو از انواع و اقسام مواد آلی و شیمیایی هستیم. متاسفانه، شریان آلودگی رودها به این عوامل ختم نمی‌شود. در شهرها این رگهای حیاتی جامعه انسانی، با آلودگی بسیار خطرناکی به نام فاضلاب و پسماند مراکز درمانی و صنعتی مواجه می‌باشد [مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۸۸].

در ایران تا گذشته، نزدیک مساله‌ی دفع فاضلاب بسته به وضعیت سطح آب زیرزمینی به دو گونه حل می‌شد. در شهرهای که عمق آب زیرزمینی و نفوذپذیری زمین نسبتا زیاد بوده، از چاههای جاذب فاضلاب استفاده می‌شد که هم‌اکنون نیز در بیشتر نقاط تهران نیز کاربرد دارند. در شهرهایی که سطح آب زیرزمینی در آنها بالا بوده و یا زمین از نفوذپذیری کمی برخوردار است، مسأله دفع فاضلاب بدین گونه حل می‌شده است که اگر شهر دارای شیب کافی بوده و یا زهکشهای طبیعی مانند رود در مجاورت آن قرار داشته، با ساختن فاضلابروهای موضعی و کوتاه، فاضلابهای خانگی سطحی را بدون تصفیه به خارج شهر منتقل می‌ساختند. [منزوی ، ۱۳۷۵].

از آن جا که ایران از نظر اقلیمی و جغرافیایی در مناطق خشک و نیمه خشک کره زمین قرار گرفته، منابع آب در آن با محدودیت کلی روبرو می باشند، از این رو باید به دنبال روشهایی باشیم که ضمن رویکرد به سمت راهکارهای صحیح بهره وری از منابع آب، حفاظت بسنده از آنها را نیز از طریق تدوین و اجرای قوانین و ضوابط، مورد توجه قرار دهد. در این راستا، نظارت بر دفع صحیح فاضلابهای شهری و صنعتی به محیط و آبهای پذیرنده، به منظور مدیریت و حفاظت کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی، از اصول اساسی محسوب می‌گردد. در مورد رودها و جریانهای آب سطحی، چنانچه بار تخلیه مواد آلاینده اکسیژن خواه (مواد آلی موجود در فاضلاب) بیش از توان خودپالایی رود گردد، ضمن تسریع در رشد جلبکها و گیاهان آبزی، موجب کاهش اکسیژن محلول، ایجاد شرایط بی‌هوازی و مرگ میر آبزیان خواهد شد[مهندسین مشاور یکم، ۱۳۷۹].

میزان بارگذاری قابل تحمل برای رودهای مختلف تابع عوامل زمانی و مکانی مختلف مرتبط با نوع و شدت بار آلودگی ورودی، و همچنین شرایط محیطی داخل رود است. با توجه به تنوع و تعدد منابع آلوده کننده و متفاوت و متغیر بودن توان خودپالایی رودها از جنبه مکانی و زمانی، اجرای معیارهای تخلیه‌ی پساب، برای جلوگیری از تخریب کیفیت آب رودها و حفظ سلامت این بوم نظامها در کلیه‌ی نقاط و شرایط کافی نیست. از این رو، علاوه بر ضرورت اعمال معیارهای تخلیه‌ی پساب برای مدیریت آلاینده‌های نقطه‌ای و اجرای اقدامات مدیریتی در سطح حوضه آبخیز برای مدیریت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای، متناسب کردن میزان بارگذاری آلاینده با توان خودپالایی یک رود با توجه به وضعیت اقلیمی و ویژگی‌های آبشناسی، هیدرولیکی و هندسی رود، اهمیت نسبی فرایندهای فیزیکی- شیمیایی و زیستی دخیل و شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی، برای حفظ سلامت بوم نظام و کیفیت آب رود بر اساس معیارهای کیفیت آب مربوط به کاربری‌های موجود یا آینده امری ضروری است[پورقاسم و خلج، ۱۳۸۸].

برای تعیین واکنش قابل انتظار بر اثر ورود آلاینده‌ها، استفاده از شبیه‌های ریاضی ضروری است. این شبیه‌ها نه تنها امکان پیش‌بینی آثار بارگذاریهای آتی را فراهم می‌سازند، بلکه کیفیت آب حاصل از شرایطی را که در گذشته پایش نشده (مثل شرایط بحرانی بده‌ی کم) می‌توان با استفاده از این ابزار تخمین زد.

www.SID.ir

Archive of SID

تشریح مسأله

رود بشار یکی از مهمترین رودهای استان کهکیلویه و بویر احمد می‌باشد. طول این رود نزدیک ۱۹۰ کیلومتر است که از جنوب شرقی بویراحمد علیا و از کوههای اردکان در استان فارس سرچشمه گرفته و به سوی شمال غربی (بویراحمد سفلی) پیش می‌رود. سرچشمه‌های اصلی این رود، نهرهای گنجگون، تیزآب و تنگ سرخ است. این رود که بیشتر در شرق و شمال شرقی استا ن جریان دارد، در مسیر خود از شهر یاسوج عبور کرده و به سمت دروهان پیش می‌رود. پس از عبور از شمال شرقی منطقه و پس از ورود به رود خرسان در قسمت شمالی دنا، از شمال مناطق بویراحمد سفلی و طیبی گذشته، با نام بارز به رود کارون پیوسته و به سوی خلیج فارس سرازیر می‌شود. از آب این رود برای کشاورزی در روستاهای منطقه استفاده می‌شود. با توجه به بحران کمبود آب، و از آن جایی که رود بشار یکی از مهمترین رودهای استان کهکیلویه و بویر احمد است، آن جام تحقیقاتی جامع پیرامون آلودگیهای آن از لحاظ کمی و کیفی، و استفاده از ابزارهای مدیریتی همچون شبیه‌های ریاضی و رایانه ای به منظور پیش‌بینی وضعیت کیفی آب این رود و پیشگیری از آلودگی فزاینده آن امری ضروری به نظر می‌رسد.

بطور کلی اهدافی که در این تحقیق دنبال می‌شوند عبارتند از:

۱- شناخت وضعیت موجود رود از نظر کیفی (نمونه‌برداری و تجزبه های آزمایشگاهی)

۲- شناسایی منابع آلاینده رود بشار (منابع صنعتی، شهری، کشاورزی)

تهیه‌ی برنامه‌ی رایانه‌ای به منظور شبیه‌سازی کیفیت آب رود بشار در وضع موجود با استفاده از برنامه QUAL2K.

در این تحقیق سعی شده است علاوه بر شناسایی منابع آلاینده این رود اعم از آلاینده‌های نقطه‌ای و یا غیر نقطه‌ای، به شبیه‌سازی کیفیت آب رود با کاربرد شبیه QUAL2K پرداخته شود. در نهایت، با توجه به نتایج به دست آمده و شناسایی منابع آلاینده، راهکارهای مناسبی برای حفظ و یا بهبود کیفیت آب این رود ارائه خواهد شد.

مواد و روشها

در ابتدا به منظور شناسایی موقعیت رود بشار، حوضه‌ی آبخیز این رود، زمینهای کشاورزی، راههای دسترسی به رود، مراکز جمعیتی اطراف رود از قبیل شهرها، روستاها و آبادی‌ها، از نقشه پستی و بلندی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه، تهیه شده به‌وسیله‌ی سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده گردید. علاوه بر آن، به منظور شناسایی وضعیت اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، و کمیت و کیفیت آب رود، آمار و اطلاعات هواشناسی و آبشناسی، از جمله بارش و دمای ماهانه و سالانه، و آبدهی رود از شرکتهای آب منطقه‌ای و ادارات هواشناسی گردآوری شدند.

علاوه بر جمع‌آوری اطلاعات کیفیت آب رود در دوره‌های گذشته، نمونه‌برداری و تجزیه ی کیفی آب رود در یک دوره‌ی یک ساله نیز آن جام پذیرفت. در این پژوهش، روش نمونه‌برداری نظام مند مورد استفاده قرار گرفت، که در آن، نمونه‌ها با فواصل زمانی (مشخص) مساوی و مکانهای مشابه معین برداشت گردیدند.

فراسنجهای کیفی دما، اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، اکسیژن خواهی زیست شیمیایی، اکسیژن محلول، نیترات، فسفات، بیکربنات، کربنات، کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در این تحقیق بررسی گردیده‌اند.

کیفیت آب رود تابعی از بده و دما بوده و بنابر توصیه‌ی EPA (۲۰۰۱)، زمان نمونه برداری بده و دمای آب در روش تحلیل فراوانی با دوره‌ی بازگشت ده ساله تعیین گردید.

تعیین نقاط نمونه برداری به منظور بررسی فراسنجهای کیفی آب رود بشار با توجه به شرایط واقعی آن رود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

از جمله محل برداشتن آبهای آشامیدنی، یا نقاطی که تغییرات محسوسی از نظر کیفیت در آب رود صورت می‌گیرد، در تقاطع یا تلاقی شاخه‌های فرعی با مسیر اصلی رود و همچنین محلهای تخلیه‌ی فاضلابهای شهری و صنعتی در نظر گرفته شده‌اند. سایر عوامل مؤثر در گزینش محل نمونه‌برداری از آب رود بشار عبارتند از:

آلودگی ناشی از زمینهای کشاورزی، امکان دسترسی به محل نمونه‌برداری، پیشینه‌ی آماری از وضعیت کیفیت رود و وجود اطلاعات آبسنجی.

www.SID.ir

Archive of SID

در نهایت، با توجه به بررسیهای آن جام گرفته و مطالعات میدانی مسیر رود بشار، ۴ ایستگاه از محدوده‌ی تنگ سرخ تا پل مختار، برای نمونه‌برداری کیفی از آب رود با ویژگیهایی طبق جدول ۱ انتخاب گردیدند.

جدول(۱) موقعیت نقاط نمونه‌برداری

ایستگاه	نام محل	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
S1	تنگ سرخ	571855	3370182	2024
S2	دهنو	559905	3389777	1810
S3	پل بشار	557722	3390733	1790
S4	پل مختار	550631	3394260	1735

جدول(۲) ویژگیهای فاضلاب خروجی از تصفیه خانه شهر یاسوج

فراسنج	واحد	مقدار
pH	-	۷/۸
قابلیت هدایت الکتریکی	µmhos	۱۲۰۰
جامدات معلق کل	mg/L	۳۰
اکسیژن محلول	mg/L O2	۲
اکسیژن خواهی زیست شیمیایی	mg/L O2	۴۰
نیتروژن آلی	µg/L as N	۱۲۰۰
مجموع نیترات و نیتریت	µg/L as N	۱۵۰۰۰
فسفر آلی	µg/L as P	۲۰۰۰
فسفر غیر آلی	µg/L as P	۸۰۰
قلیائیت	mg/L as CaCO3	۲۹۰

جدول(۳) ویژگیهای فاضلابهای کشاورزی

فراسنج	واحد	مقدار
pH	-	۷/۸
قابلیت هدایت الکتریکی	µmhos	۱۴۰۰
جامدات معلق کل	mg/L	۶۰
اکسیژن محلول	mg/L O2	۱
اکسیژن خواهی زیست شیمیایی	mg/L O2	۴۰
نیتروژن آلی	µg/L as N	۵۰۰۰
مجموع نیترات و نیتریت	µg/L as N	۲۵۰۰۰
فسفر آلی	µg/L as P	۱۲۰۰
فسفر غیر آلی	µg/L as P	۸۰۰
قلیائیت	mg/L as CaCO3	۲۹۰

جدول (۴) ویژگیهای فاضلابهای صنعتی

فراسنج	واحد	مقدار		
		کارگاههای ماسه شویی	کارخانه قند	آبزی پروری
pH	-	۷/۵	۷/۸	۷/۶
EC	µmhos	۲۰۰۰	۱۲۰۰	۳۵۰
TDS	mg/L	۳۵۰۰	۴۰	۵۰
DO	mg/L O2	۶	۰	۵
BOD	mg/L O2	۳	۱۲۰	۵۵
COD	mg/L O2	-	۱۶۰	-
نیتروژن آلی	µg/L as N	-	۱۰۰۰	۶۰۰
مجموع نیترات و نیتریت	µg/L as N	۱۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
فسفر آلی	µg/L as P	-	۱۰۰	۵۰۰
فسفر غیر آلی	µg/L as P	-	۶۰۰	۳۰۰
قلیائیت	mg/L as CaCO3	۲۵۰	۲۹۰	۲۸۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۵) ضرایب جنبشی مورد استفاده در شبیه QUAL2K برای رود بشار

				Auto-calibration inputs		
Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-cal	Min value	Max value
Stoichiometry:						
Carbon	40	gC	gC	No	30	50
Nitrogen	7.2	gN	gN	No	3	9
Phosphorus	1	gP	gP	No	0.4	2
Dry weight	100	gD	gD	No	100	100
Chlorophyll	1	gA	gA	No	0.4	2
Inorganic suspended solids:						
Settling velocity	0.744467786	m/d	v_i	Yes	0	2
Oxygen:						
Reaeration model	Internal			f(u h)		
Temp correction	1.024		θ_a			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2.69	gO_2/gC	r_{oc}			
O2 for NH4 nitrification	4.57	gO_2/gN	r_{on}			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0.60	L/mgO2	K_{socf}	No	0.60	0.60
Oxygen inhib model nitrification	Exponential					
Oxygen inhib parameter nitrification	0.60	L/mgO2	K_{sona}	No	0.60	0.60
Oxygen enhance model denitrification	Exponential					
Oxygen enhance parameter denitrification	0.60	L/mgO2	K_{sodn}	No	0.60	0.60
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential					
Oxygen inhib parameter phyto resp	0.60	L/mgO2	K_{sop}	No	0.60	0.60
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential					
Oxygen enhance parameter bot alg resp	0.60	L/mgO2	K_{sob}	No	0.60	0.60
Slow CBOD:						
Hydrolysis rate	0.511236401	/d	k_{hc}	Yes	0	5
Temp correction	1.047		θ_{hc}	No	1	1.07
Oxidation rate	0.289229247	/d	k_{dcs}	Yes	0	0.5
Temp correction	1.047		θ_{dcs}	No	1	1.07
Fast CBOD:						
Oxidation rate	3.849894306	/d	k_{dc}	Yes	0	5
Temp correction	1.047		θ_{dc}	No	1	1.07
Organic N:						
Hydrolysis	3.24804912	/d	k_{hn}	Yes	0	5
Temp correction	1.07		θ_{hn}	No	1	1.07
Settling velocity	0.631629932	m/d	v_{on}	Yes	0	2
Ammonium:						
Nitrification	7.042246208	/d	k_{na}	Yes	0	10
Temp correction	1.07		θ_{na}	No	1	1.07
Nitrate:						
Denitrification	1.253342048	/d	k_{dn}	Yes	0	2
Temp correction	1.07		θ_{dn}	No	1	1.07
Sed denitrification transfer coeff	0.036997509	m/d	v_{di}	Yes	0	1
Temp correction	1.07		θ_{di}	No	1	1.07
Organic P:						
Hydrolysis	4.533834457	/d	k_{hp}	Yes	0	5
Temp correction	1.07		θ_{hp}	No	1	1.07
Settling velocity	1.089233022	m/d	v_{op}	Yes	0	2
Inorganic P:						
Settling velocity	0.367193332	m/d	v_{ip}	Yes	0	2
Sed P oxygen attenuation half sat constant	0.789334424	mgO_2/L	k_{spi}	Yes	0	2

ایستگاه اول: تنگ‌سرخ

این ایستگاه بالادست روستای دهنو و به عنوان نخستین ایستگاه بر روی سرشاخه‌ی بشار در محدوده‌ی استان کهگیلویه و بویراحمد و قبل از تلاقی شاخه‌ی خرم‌ناز و روستاهای منطقه واقع گردیده است.

ایستگاه دوم: دهنو

به علت کمی آلودگی (خصوصا آلودگیهای صنعتی) در منطقه، و عبور رود از منطقه پر شیب و کوهستانی، که نشانگر قدرت پالایندگی خوب رود می‌باشد، ایستگاه دوم پایین‌دست روستای دهنو و پیش از ورود آن به شهر یاسوج در نظر گرفته شده است.

ایستگاه سوم: پل بشار

رود بشار مسیر دهنو تا ورودی به شهر یاسوج را در یک منطقه‌ی پر شیب طی می کند. در کرانه‌ی راست آلودگیهای متعددی از جمله زباله‌های ساختمانی، زباله های شهری و فاضلابهای خانگی شهر، رود را تهدید می-کنند. در ساحل سمت چپ رود بشار، بیمارستان امام سجاد(ع)، هتل آزادی و پارک حاشیه ای زمینه‌های ایجاد آلودگی را فراهم نموده‌اند. نهرهای برداشتن آب برای دشت سروک و نهر تأمین آب کارخانه‌های قند، نشاسته و گلوکز نیز در ساحل چپ واقع گردیده اند.

www.SID.ir

Archive of SID

ایستگاه چهارم: پل مختار

رود بشار بعد از گذشتن از ایستگاه ۳ با آلودگیهای صنعتی، شهری و کشاورزی به‌صورت جدی مواجه می‌شود. ایستگاه چهارم در محل پل شاه مختار واقع بر جاده کمربندی به سمت اصفهان در نظر گرفته شده است.

رود بشار در تمام طول مسیر در پیوندی تنگاتنگ با سازندهای زمین‌شناختی رود قرار دارد. مهمترین مواد و مصالح تشکیل دهنده بستر رود بشار شامل لای و رس همراه با سنگریزه‌های جزیی (با شوری یا بدون شوری) می‌باشد. سازندهای زمین شناسی باعث می‌شوند که هنگامی که آب از بسترهای مختلف زمین شناسی عبور می‌کند، املاح مختلفی وارد جریان آب شده و کیفیت آب رود، بویژه هدایت الکتریکی آن را تحت تأثیر قرار دهد.

بعد از آن جام نمونه‌برداری‌ها در ایستگاهها، کلیه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. سپس صحت نتایج حاصل از آزمایشگاه بررسی گردیدند. در مرحله‌ی بعد، کلیه‌ی داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در شبیه نرم‌افزاری QUAL2K در محیط EXCEL وارد شد. اطلاعاتی که به شبیه وارد می گردند به چند دسته تقسیم می‌شوند:

دسته‌ی اول، اطلاعات مربوط به آبدهی و کیفیت آب رود در نقطه‌ی شروع می‌باشد. دسته‌ی دوم، اطلاعات مربوط به ویژگیهای هیدرولیکی مقاطع مختلف رود می‌باشد. این که هر مقطعی با ویژگیهای هیدرولیکی ثابت از چه کیلومتری شروع و به چه کیلومتری ختم می‌گردد، در چه طول و عرض جغرافیایی قرار می‌گیرد، رقوم ارتفاعی ابتدا و انتهای آن به چه میزان است، مقطع عرضی آن به چه شکل است و ضرایب هیدرولیکی آن چقدر است. لازم به ذکر است که آخرین نقطه از رود که به شبیه معرفی می‌شود دارای کیلومتر صفر می باشد. به عبارت دیگر، فاصله‌ی هر نقطه از رود نسبت به آخرین نقطه سنجیده می‌شود.

دسته‌ی سوم، اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی شامل دمای هوا، دمای نقطه‌ی شبنم، سرعت باد، پوشش ابری، درصدی از رود که در سایه قرار می‌گیرد، اطلاعات مربوط به تابش نور خورشید هستند که در این قسمت به شبیه داده می‌شوند.

دسته‌ی چهارم، ویژگیهای منابع آلاینده می‌باشند. معرفی منابع آلاینده به شبیه بایستی به صورت نقطه و یا گسترده صورت گیرد. برای معرفی منابع آلاینده نقطه ای به شبیه بایستی مشخص شود که در چه کیلومتری از رود آلودگی وارد رود می‌شود، و ویژگیهای کمی و کیفی آن به چه صورت است. در مورد منابع آلاینده گسترده مانند زمنیهای کشاورزی بایستی یک بازه در نظر گرفته شود.

دسته پنجم، اطلاعات کیفی آب در مقاطع مختلف رود می‌باشد، ممکن است نمونه گیریهای متعددی در فصول مختلف در طول رود آن جام شده، و نتایج کیفی آب در طول رود موجود باشد (داده‌های صحرایی). می‌توان با توجه به کیفیت آب در ابتدای رود، و آلودگیهایی که وارد رود می‌شود، کیفیت آب را شبیه‌سازی نمود و به منظور تعیین میزان همبستگی نتایج شبیه را با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صحرایی مقایسه کرد. لازم به ذکر است که از داده‌های صحرایی برای واسنجی کردن شبیه استفاده می‌گردد.

دسته‌ی ششم، ضرایب جنبشی مورد استفاده در شبیه می‌باشند. کلیه واکنشهای شیمیایی، زیست شناسی و فیزیکی دارای نرخ واکنشند. از آن جمله، می‌توان به نرخ کاهش BOD، نرخ رشد موجودات ذره بینی، نرخ مرگ و میر، نرخ رشد جلبکها، سرعت ته نشینی ذرات معلق و ... نام برد.

شبیه ویژگیهای آب را در نقطه‌ی شروع دریافت می‌کند. در طول مسیر فراسنجهای مختلف هواشناسی، هیدرولیکی و آلودگیهای وارده را بر آن تأثیر داده، و بر اساس ضرایب جنبشی داده شده به شبیه تغییرات کیفیت آب را نسبت به زمان جریان محاسبه می‌کند. ضرایب جنبشی برای هر رود متفاوت از دیگر رودها می‌باشد، بنابراین، با داده‌های ثابت ورودی به شبیه می‌توان با تغییر ضرایب جنبشی کیفیت آب شبیه‌سازی شده را تغییر داد تا حداکثر همبستگی بین داده‌های صحرایی و نتایج شبیه حاصل گردد.

ارزیابی میزان پخش آلودگی و پالایش آن برای هر منطقه و رود ای، تنها بر اساس عاملها و ضرایب همان منطقه صورت می‌پذیرد. اگر چه می توان از ضرایب موجود در دیگر کارهای آن جام شده استفاده کرد، اما غالبا نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

حاصل از شبیه سازی با این ضرایب باعث ایجـاد خطاهـای بزرگی می‌شود [Azzellino, A., 2006]

شکل (۱) ایستگاه تنگ سرخ

شکل (۲) ایستگاه دهنو

شکل (۳) ایستگاه پل بشار

شکل (۴) ورود فاضلاب خانگی و زباله‌های شهری از ساحل راست (روبروی هتل آزادی)

شکل (۵) ایستگاه پل مختار

شکل (۶) پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهری یاسوج

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۷) تخلیه زباله‌های ساختمانی در ساحل راست و قبل از تلاقی بشار با شاخه مهریان

نتایج و بحث

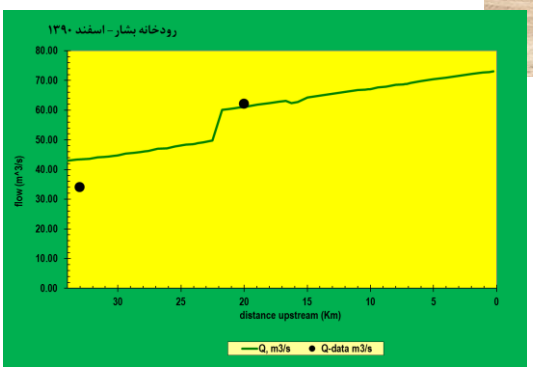
شبیه‌سازی هیدرولیکی و کیفی آب رود در ماههای اسفند و شهریور برای فراسنجهای بده، عمق آب ، دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی زیست شیمیایی مورد نیاز، هدایت الکتریکی، گونه‌های مختلف نیتروژن و فسفر آن جام شده که در شکلهای ۸ تا شکل ۲۵ آورده شده اند. همچنین، وضعیت کلیه‌ی فراسنجها با مقادیر معیارهای زیست محیطی ایران برای تخلیه‌ی فاضلاب به آبهای سطحی مقایسه گردیده است.

همان طور که در نمودارها ملاحظه می‌گردد، بین نتایج شبیه و نتایج واقعی کم و بیش اختلاف وجود دارد، که از علل اصلی آن کمبود امکانات موجود و فرصت کوتاه مطالعات بوده است و می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

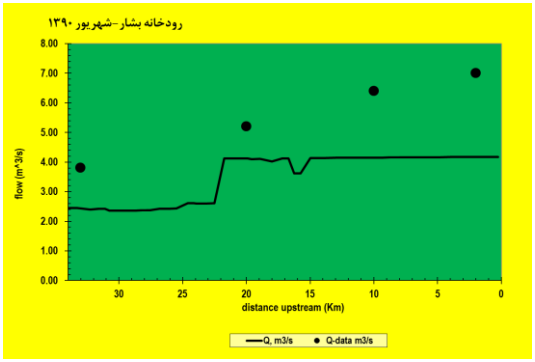
- خطای حاصل از تجزیه‌ی نمونه ها
- عدم امکان اندازه‌گیری ضرایب جنبشی دربازه‌های مختلف با کاربرد روش‌های آزمایشگاهی
- نبودن ایستگاههای آبسنجی کافی رود به منظورتعیین روند تغییرات بده درطول رود

بده‌ی رود

در شکلهای ۸ و ۹، تغییرات بده‌ی رود در ماههای اسفند و شهریور نشان داده شده اند. بده‌ی رود در طول مسیر با توجه به موازنه‌ی حجمی جریان محاسبه می‌گردد. همان طور که در شکلهای مذکور دیده می‌شود، در شهریور بده-ی رود بسیار کمتر از اسفند بوده، و نسبت به برداشتهای کشاورزی، صنعتی و آبزی، حساستر است. در اسفند، به علت ورود روانابهای حاصل از بارندگی در طول مسیر رود، بده‌ی جریان به تدریج افزایش یافته است. علت اختلاف بین نتایج شبیه و نتایج واقعی، استفاده از میانگین آمار چندین ساله‌ی بده، نداشتن اطلاعات دقیقتر از میزان برداشت آب جهت مصارف کشاورزی، و اندازه‌ی آب مازاد کشاورزی برگشتی به رود می‌باشد.



شکل (۸) بده شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



شکل (۹) بده شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

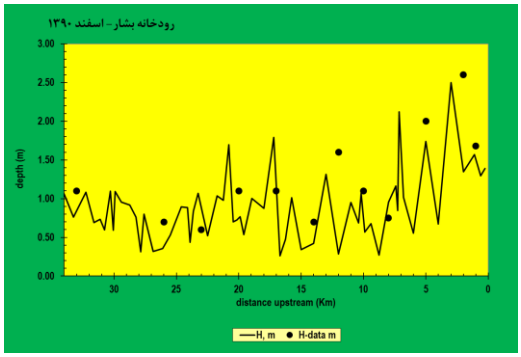
عمق آب

در شکلهای ۱۰ و ۱۱، تغییرات ژرفای جریان در طول رود در زمانهای مختلف نشان داده شده است. عمق جریان در رود در شبیه‌سازی دیگر فراسنجهای کیفی تاثیرگذار است. میزان اکسیژن گیری رود از سطح، میزان نفوذ نور خورشید، تاثیر دمای هوا بر دمای آب از جمله عوامل وابسته به عمق می باشند. با توجه به سرعت جریان در رود، بده و ویژگیهای هندسی سطح مقطع عمق جریان در رود با کاربرد شبیه به دست می‌آیند. همان طور که انتظار می‌رود، عمق جریان در اسفند (ماه پر آب) بیشتر از

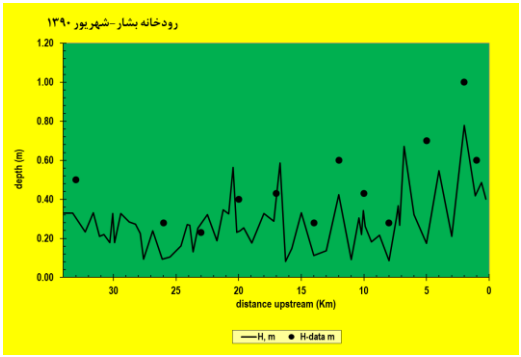
www.SID.ir

Archive of SID

شهریور (ماه کم آب) است. به علت تغییر بده، تغییرات سرعت و تغییرات ویژگیهای هندسی رود در عمق جریان طول مسیر تغییر داشته است.



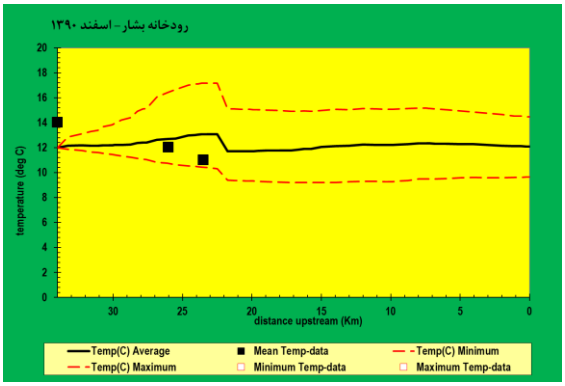
شکل (۱۰) عمق آب شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



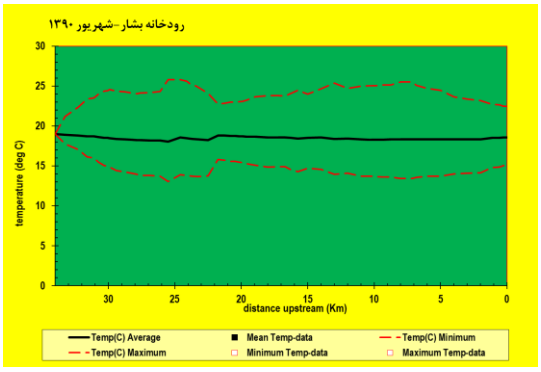
شکل (۱۱) عمق آب شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

دمای آب

شکلهای ۱۲ و ۱۳، تغییرات دمای بیشینه، مبه وسیله‌ی و کمینه را در طول رود نشان می‌دهند. از آن جا که کلیه واکنشهای شیمیایی و زیستی تابعی از درجه‌ی حرارت می‌باشند، تعیین دمای آب از اهمیت ویژه‌ای در شبیه‌سازی دیگر فراسنجهای کیفی برخوردار است. درجه-ی حرارت آب به عوامل مختلفی از جمله دمای اولیه‌ی آب، دمای هوا، دمای آلاینده‌های ورودی به رود، شدت نور، عمق جریان، سطح آب در تماس با هوا، طول ساعات آفتابی، صاف یا ابری بودن هوا، و درصدی از رود که تحت سایه قرار دارد بستگی دارد. میزان درجه‌ی حرارت در طول مسیر رود روندی نسبتا افزایشی دارد که وارد شدن پساب تصفیه‌خانه‌ی شهر یاسوج می‌تواند یکی از دلایل آن باشد. همان طور که دیده می‌شود، دمای آب رود در شهریور که ماهی گرم بشمار می‌رود، بیشتر از اسفند شبیه‌سازی شده است. علت اختلاف بین دستاوردهای شبیه و نتایج واقعی، نبودن آمار و اطلاعات هواشناسی کافی در طول مسیر، ثابت نبودن زمان نمونه گیری می‌باشد.



شکل (۱۲) تغییرات دمای آب، شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



شکل (۱۳) تغییرات دمای آب، شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند

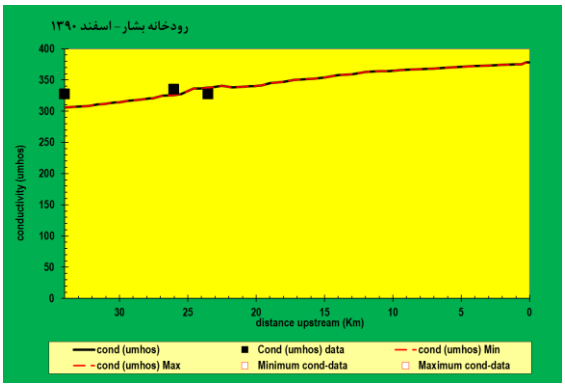
هدایت الکتریکی

در شکلهای ۱۴ و ۱۵، تغییرات هدایت الکتریکی آب در طول رود نشان داده شده است. هدایت الکتریکی آب به میزان املاح محلول در آب بستگی دارد. آبهایی دارای هدایت الکتریکی آنها بالا شوری بیشتری داشته، و در مقادیر بسیار بالا برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب نمی‌باشند. هدایت الکتریکی آب در طول رود به میزان هدایت الکتریکی اولیه‌ی آب، هدایت الکتریکی آلاینده‌های ورودی به رود و جنس و سازندهای زمین‌شناسی رود بستگی دارد. واضح است که چنانچه رود از سازندهای

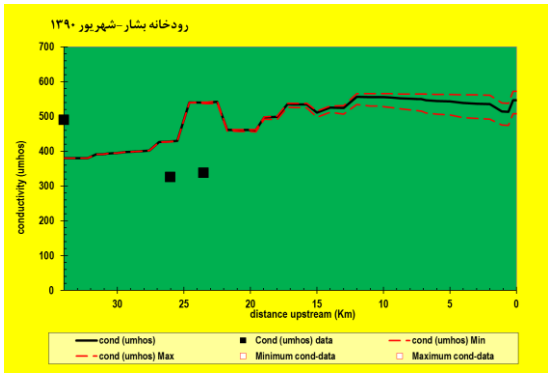
www.SID.ir

Archive of SID

نمکی عبور کند، اندازه‌ی هدایت الکتریکی آن زیاد خواهد شد. شبیه، میزان هدایت الکتریکی را بر اساس هدایت الکتریکی اولیه و آلاینده‌های ورودی، و بر اساس موازنه‌ی جرم انجام داده، و تاثیر سازندهای بستر را در شبیه‌سازی دخیل نمی کند؛ برای رفع این مشکل می‌توان بده‌ی بسیار کم با هدایت الکتریکی زیاد را به عنوان منبع آلاینده گسترده به شبیه معرفی کرد. در اسفند ماهی پر آب، به علت ورود روانابهای سطحی، که تحت تأثیر انحلال برخی از سازندها در آب قرار گرفته‌اند، اندازه‌ی هدایت الکتریکی اندکی روند افزایشی داشته است.



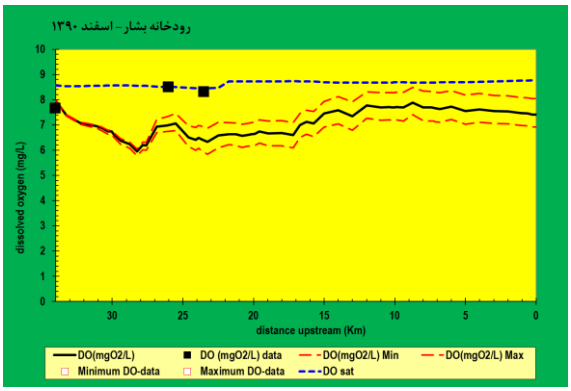
شکل (۱۴) تغییرات EC شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



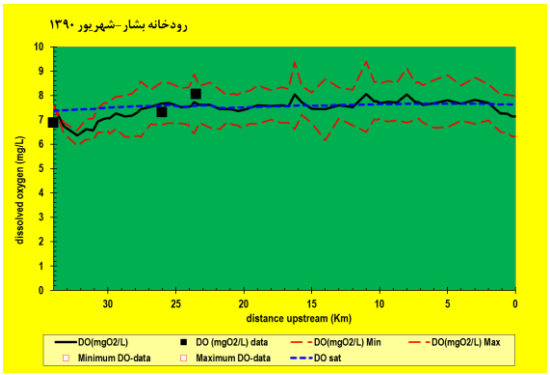
شکل (۱۵) تغییرات EC شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

اکسیژن محلول

شکلهای ۱۶ و ۱۷، میزان اکسیژن محلول مبه وسیله ی، کمینه، بیشینه و اشباع را در رود نشان می‌دهند. میزان اکسیژن محلول در رودها به عوامل متعددی از جمله دمای آب، میزان هوادهی مجدد، بار آلی موجود و یا ورودی به رود بستگی دارد. با توجه به شکلهای زیر، میزان اکسیژن محلول در اسفند بیشتر از شهریور می‌باشد، که از علل آن سردی هوا در این فصل است. میزان اکسیژن محلول در رود بشار با توجه به دستاوردهای واقعی و نتایج شبیه نسبتا بالا ودارای معیار زیست محیطی است که نشان از ظرفیت خودپالایی بالای این رود دارد. اختلاف بین اندازه‌گیریهای صحرایی و نتایج آزمایشگاهی و دستاوردهای شبیه بخصوص در شهریور را می‌توان به علت خطای حاصل از تجزیه‌ی نمونه‌ها، و عدم امکان اندازه‌گیری ضرایب جنبشی دانست.



شکل (۱۶) تغییرات اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در اسفند



شکل (۱۷) تغییرات اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در شهریور

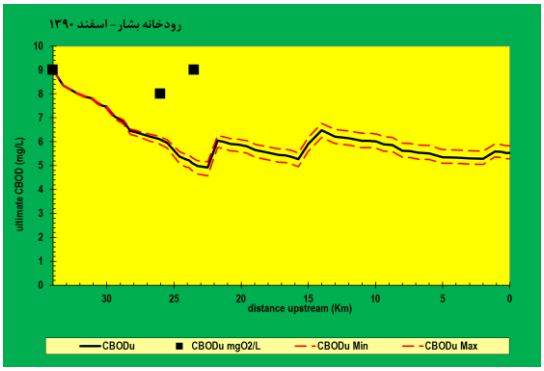
اکسیژن خواهی زیست شیمیایی نهایی

شکلهای ۱۸ و ۱۹، تغییرات BOD نهایی را در طول رود و در زمانهای مختلف نشان می‌دهند. میزان BOD نهایی در شهریور، به علت ورود فاضلابهای شهری، روانابهای کشاورزی و فاضلابهای آبزی پروری، نوسانهای بیشتری را نسبت به اسفند دارد. حداقل BOD شبیه‌سازی شده با

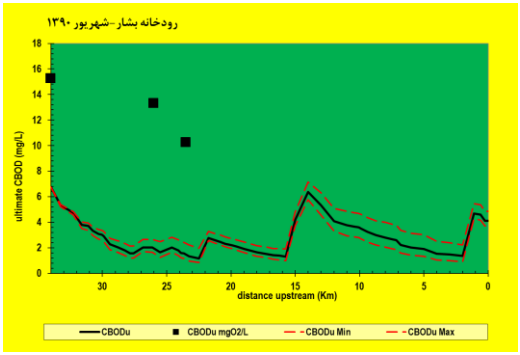
www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد شبیه در اسفند ۴/۶ و حداکثر آن ۸/۴ است، که این مقادیر در شهریور بین ۱ تا ۷ شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهند که در هر قسمت از رود، که مقدار BOD افزایش یافته، در طول حدود ۱۰ کیلومتر پالایش شده، و کیفیت آب به حالت اول برگشته است که نشان از ظرفیت خودپالایی نسبتا بالای رود بشار دارد.



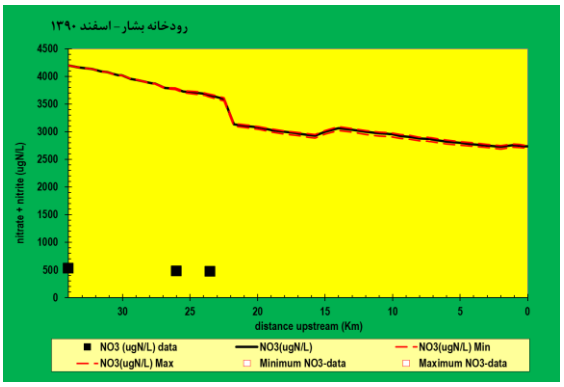
شکل (۱۸) میزان BOD نهایی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



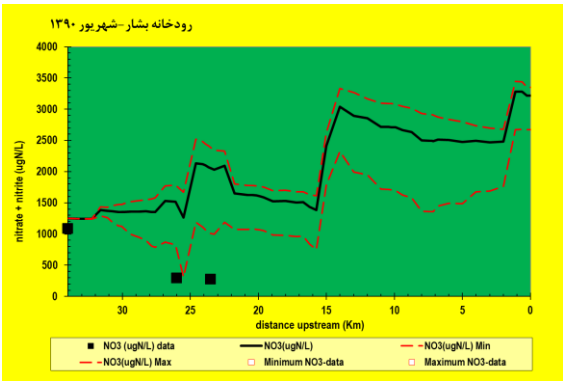
شکل (۱۹) میزان BOD نهایی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

نیتروژن نیتراتی

شکلهای ۲۰ و ۲۱، تغییرات نیترات را در طول رود نشان می‌دهد. نیتروژن نیتراتی از طریق فاضلابهای شهری و کشاورزی (مصرف کودهای ازته) وارد رود بشار گردیده‌اند. مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتراته شدن آمونیاک افزایش، و در اثر فرایند نیترات زدایی و سوخت و ساز نوری گیاهان کاهش می‌یابد. روند تغییرات نیترات در طول رود در شهریور افزایشی و در اسفند کاهشی بوده، که می‌تواند به علت افزایش فعالیتهای کشاورزی، به خصوص کشت برنج در حاشیه‌ی رود در فصل تابستان باشد.



شکل (۲۰) تغییرات نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در اسفند



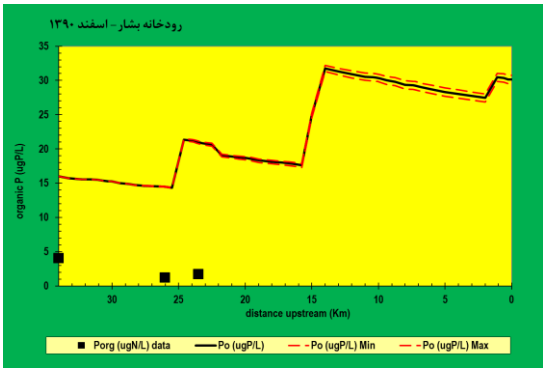
شکل (۲۱) تغییرات نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در شهریور

فسفر آلی

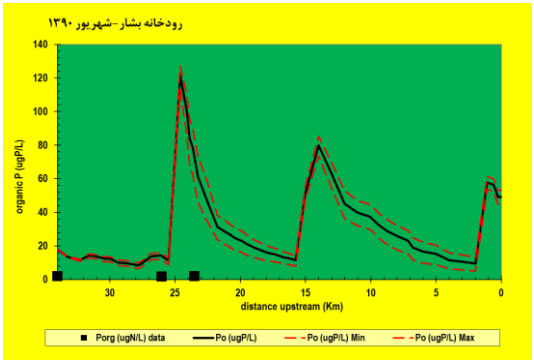
فسفر آلی در طول فرایند مرگ گیاهان افزایش و در اثر آبکافتی و ته نشینی کاهش می‌یابد. تغییرات فسفر آلی در طول رود در زمانهای مختلف در شکلهای ۲۲ و ۲۳ آمده اند. با توجه به شکلها مشاهده می‌شود که میزان فسفر آلی در رود بشار بسیار کم است (واحدها بر حسب میکروگرم در لیتر می‌باشند)، که از علل آن می‌توان به سنگلاخی بودن بستر رود، کم بودن پوشش گیاهی و وجود نیزار در بخشی از سواحل اطراف آن اشاره کرد، و نوسانهای میزان آن در رود به علت ورود پساب خروجی از تصفیخانه‌ی شهر یاسوج و زهابهای کشاورزی است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲۲) میزان فسفر آلی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند

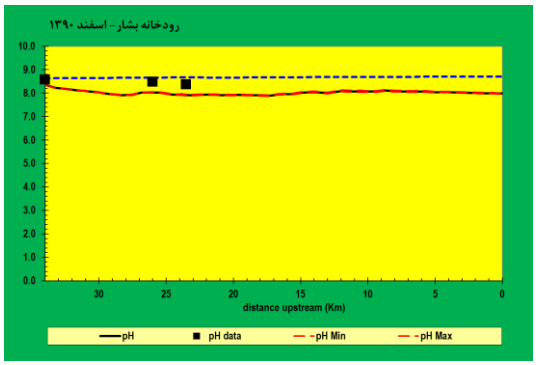


شکل (۲۳) میزان فسفر الی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

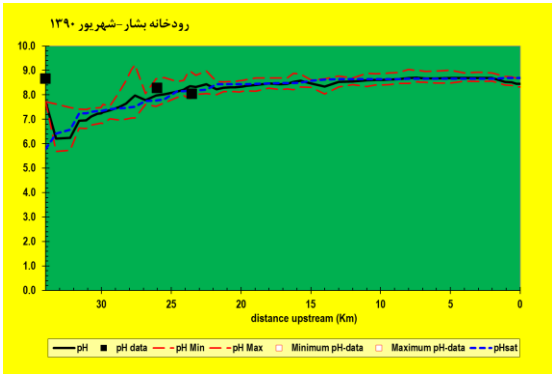
اسیدیته (pH)

شکلهای ۲۴ و ۲۵، تغییرات pH را در طول رود در زمانهای مختلف نشان می‌دهند. pH رود بشار عموما قلیایی بوده، و در تمام فصول تقریبا یکسان است. علت اختلاف بین نتایج صحرایی و نتایج شبیه خطای تجزیه ی آزمایشگاهی، خطای دستگاه اندازه‌گیری pH و عدم اطلاع کافی از تغییرات فشار گاز کربنیک در طول رود می‌باشد.

در پژوهشی با عنوان "انتخاب برنامه بهبود کیفیت آب حوضچه دریاچه تایهو در چین ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از شبیه QUAL2K تأثیرات طیف وسیعی از نمایشنامه های بهبود کیفیت آب را در رود هونگکی، که یک شاخه آلوده کننده‌ی آب حوضچه دریاچه تایهو است پیش‌بینی کردند. نتایج آنها نیز نشان می‌دهند که شبیه QUAL2K می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در برنامه‌های بهبود کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد [ژانگ و همکاران،۲۰۱۲].



شکل (۲۴) تغییرات pH شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



شکل (۲۵) تغییرات pH شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

حاتمی بهمن بیگلو و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی قدرت خودپالایی و نمایشنامه های مختلف آلودگی رود سبزکوه در استان چهارمحال و بختیاری در شهرستانهای کیار و اردل، با استفاده از شبیه QUAL2Kw پرداختند. با استفاده از شبیه واسنجی شده، محل خودپالایی برای فراسنجهای نیتریت، فسفات و آمونیوم و همچنین نمایشنامه های مختلف آلودگی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. با توجه به نتایج به دست آمده نیتریت و آمونیوم، بطور مبه وسیله ی در فاصله ۹۲/۳ و ۱۸/۴ کیلومتری از خروجی رود خودپالایی می شوند، ولی فسفات، با توجه به آلودگیهای غیرنقطه ای در مسیر خودپالایی نمی‌شود.

نجفی و محمود پور (۱۳۹۱) به بررسی مسائل کیفی رود قره‌سو، با توجه به غلظت اکسیژن محلول و مواد مغذی زیر حوضه‌ی آن پرداختند. دراین تحقیق عنوان شده است که برای درک بهتر از وضعیت کیفی رود و مسائل آن

www.SID.ir

Archive of SID

شبیه QUAL2K برای رود مزبور، و براساس غلظت اکسیژن محلول و مقدار کل بار نیتروژن و فسفر واسنجی شده، و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه نشان می‌دهند که مقدار اکسیژن محلول بطور کلی از مقادیر مجاز ۵ میلی گرم در لیتر کمتر بوده، و بحرانی ترین بازه بعد از کرمانشاه است که بیشترین مقدار TP و TN و کمترین مقدار DO را داراست. نتایج این شبیه سازی به دلیل نبودن اطلاعات ورودی لازم دارای محدودیت بوده، اما اعمال نمایشنامه‌ی کاهش بار آلودگیهای ورودی به رود بر اثر احداث تصفیه خانه سبب بهبود وضعیت کیفی رود می شود.

نتیجه گیری

از بررسی یافته‌های تحقیق و مشاهدات میدانی، نتیجه‌گیری زیر حاصل گردیده است.

۱- اگرچه آب رود بشار از سرشاخه‌های خود در شهرستان سپیدان از استان فارس تا پایین دست آلاینده‌های متعددی (از جمله زهآبهای کشاورزی و طرحهای پرورش ماهی) را دریافت می کند، اما ضمن عبور از مسیرهای پر پیچ‌وخم و کوهستانی و دریافت آب از طریق سرشاخه‌های دیگر، از جمله سرشاخه‌ی خرم ناز تا قبل از شهر یاسوج، جهت استفاده کشاورزی کیفیت مطلوبی را دارا بوده است.

۲- آلاینده‌های مرتبط با شهر یاسوج بویژه زباله‌ها، آبهای سطحی شهر، پساب تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهر یاسوج، پساب کارخانه قند، نشاسته و گلوکز و صنایع کوچک سنگ‌شکن در حریم و بستر رود در محدوده‌ی پل بشار تا پل مختار بیشترین بار آلودگی را به رود تحمیل نموده اند. در این بین، بیشترین تأثیر مربوط به پساب فاضلاب شهر یاسوج بوده است.

۳- سهولت استحصال مصالح شنی از رود، هزینه‌ی کم و حمل‌ونقل آسان آن به شهر یاسوج و مناطق اطراف باعث شده است رودخانه‌ی بشار به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تهیه شن و ماسه مورد توجه بهره‌برداران این بخش قرار گیرد. عبور و مرور خودروها و ماشین‌آلات سنگین وفعالیت کارگاه های شن‌شویی باعث ورود پساب با کدورت زیاد به رود گردیده که درنتیجه آلودگی آب، کاهش جذب نور به وسیله ی گیاهان آبزی و کاهش اکسیژن محلول را به همراه دارد.

۴- رود بشار در پایین دست پل مختار با آلاینده‌های دیگری از جمله زهآبهای کشاورزی، کارخانه‌های شن‌شویی، تولید مصالح ساختمانی و طرحهای پرورش ماهی قزل‌آلا مواجه است که افزایش غلظت نیترات، فسفات و جامدات محلول و آلودگی ظاهری از جمله ایجاد بوی نامطبوع و تغییر رنگ آب را سبب گردیده است.

۵- مقایسه غلظت کلیه‌ی فراسنجها با مقادیر معیارهای زیست محیطی ایران برای تخلیه‌ی فاضلاب به آبهای سطحی نشان داد که مقادیر این آلاینده ها درطول رود و در زمان آن جام این تحقیق پایینتر از غلظتهای معیار بوده است.

۶- برنامه‌ی نرم‌افزاری QUAL2K وسیله ای مناسب برای شبیه‌سازی کیفیت آب رود بوده و مقادیر شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیریهای صحرایی مطابقت خوبی دارند.

۷- با توجه به داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی و مقایسه‌ی آنها با مقادیر شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه QUAL2K، بهترین شبیه‌سازی برای فراسنجهای دمای آب و اکسیژن محلول، و ضعیف‌ترین برای اکسیژن خواهی زیست شیمیایی صورت گرفته است.

Refrence

۱- پورقاسم، م.، و ع. خلج، ۱۳۸۸، بررسی شبیه های خودپالایی رود ها، سومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

۲- حاتمی بهمن بیگلو، س.، م. صدیقی، و ح. صمدی بروجنی، ۱۳۹۰، بررسی قدرت خودپالایی و نمایشنامههای مختلف آلودگی رود سبزکوه با شبیه QUAL2Kw. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان، انجمن هیدرولیک ایران.

۳- منزوی، م. ت. ۱۳۷۵. فاضلاب شهری جلد دوم، تصفیه فاضلاب، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- مهندسین مشاور فارساب صنعت. ۱۳۸۸. بررسی آلودگی و ارزیابی ذخایر آبزیان در رود بشار.

۵- مهندسین مشاور یکم. ۱۳۷۹. سنتز مطالعات جامع احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی در استان فارس. جلد اول: هوا و اقلیم شناسی. تهران، موسسه پژوهشهای برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی.

۶- نادری درباغشاهی، م.، و س.ا. امین. ۱۳۹۲. مطالعات امکان سنجی استفاده از پساب تصفیه خانه شهر یاسوج برای کشت گندم. اولین همایش ملی بحران آب، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

۷- نجفی، ح.، و ط. محمودپور. ۱۳۹۱. شبیه سازی کیفی رود قره سو با استفاده از شبیه QUAL2K. اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، موسسه آب.

۸- نصیراحمدی، ک.، ذ.، یوسفی، و ا.، ترسلی، ۱۳۹۱. پهنه بندی کیفیت آب رود هراز بر اساس شاخص NSFWQI، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۲(۹۲): ۶۴-۷۱.

9- Azzellino, A. 2006. Combined use of the EPA-QUAL2E simulation model and factor analysis to assess the source apportionment of point and non point loads of nutrients to surface waters. Sci. Total Environment, 9376, p. 1-9.

10- Environmental Protection Agency. 2001. Parameters of water Quality: Interpretation and standards. 133 pages.

11- Viessman, W., and M. J., Hammer, 2005. Water supply and pollution control. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

12- Zhang, R., X. Qian, H. Li, X. Yuan, and R. Ye. 2012. Selection of optimal river water quality improvement programs using QUAL2K: A case study of Taihu Lake Basin, China. Sci. Total Enviro. 431: 278-285.

www.SID.ir