

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

فردین بوستانی<sup>۱\*</sup>، احسان گوهرگانی<sup>۲</sup>

### 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 جمع‌آوری 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 اسیدیتته، در کم‌آب‌ترین و پرآب‌ترین ماههای سال یعنی شهریور و اسفند، با نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها اندازه‌گیری یا تعیین، و از داده‌های اندازه‌گیری شده صحرائی 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 آبی‌پروری، 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 داده‌های اندازه‌گیری 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 عموماً قلیایی، و تقریباً 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

<sup>۱</sup> - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

<sup>۲</sup> - دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی (سازه‌های آبی)، واحد علوم و تحقیقات فارس، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران

\*- نویسنده مسوول مقاله: fardinboustani@gmail.com

## 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 [انصیراحمدی 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 می کند، و حتی برخی مناطق شهری، نیز به دلیل نبودن شبکه‌ی جمع آوری فاضلاب و آبهای سطحی، فاضلابهای خانگی نیز به داخل رودها هدایت می شوند، بطوری که در مناطق پایین دست به جای رود شاهد جریان داشتن فاضلابهای مملو از انواع و اقسام مواد آلی و شیمیایی هستیم. متأسفانه، شریان آلودگی رودها به این عوامل ختم نمی شود. در شهرها این رگهای حیاتی جامعه انسانی، با آلودگی بسیار خطرناکی به نام فاضلاب و پسماند مراکز درمانی و صنعتی مواجه می باشد [مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۸۸].

در ایران تا گذشته، نزدیک مساله‌ی دفع فاضلاب بسته به وضعیت سطح آب زیرزمینی به دو گونه حل می شد. در شهرهای که عمق آب زیرزمینی و نفوذپذیری زمین نسبتاً زیاد بوده، از چاههای جاذب فاضلاب استفاده می شد 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 می شده 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 می ساختند. [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 می گردد. 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 آبی، موجب کاهش اکسیژن محلول، ایجاد شرایط بی‌هوایی 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 می سازند، بلکه کیفیت آب حاصل از شرایطی را که در گذشته پایش نشده (مثل شرایط بحرانی بدهی کم) می توان با استفاده از این ابزار تخمین زد.

## تشریح مسأله

رود بشار یکی از مهمترین رودهای استان کهگیلویه 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 استان 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 خراسان 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 کهگیلویه 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 رایانه‌ای 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 تجزیه‌های 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 به وسیله‌ی 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 تجزیه‌ی کیفی آب رود در یک دوره‌ی یک ساله نیز انجام 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، نترات، 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.

۱۲۰۰	µg/L as N	نیتروژن آلی
۱۵۰۰۰	µg/L as N	مجموع نیترات و نیتريت
۲۰۰۰	µg/L as P	فسفر آلی
۸۰۰	µg/L as P	فسفر غیر آلی
۲۹۰	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	قلیائیت

جدول (۳) ویژگیهای فاضلابهای کشاورزی

مقدار	واحد	فراسنج
۷/۸	-	pH
۱۴۰۰	µmhos	قابلیت هدایت الکتریکی
۶۰	mg/L	جامدات معلق کل
۱	mg/L O <sub>2</sub>	اکسیژن محلول
۴۰	mg/L O <sub>2</sub>	اکسیژن خواهی زیست شیمیایی
۵۰۰۰	µg/L as N	نیتروژن آلی
۲۵۰۰۰	µg/L as N	مجموع نیترات و نیتريت
۱۲۰۰	µg/L as P	فسفر آلی
۸۰۰	µg/L as P	فسفر غیر آلی
۲۹۰	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	قلیائیت

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

مقدار	واحد	فراسنج
۷/۸	-	pH
۱۲۰۰	µmhos	قابلیت هدایت الکتریکی
۳۰	mg/L	جامدات معلق کل
۲	mg/L O <sub>2</sub>	اکسیژن محلول
۴۰	mg/L O <sub>2</sub>	اکسیژن خواهی زیست شیمیایی

جدول (۴) ویژگیهای فاضلابهای صنعتی

مقدار			واحد	فراسنج
آبزی پروری	کارخانه قند	کارگاههای ماسه شویی		
۷/۶	۷/۸	۷/۵	-	pH
۳۵۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰	µmhos	EC
۵۰	۴۰	۳۵۰۰	mg/L	TDS
۵	۰	۶	mg/L O <sub>2</sub>	DO
۵۵	۱۲۰	۳	mg/L O <sub>2</sub>	BOD
-	۱۶۰	-	mg/L O <sub>2</sub>	COD
۶۰۰	۱۰۰۰	-	µg/L as N	نیتروژن آلی
۱۰۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰	µg/L as N	مجموع نیترات و نیتريت
۵۰۰	۱۰۰	-	µg/L as P	فسفر آلی
۳۰۰	۶۰۰	-	µg/L as P	فسفر غیر آلی
۲۸۰	۲۹۰	۲۵۰	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	قلیائیت

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

Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
<b>Stoichiometry:</b>						
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
<b>Inorganic suspended solids:</b>						
Settling velocity	0.744467786	m/d	$v_i$	Yes	0	2
<b>Oxygen:</b>						
Reaeration model	Internal			f(u h)		
Temp correction	1.024		$\theta_a$			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2.69	gO <sub>2</sub> /gC	$r_{oc}$			
O2 for NH <sub>4</sub> nitrification	4.57	gO <sub>2</sub> /gN	$r_{on}$			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sof}$	No	0.60	0.60
Oxygen inhib model nitrification	Exponential					
Oxygen inhib parameter nitrification	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sona}$	No	0.60	0.60
Oxygen enhance model denitrification	Exponential					
Oxygen enhance parameter denitrification	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{soda}$	No	0.60	0.60
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential					
Oxygen inhib parameter phyto resp	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sop}$	No	0.60	0.60
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential					
Oxygen enhance parameter bot alg resp	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sob}$	No	0.60	0.60
<b>Slow CBOD:</b>						
Hydrolysis rate	0.511236401	/d	$k_{hc}$	Yes	0	5
Temp correction	1.047		$\theta_{hc}$	No	1	1.07
Oxidation rate	0.289229247	/d	$k_{des}$	Yes	0	0.5
Temp correction	1.047		$\theta_{des}$	No	1	1.07
<b>Fast CBOD:</b>						
Oxidation rate	3.849894306	/d	$k_{dc}$	Yes	0	5
Temp correction	1.047		$\theta_{dc}$	No	1	1.07
<b>Organic N:</b>						
Hydrolysis	3.24804912	/d	$k_{hn}$	Yes	0	5
Temp correction	1.07		$\theta_{hn}$	No	1	1.07
Settling velocity	0.631629932	m/d	$v_{on}$	Yes	0	2
<b>Ammonium:</b>						
Nitrification	7.042246208	/d	$k_{na}$	Yes	0	10
Temp correction	1.07		$\theta_{na}$	No	1	1.07
<b>Nitrate:</b>						
Denitrification	1.253342048	/d	$k_{dn}$	Yes	0	2
Temp correction	1.07		$\theta_{dn}$	No	1	1.07
Sed denitrification transfer coeff	0.036997509	m/d	$v_{di}$	Yes	0	1
Temp correction	1.07		$\theta_{di}$	No	1	1.07
<b>Organic P:</b>						
Hydrolysis	4.533834457	/d	$k_{hp}$	Yes	0	5
Temp correction	1.07		$\theta_{hp}$	No	1	1.07
Settling velocity	1.089233022	m/d	$v_{op}$	Yes	0	2
<b>Inorganic P:</b>						
Settling velocity	0.367193332	m/d	$v_{ip}$	Yes	0	2
Sed P oxygen attenuation half sat constant	0.789334424	mgO <sub>2</sub> /L	$k_{spi}$	Yes	0	2

## ایستگاه اول: تنگ سرخ

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 (خصوصاً آلودگیهای صنعتی) در منطقه، و عبور رود از منطقه پر شیب و کوهستانی، که نشانگر قدرت پالایندگی خوب رود می‌باشد، ایستگاه دوم پایین دست 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 می‌کند. در کرانه‌ی راست آلودگیهای متعددی از جمله زباله‌های ساختمانی، زباله های شهری و فضلابهای خانگی شهر، رود را تهدید می‌کنند. 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.

## ایستگاه چهارم: پل مختار

رود بشار بعد از گذشتن از ایستگاه ۳ با آلودگیهای صنعتی، شهری و کشاورزی به صورت 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 مصالح تشکیل دهنده بستر رود بشار شامل لای و رس همراه با سنگریزه‌های جزیی (با شوری یا بدون شوری) می‌باشد. سازندهای زمین‌شناسی باعث می‌شوند که هنگامی که آب از بسترهای مختلف زمین‌شناسی 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 می‌گردند 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 می‌باشد. 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 نقطه‌ای 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

زمینهای کشاورزی بایستی یک بازه در نظر گرفته شود. دسته پنجم، اطلاعات کیفی آب در مقاطع مختلف رود می‌باشد، ممکن است نمونه‌گیریهای 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، زیست‌شناسی و فیزیکی دارای نرخ واکنشند. از آن جمله، می‌توان به نرخ کاهش BOD، نرخ رشد موجودات ذره‌بینی، نرخ مرگ و میر، نرخ رشد جلبکها، سرعت ته‌نشینی 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 می‌توان از ضرایب موجود در دیگر کارهای آن جام شده استفاده کرد، اما غالباً نتایج



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

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



شکل (۱) ایستگاه تنگ سرخ



شکل (۵) ایستگاه پل مختار



شکل (۲) ایستگاه دهنو



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

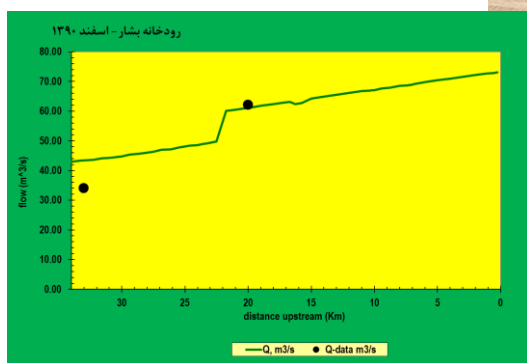


شکل (۳) ایستگاه پل بشار

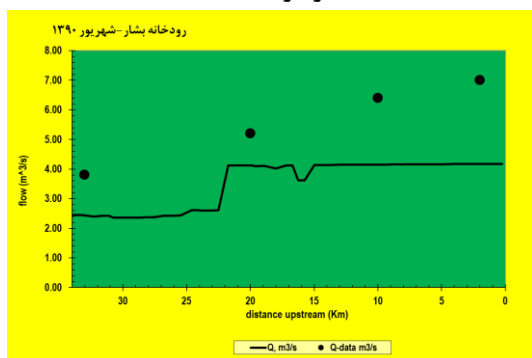
علت ورود روانابهای حاصل از بارندگی در طول مسیر رود، بدهی جریان به تدریج افزایش یافته است. علت اختلاف بین نتایج شبیه و نتایج واقعی، استفاده از میانگین آمار چندین ساله‌ی بدهی، نداشتن اطلاعات دقیقتر از میزان برداشت آب جهت مصارف کشاورزی، و اندازه‌ی آب مازاد کشاورزی برگشتی به رود می‌باشد.



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



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 می‌باشند. 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

### 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 شده‌اند. همچنین، وضعیت کلیه‌ی فراسنجهای 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:

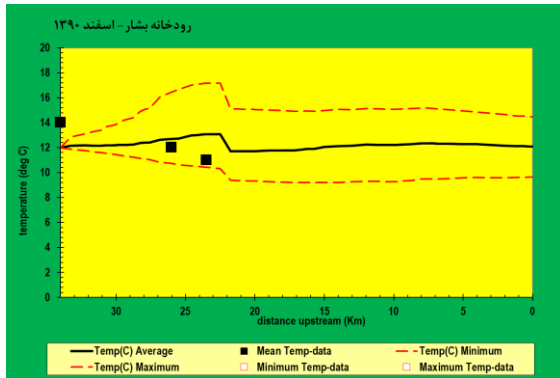
- خطای حاصل از تجزیه‌ی نمونه‌ها
- عدم امکان اندازه‌گیری ضرایب جنبشی در بازه‌های مختلف با کاربرد روش‌های آزمایشگاهی
- نبودن ایستگاههای آبسنجی کافی رود به منظور تعیین روند تغییرات بده در طول رود

### بدهی رود

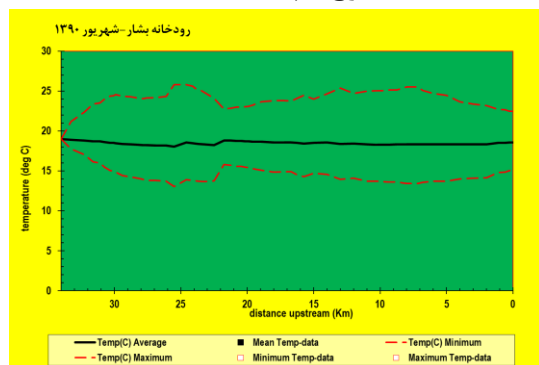
در شکل‌های ۸ و ۹، تغییرات بدهی رود در ماههای اسفند و شهریور نشان داده شده‌اند. بدهی رود در طول مسیر با توجه به موازنه‌ی حجمی جریان محاسبه می‌گردد. همان طور که در شکل‌های مذکور دیده می‌شود، در شهریور بدهی رود بسیار کمتر از اسفند بوده، و نسبت به برداشتهای کشاورزی، صنعتی و آبی، حساستر است. در اسفند، به



باشد. همان طور که دیده می‌شود، دمای آب رود در شهرپور 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 نمونه‌گیری می‌باشد.



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

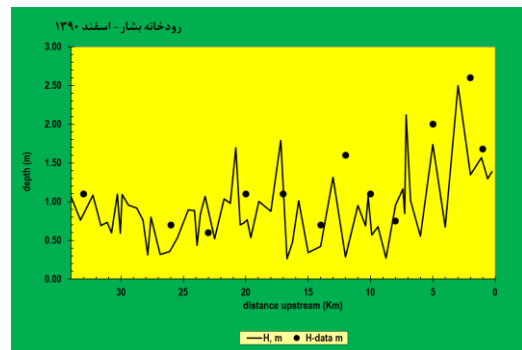


شکل (۱۳) تغییرات دمای آب، شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند

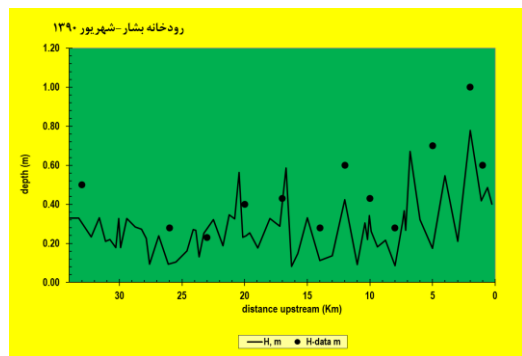
### هدایت الکتریکی

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 اولیه آب، هدایت الکتریکی آلاینده‌های ورودی به رود و جنس و سازندهای زمین‌شناسی رود بستگی دارد. واضح است که چنانچه رود از سازندهای

شهرپور (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

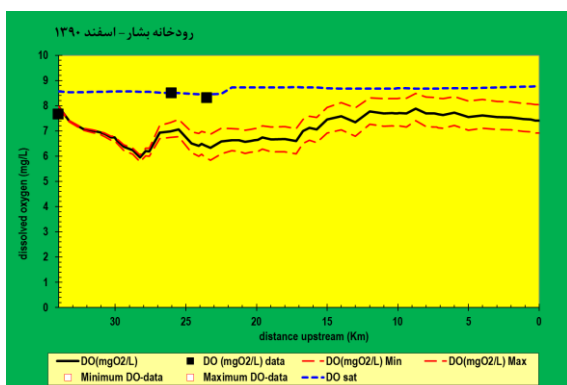


شکل (۱۱) عمق آب شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

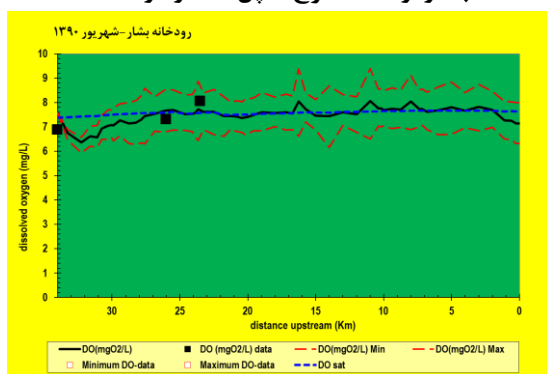
### دمای آب

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 فرآیندهای کیفی برخوردار است. درجه‌ی حرارت آب به عوامل مختلفی از جمله دمای اولیه 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 نسبتاً افزایشی دارد که وارد شدن پساب تصفیه‌خانه‌ی شهر یاسوج می‌تواند یکی از دلایل آن

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 نسبتاً بالا و دارای معیار زیست محیطی است که نشان از ظرفیت خودپالایی بالای این رود دارد. اختلاف بین اندازه‌گیری‌های صحرائی 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

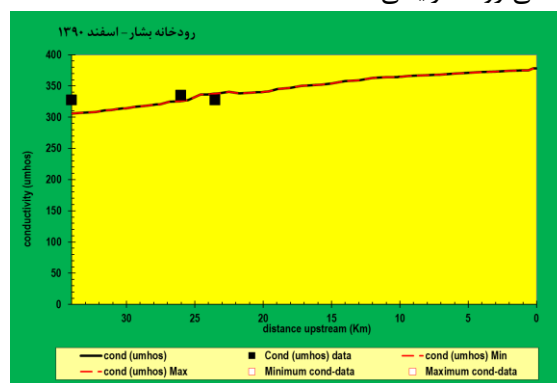


شکل (۱۷) تغییرات اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در شهریور

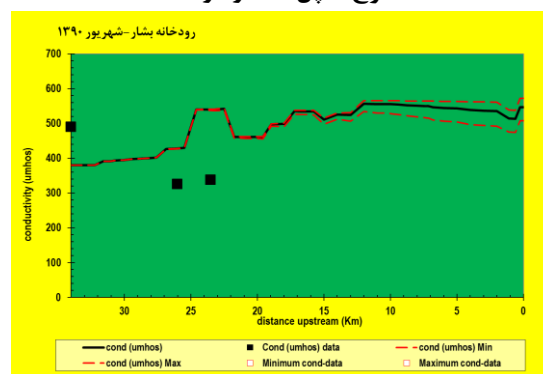
### اکسیژن خواهی زیست شیمیایی نهایی

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 آبی‌ پروری، نوسانهای بیشتری را نسبت به اسفند دارد. حداقل BOD شبیه‌سازی شده با

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 نمی‌کند؛ 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.



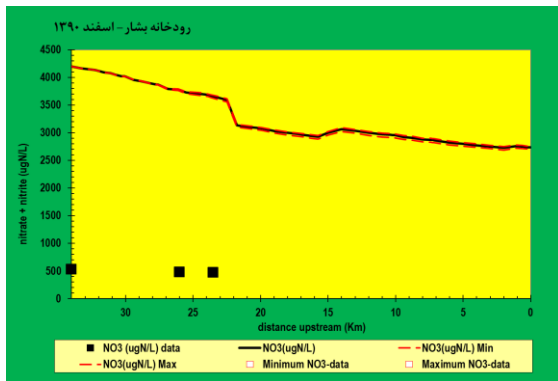
شکل (۱۴) تغییرات EC شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



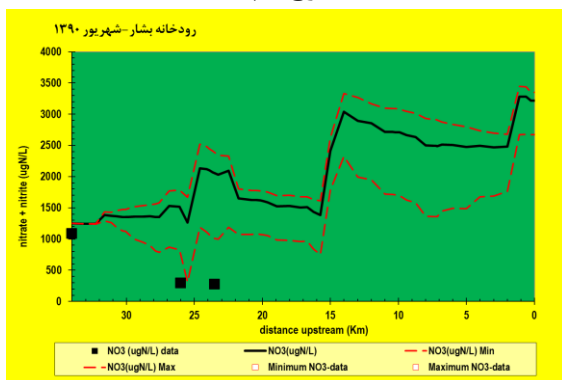
شکل (۱۵) تغییرات EC شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریور

### اکسیژن محلول

شکل‌های ۱۶ و ۱۷، میزان اکسیژن محلول مبه وسیله‌ی، 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



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

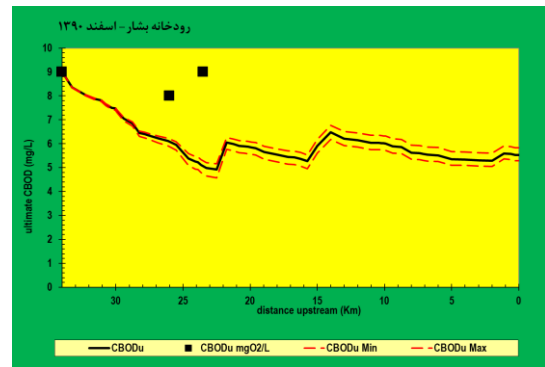


شکل (۲۱) تغییرات نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در شهریار

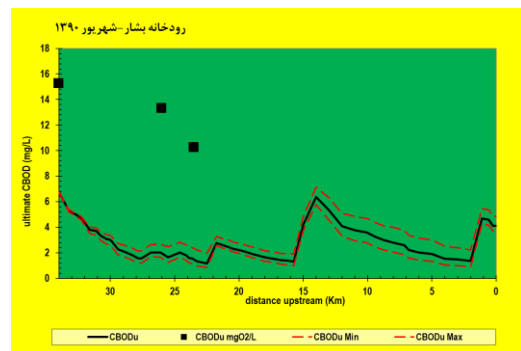
### فسفر آلی

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 آمده‌اند. 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 تصفیه‌خانه‌ی شهر یاسوج و زهابهای کشاورزی است.

کاربرد شبیه در اسفند ۴/۶ و حداکثر آن ۸/۴ است، که این مقادیر در شهریار 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.



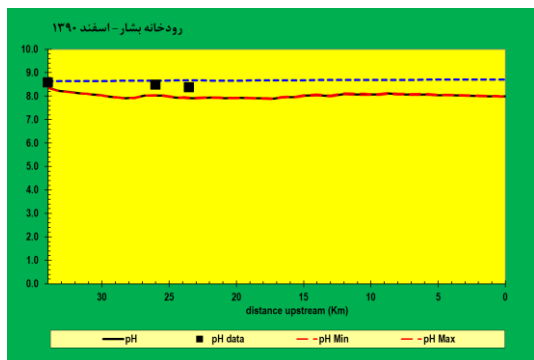
شکل (۱۸) میزان BOD نهایی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



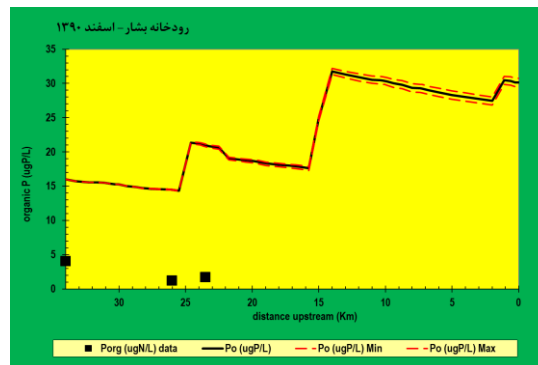
شکل (۱۹) میزان BOD نهایی شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه شهریار

### نیتروژن نیتراتی

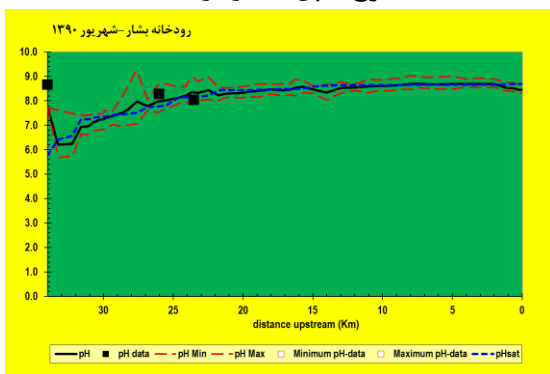
شکل‌های ۲۰ و ۲۱، تغییرات نیترات را در طول رود نشان می‌دهد. نیتروژن نیتراتی از طریق فاضلابهای شهری و کشاورزی (مصرف کودهای ازته) وارد رود بشار گردیده‌اند. مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتراشه شدن آمونیاک افزایش، و در اثر فرایند نیترات زدایی و سوخت و ساز نوری گیاهان کاهش می‌یابد. روند تغییرات نیترات در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



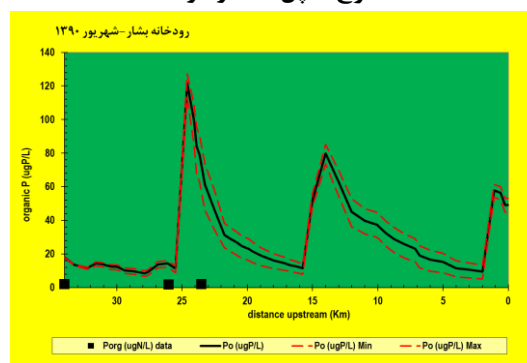
شکل (۲۴) تغییرات pH شبیه‌سازی شده رود بشار از تنگ سرخ تا پل مختار در ماه اسفند



شکل (۲۲) میزان فسفر آلی 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



شکل (۲۳) میزان فسفر آلی 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 نیتريت، فسفات و آمونیوم و همچنین نمایشنامه های مختلف آلودگی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. با توجه به نتایج به دست آمده نیتريت 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 نمی شود.

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

اسیدیته (pH)

شکل‌های ۲۴ و ۲۵، تغییرات pH را در طول رود در زمانهای مختلف نشان می‌دهند. pH رود بشار عموماً قلیایی بوده، و در تمام فصول تقریباً یکسان است. علت اختلاف بین نتایج صحرائی 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].

گردیده که در نتیجه آلودگی آب، کاهش جذب نور به وسیله گیاهان آبی و کاهش اکسیژن محلول را به همراه دارد.

۴- رود بشار در پایین دست پل مختار با آلاینده‌های دیگری از جمله زهابهای 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 آلاینده‌ها در طول رود و در زمان آن جام این تحقیق پایینتر از غلظتهای معیار بوده است.

۶- برنامه‌ی نرم‌افزاری QUAL2K وسیله‌ی مناسبی برای شبیه‌سازی کیفیت آب رود بوده و مقادیر شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیریهای صحرائی مطابقت خوبی دارند.

۷- با توجه به داده‌های صحرائی 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 شبیه‌های خودپالایی رودها، 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.

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 نشان می‌دهند که مقدار اکسیژن محلول بطور کلی از مقادیر مجاز ۵ میلی گرم در لیتر کمتر بوده، و بحرانی‌ترین 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 زهابهای 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 محدوده-ی 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 و فعالیت کارگاه‌های شن‌شویی باعث ورود پساب با کدورت زیاد به رود

- ۹- 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 Environ.* 431: 278-285.
- 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 امکان‌سنجی استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر یاسوج برای کشت گندم. اولین همایش ملی بحران آب، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
- ۷- نجفی، ح، و ط. محمودپور. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی کیفیت 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. پهنه‌بندی کیفیت آب رود هراز بر اساس شاخص NSFQI، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۲(۹۲): ۶۴-۷۱.