

شبیه‌سازی و بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه طالقان با استفاده از مدل ریاضی

پگاه هادی پور نیک‌تراش^۱، حسام قدوسی^۱ و کیومرث ابراهیمی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۴)

چکیده

یکی از عوامل اصلی که موجب آلودگی منابع آبی می‌شود تخلیه مواد زاید ناشی از فعالیت‌های انسانی در این منابع است. در این تحقیق به منظور بررسی آثار تخلیه آلودگی‌های در رودخانه طالقان از مدل Qual2kw برای شبیه‌سازی و بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه استفاده شد و داده‌های کیفی جمع‌آوری شده از این رودخانه در دو ماه شهریور و بهمن به‌عنوان ماه‌های کم‌آب و پرآب مدل شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مقدار اکسیژن محلول در شهریور از ۴/۵ تا ۶/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند و در بهمن‌ماه مقدار آن از ۴/۸ تا ۵/۳ تغییر می‌کند که میزان کاهش اکسیژن در فصل پرآبی به‌علت تخلیه زهاب ناشی از شسته شدن زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه بوده است، همچنین مقادیر BOD در فصل پرآبی از ۶ تا ۳۱ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل کم‌آبی از ۱۰ تا ۲۶ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند که این تغییرات به دلیل رقیق شدن جریان رودخانه در فصل پرآبی است. بررسی مقادیر pH در فصول کم‌آبی و پرآبی نیز نشان می‌دهد که آب رودخانه طالقان در فصول پرآب قلیایی‌تر از فصول کم‌آب است که این به دلیل وجود آلودگی‌های غیرنقطه‌ای یا همان وارد شدن کودهای شیمیایی ناشی از شست‌وشوی زمین‌های کشاورزی در اثر بارندگی است. بررسی تغییرات EC رودخانه طالقان نشان داد که تغییرات این پارامتر در فصول پرآب و کم‌آب قابل توجه نیست. همچنین دمای آب در بهمن‌ماه بین ۳ تا ۱۰ درجه و در شهریورماه بین ۱۹ تا ۲۵ درجه متغیر است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، شبیه‌سازی، رودخانه طالقان

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

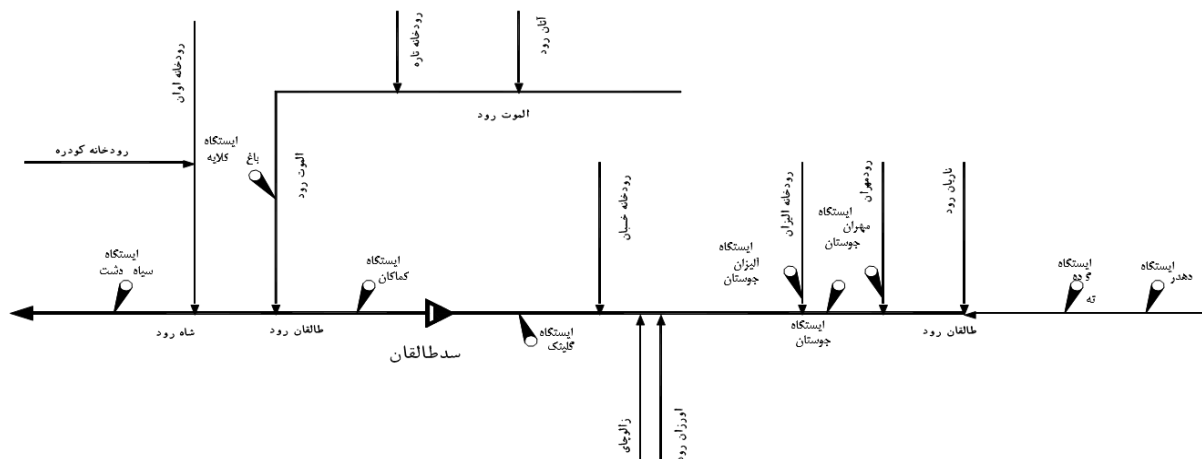
* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: EbrahimiK@ut.ac.ir

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب، بهداشتی و کشاورزی هستند و جزء ذخایر ملی کشور به‌شمار می‌آیند. رودخانه‌ها به دلیل ذخایر آبیان از بعد اقتصادی اهمیت جهانی داشته و حفظ و حراست از آنها ضروری است. اما متأسفانه به دلیل ساخت سدها و ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی و سموم کشاورزی، هم‌اکنون برخی از رودخانه‌ها از ساختار طبیعی خود خارج شده‌اند. عواملی مانند مدیریت نادرست آب کشاورزی و آلودگی‌های ایجاد شده در اثر آن، استفاده از روش‌های تولید صنعتی قدیمی و ناکارایی سامانه‌های کنترل و نظارت بر آلودگی منابع آب امروزه ضرورت توجه بیشتر به کیفیت منابع آب را ایجاب می‌کند (۵). کیفیت آب رودخانه طالقان برای تأمین بخشی از آب شرب شهرهای تهران و کرج و همچنین تأمین آب کشاورزی دشت قزوین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این منطقه به لحاظ وجود ۷۶ روستا در حاشیه رودخانه طالقان و سرشاخه‌های آن و تردد هزاران گردشگر در فصول بهار و تابستان و همچنین وجود ساخت و سازها در باغ‌ها حاشیه رودخانه، فاضلاب‌ها در بعضی موارد در مسیر رودخانه تخلیه شده و کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و لذا مطالعه و بررسی کیفیت آب این رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در زمینه مطالعات کیفی رودخانه‌ها تاکنون تحقیقات داخلی و خارجی متعددی انجام گرفته است که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره شده است.

کریستی و همکاران با استفاده از مدل Qual2kw به شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دمای آب در سه رودخانه کشور آمریکا پرداختند. هدف اصلی تحقیقات ایشان، بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب طی چند دهه آینده بوده و پس از بررسی سناریوهای مختلف پیشنهاد به افزایش پوشش گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آبیان دادند (۱۰). الیور و همکاران نیز به ارزیابی کاربرد مدل Qual2kw برای حوضه رودخانه‌های کوچک پرداختند و پاسخ

رودخانه سرتیما پرتغال به بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن و فسفر را با استفاده از این مدل بررسی کردند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که برای کاهش واقعی آلودگی‌های حاصل از بارگذاری نیتروژن و فسفر به ترتیب ۵ و ۱۰ دوره لازم است تا کلاس این رودخانه از یوتروفیک به مزوفیک تغییر کند (۱۲). قاضی میرسعید داده‌های ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان را توسط دو مدل Qual2kw و Aquatox مدل‌سازی کرد. نتایج وی نشان داد که با وجود کم بودن دامنه تغییرات پارامترها، خروجی‌های دو مدل هماهنگی بسیار بالایی دارند و در مجاورت مراکز جمعیتی، کیفیت آب رودخانه کاهش می‌یابد ولی به علت توان بالای پالایش طبیعی رودخانه، آب ورودی به مخزن سد دارای کیفیت خوبی می‌باشد (۴). واقفی و همکاران نیز در تحقیقی پارامترهای کیفیت آب رودخانه طالقان که در طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ نمونه‌برداری شده بود را تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که مسئله جدی کیفیت آب را تهدید نمی‌کند و از این آب می‌توان برای تأمین آب شرب شهر تهران استفاده کرد (۱۶). همچنین هانفنگ و همکاران در تحقیقی به منظور پیش‌بینی وارزیابی کیفیت آب رودخانه تیدال از سرشاخه‌های رودخانه لیاو در چین مدل Qual2kw و یک مدل یک‌بعدی (ID) را به‌کار بردند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که دلایل اصلی آلودگی رودخانه، آلودگی‌های نفتی و منابع غیرنقطه‌ای هستند. آنالیز حساسیت نیز مشخص کرد که سرعت جریان، بار نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای از حساس‌ترین پارامترها برای چهار شاخص NH_3 , BOD, DO و TP در مدل Qual2kw هستند. همچنین نتایج تأیید کرد که مدل Qual2kw نتایج بهتری در شبیه‌سازی کیفیت آب نسبت به مدل (ID) دارد (۱۱). استکلبرگ و نیلسون نیز با استفاده از مدل Qual2kw به بررسی کیفیت آب رودخانه جردان در ایالت یوتا آمریکا پرداختند. برای این منظور ۸۳ کیلومتر از طول رودخانه را مورد بررسی قرار دادند و از چهار دوره نمونه‌برداری برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده کردند. همچنین نتایج را بر علل پایین بودن اکسیژن محلول متمرکز کردند و در نهایت



شکل ۱. موقعیت رودخانه طالقان و ایستگاه‌های مورد مطالعه

مدل‌سازی رودخانه و با در نظر گرفتن تغییرات فصلی متمرکز کردند و به بررسی علل و عوامل کاهش یا افزایش مقادیر پارامترها پرداختند (۱۶). در مقاله حاضر رودخانه طالقان با استفاده از مدل Qual2kw شبیه‌سازی و همچنین کیفیت آب رودخانه طالقان در دو فصل کم‌آبی و پرآبی مقایسه شد و به شناسایی عوامل آلوده کننده نیز پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز طالقان یکی از زیر شاخه‌های سفیدرود است که در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب تهران واقع شده است و بین عرض‌های $36^{\circ} 5' 20''$ تا $36^{\circ} 21' 30''$ شمالی و طول‌های $50^{\circ} 20' 5''$ تا $51^{\circ} 11' 22''$ شرقی قرار دارد (۱۶). زهکش اصلی این حوضه طالقان‌رود است که در بخش پایاب به الموت‌رود پیوسته و شاهرود را تشکیل می‌دهد. شکل (۱) موقعیت رودخانه طالقان را نشان می‌دهد. این رودخانه پس از طی ۷۰ کیلومتر به سد سفیدرود می‌ریزد.

حوضه آبخیز طالقان در ارتفاعات مرکزی قرار گرفته و مساحتی بالغ بر ۱۳۲۰۰ هکتار دارد که ۳/۳ درصد از حوضه آبخیز سفیدرود و ۰/۰۸ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد (۴).

در شکل ۲ موقعیت بازه مورد مطالعه در رودخانه طالقان نشان داده شده است که به ترتیب S۱ ایستگاه شماره یک در

دریافتند که از علل اولیه فقر اکسیژن محلول در آب رودخانه، تجزیه مواد آلی و هوادهی ضعیف رودخانه است (۱۵). مقیمی‌نژاد و همکاران در تحقیقی برای محاسبه حداکثر بار آلودگی قابل تحمل در رودخانه کارون در طول ۱۱۳ کیلومتر از رودخانه متغیرهای DO، BOD و نیترات و کلیفورم را توسط مدل Qual2kw شبیه‌سازی کردند و به بررسی تغییرات فصلی خودپالایی رودخانه پرداختند. سپس سه حالت کاهش ۳۰ درصدی دی و یا غلظت جریان آلاینده‌های ورودی به رودخانه و افزایش ۳۰ درصدی جریان رودخانه در بالادست برای بهبود کیفیت کاربری آب رودخانه، در ماه‌هایی که استاندارد کاربری ارضا نشده بود، بررسی شد. نتایج نشان داد که کاهش ۳۰ درصدی غلظت آلاینده‌های ورودی برای نیترات در ماه‌های دی و بهمن و برای BOD در تمام ماه‌ها به جز مهرماه که بیشتر از حد استاندارد کاربری بوده‌اند، بیشترین تأثیر را در بهبود مقدار این متغیرهای کیفیت آب داشته است. نتایج نشان داد که کاهش ۳۰ درصدی غلظت آلاینده‌های نیترات در ماه‌های دی و بهمن و برای BOD در تمام ماه‌ها به جز مهرماه بیش از حد استاندارد کاربری بوده‌اند، بیشترین تأثیر را در بهبود مقدار این متغیرهای کیفیت آب داشته است (۸).

در مطالعه‌ای که واقفی و همکاران روی کیفیت آب رودخانه طالقان انجام دادند نتایج را تنها بر مقایسه محدوده داده‌ها بدون



شکل ۲. موقعیت رودخانه طالقان و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات بازه‌های مورد مطالعه رودخانه طالقان

شماره بازه	شروع بازه (ایستگاه)	پایان بازه (ایستگاه)	طول بازه (km)	شیب متوسط (درصد)	عرض مقطع (متر)	متوسط دبی شهریور (m ³ /s)	متوسط دبی بهمن (m ³ /s)
۱	S1	S2	۱۸	۲	۵/۵-۹/۵	۲/۳۴	۲/۸۰
۲	S2	S3	۱/۸۵	۱/۵	۹/۵-۱۱/۵	۲/۳۸	۳/۸۶
۳	S3	S4	۳/۵	۱/۳	۱۱/۵-۱۴/۸	۲/۴۸	۴/۵۰
۴	S4	S5	۷/۳۷	۰/۰۸	۱۴/۲-۱۴/۸	۱/۹۰	۵/۵۸
۵	S5	S6	۲/۷۳	۱/۲	۱۴/۲-۱۴/۴	۱/۱۴	۶/۹۸

به محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری به پنج بازه تقسیم شد که در جدول (۱) مشخصات آنها ارائه شده است.

ابزار مدل‌سازی

نرم‌افزار Qual2k مخصوص مدل‌سازی کیفیت آب‌های سطحی است. این مدل توسط چاپرا و همکاران (۲۰۰۶) توسعه یافت. ونسخه توسعه یافته Qual2e است که توسط برون و بانول ارائه شده بود (۹). این مدل رودخانه را به صورت یک‌بعدی، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌کند و می‌تواند اثر بارآلودگی را، هم به صورت نقطه‌ای و هم غیرنقطه‌ای در نظر گرفته و تا ۱۵ پارامتر کیفی آب را شبیه‌سازی کند (۳). در مقاله حاضر بعد از وارد کردن داده‌ها به مدل به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل و داده‌های نمونه‌برداری شده از استاندارد رگرسیون خطی برای محاسبه مربع ضریب همبستگی (R^2) و

محل روستای گته‌ده، ایستگاه شماره دو در پایین‌دست روستای جویستان، ایستگاه شماره سه در بالادست روستای جویستان، ایستگاه شماره چهار در نزدیکی روستای گوران، ایستگاه شماره پنج قبل از روستای گلینک و S6 ایستگاه پایانی که قبل از سد طالقان قرار دارد است. جهت جریان رودخانه از ایستگاه یک به سمت ایستگاه شش است و فاصله طولی هر دو ایستگاه به‌عنوان یک بازه در نظر گرفته شده که مشخصات بازه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

در مقاله حاضر از داده‌های کیفی یک ساله رودخانه طالقان، که در سال ۱۳۸۷ توسط شرکت آب منطقه‌ای تهران اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد. نمونه‌برداری در شش مقطع از رودخانه انجام شده و مدل‌سازی و بررسی کیفیت آب رودخانه طالقان بر اساس داده‌های چهار ماه مرداد، شهریور، دی و بهمن انجام گرفت. قبل از انجام مدل‌سازی، مسیر رودخانه طالقان با توجه

جدول ۲. ضرایب سینوپتیکی مورد استفاده در مدل بعد از واسنجی

پارامتر	مقدار	واحد	علامت
استوکيومتری			
	مرداد	دی	
کربن	۴۰	۴۰	gC (gC)
نیترژن	۷/۲	۷/۲	gN (gN)
فسفر	۱	۱	gP (gP)
وزن خشک	۱۰۰	۱۰۰	gD (gD)
کلروفیل	۱	۱	gA (gA)
مواد معلق غیر آلی			
سرعت ته نشینی	۰/۷۵۲۶۲	۱/۴۸۴۷۶	v_i (m/d)
اکسیژن (مدل بازدمش)			
تصحیح دما	۱/۰۲۴	۱/۰۲۴	θ_a
اکسیژن برای اکسیداسیون کربن	۲/۶۷	۲/۶۷	r_{oc} (gO ₂ /gC)
اکسیژن برای نیتریفیکشن آمونیاک	۴/۵۷	۴/۵۷	r_{on} (gO ₂ /gN)
اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی کند			
نرخ هیدرولیز	۰/۰۸۳۴۵۶	۰/۱۹۷۵۳۴	k_{hc} (/d)
تصحیح دما	۱/۰۴۷	۱/۰۴۷	θ_{hc}
نرخ اکسیداسیون	۰/۱۳۰۱	۰/۲۲۲۶۵	k_{dcs} (/d)
نیترات			
دنیتریفیکشن	۰/۳۲۷۹۸	۰/۱۸۴۱۲	k_{dn} (/d)
تصحیح دما	۱/۰۷	۱/۰۷	θ_{dn}
انتقال دنیتریفیکشن بستر	۰/۱۳۵۵۶	۰/۲۴۸۴۸	v_{di} m/d

شماره پنج استفاده شد.

به‌منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه طالقان، ابتدا رودخانه با استفاده از نرم‌افزار Qual2kw مدل شد. برای واسنجی مدل، از داده‌های ماه مرداد استفاده شد و ضرایب واسنجی بررسی و در ماه شهریور به کار گرفته و مدل اجرا شد. به همین ترتیب داده‌های ماه دی بعد از واسنجی (calibration)، در بهمن‌ماه اعتبارسنجی (validation) شد. ضرایب سینوپتیکی مورد استفاده در مدل بعد از واسنجی در جدول (۲) ارائه شده است. ابتدا ضرایب برای ماه مرداد واسنجی شد و در ماه شهریور اعتبارسنجی شد، سپس ضرایب در ماه دی نیز واسنجی و در ماه بهمن اعتبارسنجی شد.

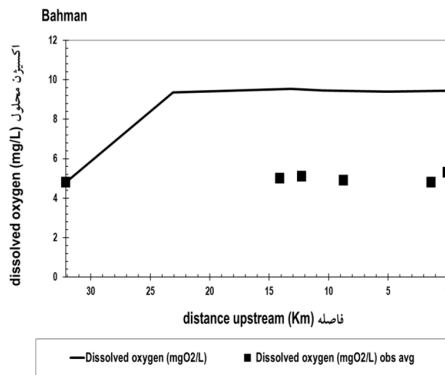
نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار در قالب نمودارهای مربوطه

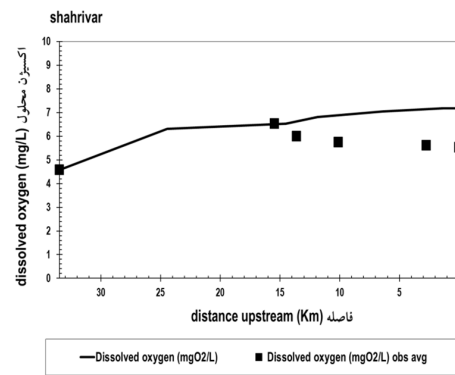
خطای استاندارد برآوردها (که نشان‌دهنده اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و نتایج مدل هستند) استفاده شد. معادله اصلی که مدل مذکور به حل آن می‌پردازد، معادله جابه‌جایی پخش یک‌بعدی است که در رابطه (۱) ارائه شده است (۱۳) و (۱۶).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(AD_L \frac{\partial c}{\partial x})}{A \partial x} - \frac{\partial(Auc)}{A \partial x} + \frac{dc}{dt} + \frac{S}{V} \quad (1)$$

در رابطه فوق، C: غلظت ماده آلاینده (میلی‌گرم / لیتر)؛ A: سطح مقطع المان عمود بر جریان (مترمربع)؛ t: زمان (ثانیه)؛ DL: ضریب پراکندگی (متر مکعب بر ثانیه)؛ x: طول رودخانه (متر)؛ u: سرعت متوسط جریان (متر/ثانیه)؛ S: منبع خارجی آلودگی (میلی‌گرم) و V: حجم المان به تفکیک ماه‌ها است. پارامترهای هواشناسی در روزهای مورد بررسی در مدل شامل سرعت باد، نقطه شبنم، درصد ابرناکی، انرژی تابشی خورشید و دمای هوا نیز از گزارش‌های سازمان هواشناسی گلینک واقع در بازه



شکل ۴. تغییرات DO شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ماه بهمن

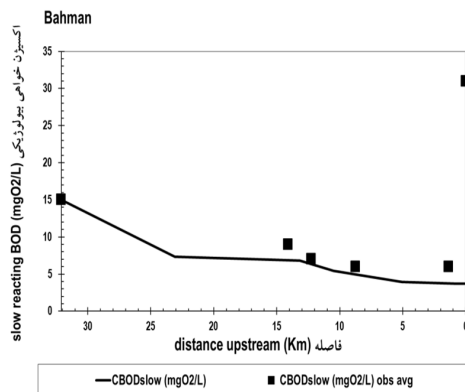


شکل ۳. تغییرات DO شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ماه شهریور

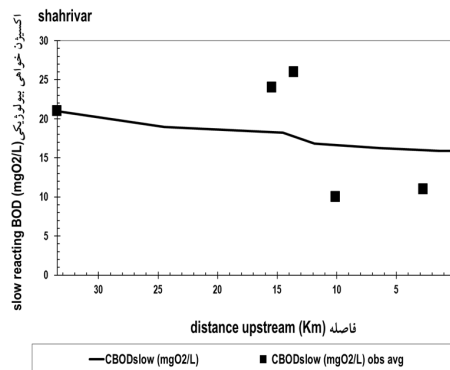
و مقدار اکسیژن محلول به ۶/۵۲ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. در فاصله ایستگاه شماره دو تا منطقه جویستان (ایستگاه شماره سه) به دلیل تخلیه فاضلاب اندک منطقه جویستان (بر اساس بازدیدهای میدانی) و فاصله کم در این بازه مقدار اکسیژن محلول کمی کاهش می‌یابد تا به ۵/۹۸ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد (کیلومتر ۱۳/۶۱). از ایستگاه جویستان تا ایستگاه گلینگ (ایستگاه شماره شش) به دلیل تخلیه فاضلاب‌های کارگاه صابون‌سازی، کارگاه نمک ورکش و مرغداری (کیلومتر ۲/۳۳، ایستگاه شماره پنج) که در فاصله کمی از رودخانه قرار دارند و وجود دو عنصر فسفر و نیتروژن در فضولات دامی که باعث از بین رفتن اکسیژن آب شده، اکسیژن محلول به طور مداوم کاهش می‌یابد و در نهایت بعد از تخلیه فاضلاب شهرک طالقان (ایستگاه شماره شش) به ۵/۵ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. در ماه بهمن اگرچه به دلیل بالا بودن دبی رودخانه و کمتر بودن تبخیر- تعرق و همچنین کاهش دمای آب در مدل پیش‌بینی شده که مقدار اکسیژن محلول در رودخانه افزایش یابد اما در عمل این افزایش رخ نداده است و این امر به علت اثر منابع غیرنقطه‌ای آلودگی و تخلیه رواناب‌های ناشی از بارندگی و شست‌وشوی زمین‌های کشاورزی اطراف است. به دلیل اثر این عوامل در بهمن ماه اکسیژن محلول در رودخانه بین ۴/۸ تا ۵/۳ میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده است. که این یافته با نتایج نوشادی و همکاران نیز تطابق دارد (۷) در حد فاصل ناربان تا جویستان (ایستگاه شماره یک تا دو)

استخراج و در شکل‌های ۳ تا ۱۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در شبیه‌سازی صورت گرفته مقادیر مرزی در ایستگاه اول به مدل وارد شده و پیش‌بینی مقادیر توسط مدل تا انتهای رودخانه (ایستگاه شماره شش) در طول مسیر صورت گرفت. لذا مدل رفتار رودخانه در طول مسیر را بدون اثر تخلیه عوامل گوناگون پیش‌بینی می‌کند که از این طریق می‌توان به بررسی علل کاهش یا افزایش پارامترهای کیفی در طول مسیر پرداخت و اثرات ورود آلاینده‌ها را در حالت عدم ورود به رودخانه در مدل، به صورت واضح‌تری در داده‌های میدانی مورد بررسی قرار داد. لذا اختلاف در پیش‌بینی مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده را از این حیث می‌توان بررسی کرد.

در شکل‌های (۳) و (۴) تغییرات اکسیژن محلول (DO) شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در بازه مطالعاتی رودخانه در ماه شهریور و بهمن ارائه شده است. میزان اکسیژن محلول در رودخانه به عوامل متعددی از جمله دمای آب، میزان هوادهی طبیعی، بار آلی موجود و یا ورودی رودخانه بستگی دارد (۷). با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ و همچنین با رجوع به شکل ۱ مشاهده می‌شود که در ایستگاه اول به دلیل تخلیه فاضلاب گنده، در این محل مقدار اکسیژن محلول پایین است (۴/۵۷ میلی‌گرم در لیتر) اما در این فاصله تا ایستگاه شماره دو (کیلومتر ۱۵/۴۶) اگرچه مقداری از فاضلاب دهدر، مهران و ناربان در این فاصله به رودخانه وارد می‌شود لیکن به دلیل شیب زیاد و هوادهی بیشتر در این قسمت خودپالایی صورت گرفته



شکل ۶. تغییرات BOD شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ماه بهمن

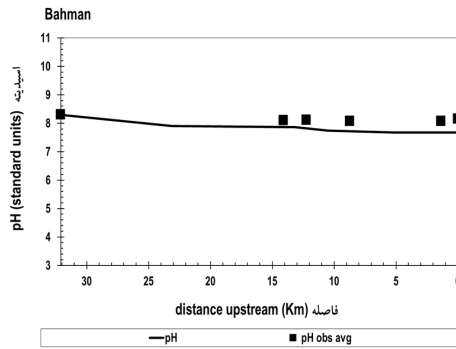


شکل ۵. تغییرات BOD شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ماه شهریور

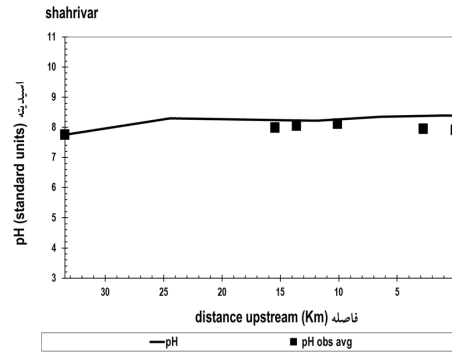
محدوده مناطق دهر، مهران و ناربان (ایستگاه شماره دو) به دلیل تخلیه فاضلاب‌های این روستاها در داخل رودخانه مقدار اکسیژن‌خواهی افزایش یافته و به ۲۴ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. این افزایش همچنان ادامه می‌یابد تا در ایستگاه شماره سه (کیلومتر ۱۳/۶۱) به دلیل ورود فاضلاب روستای جویستان به ۲۶ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. در ایستگاه شماره چهار به دلیل افزایش دبی در اثر ورود سرشاخه‌ها و رقیق شدن فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی به شدت کاهش یافته و به ۱۰ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. اما بعد از ایستگاه شماره پنج (کیلومتر ۲/۷۳)، تخلیه فاضلاب شهرک مسکونی طالقان باعث افزایش چشمگیر مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی به ۲۳ میلی‌گرم در لیتر می‌شود. در ماه بهمن کیفیت آب از نظر اکسیژن‌خواهی به دلیل پرآبی و رقیق شدن اثرات فاضلاب‌ها در رودخانه بهتر است (شکل شماره شش) و تنها در ابتدا مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بوده و به ترتیب با رسیدن به ایستگاه شماره پنج کاهش یافته و به شش میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. اما در کیلومتر ۲/۷۳ به دلیل حجم بالای فاضلاب شهرک طالقان در انتهای مسیر مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی به ۳۱ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد. از مقایسه ضریب همبستگی و خطای استاندارد مقادیر BOD در ماه شهریور ($R^2 = 0/45$ و $SE = 5/89$) و ماه بهمن ($R^2 = 0/06$ و $SE = 11/20$) می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی در ماه شهریور به واقعیت نزدیک‌تر است.

زمین‌های زراعی متعددی واقع شده (شکل ۱) که تخلیه زهاب‌های حاصل از شست‌وشوی این زمین‌ها باعث کاهش اکسیژن محلول در فصل پرآبی در رودخانه می‌شود. همان‌طور که از شکل (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، مقدار اکسیژن محلول در رودخانه در تمامی ایستگاه‌ها غیر از ایستگاه اول، در ماه شهریور بیشتر از ماه بهمن است. به‌طور کلی میزان ورود فاضلاب‌های صنعتی یا شهری به‌طور مستقیم بر میزان اکسیژن محلول در رودخانه اثر گذاشته و باعث کاهش مقادیر DO شده است. همچنین رابین ژانگ و همکاران در تحقیقی که در مورد کیفیت آب رودخانه تایهو چین انجام دادند به همین نتیجه رسیدند (۱۴). از مقایسه ضریب همبستگی و خطای استاندارد مقادیر DO در ماه شهریور ($R^2 = 0/61$ و $SE = 1/02$) و ماه بهمن ($R^2 = 0/47$ و $SE = 4/04$) می‌توان چنین نتیجه گرفت که شبیه‌سازی‌ها در ماه شهریور به دلیل تأثیر کمتر منابع غیرنقطه‌ای آلودگی به واقعیت نزدیک‌تر هستند.

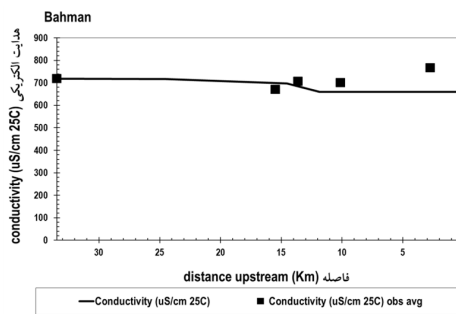
شکل‌های (۵) و (۶) بیانگر تغییرات اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) شبیه‌سازی و مشاهداتی در بازه مطالعاتی رودخانه طالقان در ماه شهریور و بهمن هستند. همان‌طور که از شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود در ماه شهریور مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی بین ۱۰ تا ۲۶ میلی‌گرم در لیتر در طول رودخانه متغیر است. در ایستگاه ابتدایی (کیلومتر ۳۳/۴۶) به دلیل تخلیه فاضلاب گت‌ده مقدار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی ۲۱ میلی‌گرم در لیتر است و همچنین در



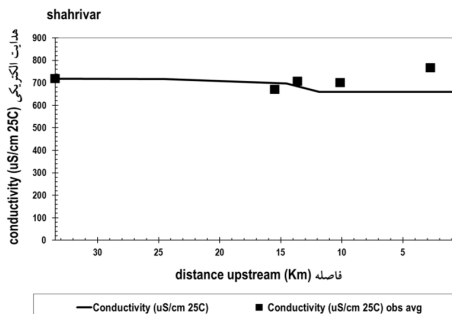
شکل ۸. تغییرات pH شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در ماه بهمن



شکل ۷. تغییرات pH شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در ماه شهریور



شکل ۱۰. تغییرات EC شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در ماه بهمن



شکل ۹. تغییرات EC شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در ماه شهریور

سال مقدار pH تغییرات بسیار کمی دارد. همچنین بر اساس استاندارد کیفی آب رودخانه‌های کشور، محدوده تغییرات pH در تمام ایستگاه‌ها در هر دو فصل پربابی و کم‌آبی در محدوده بهینه ۸/۵-۶/۵ قرار دارد (۵).

در مجموع با توجه به ضریب همبستگی و خطای استاندارد داده‌های شهریورماه ($R^2 = 0/06$ و $SE = 0/31$) و بهمن‌ماه ($R^2 = 0/86$ و $SE = 0/32$) نتیجه می‌شود که شبیه‌سازی در ماه بهمن بهتر صورت گرفته و انطباق بیشتری با داده‌های مشاهده‌ای دارد. علت این امر می‌تواند به رقیق بودن دبی رودخانه در بهمن‌ماه و اثر کمتر آلودگی‌ها بر کیفیت آب باشد.

در اشکال (۹) و (۱۰) تغییرات EC شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در طول رودخانه در ماه شهریور و بهمن ارائه شده است.

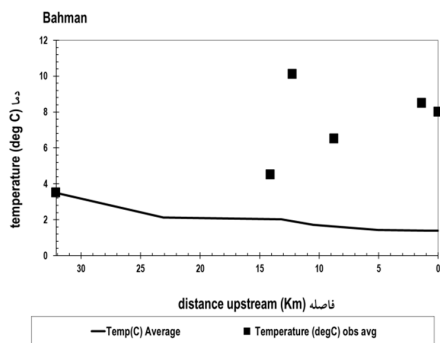
همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار هدایت الکتریکی در ماه شهریور و در ایستگاه اول معادل $718 \mu\text{S}/\text{Cm}$ است که این امر متأثر باز تخلیه فاضلاب گتده‌ده است. در کیلومتر $15/46$ (ایستگاه شماره دو) به $670 \mu\text{S}/\text{Cm}$ کاهش یافته و تا ایستگاه

در اشکال (۷) و (۸) تغییرات pH در طول رودخانه در ماه شهریور و بهمن ارائه شده است.

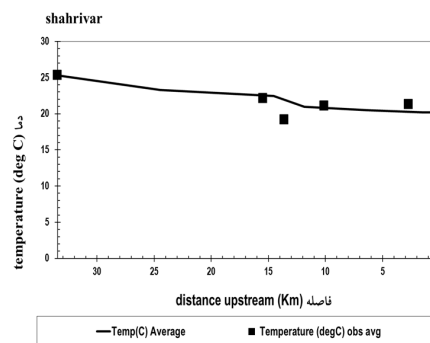
همان‌طور که از شکل (۷) مشاهده می‌شود، شبیه‌سازی کلیات با داده‌های مشاهده‌ای تطابق بسیار خوبی را نشان می‌دهد و در شکل (۸) اگرچه مقادیر داده‌های مشاهده‌ای مقداری بیش از مقادیر پیش‌بینی شده هستند اما از روند تغییر داده‌های مشاهده‌ای تبعیت می‌کنند.

این فاکتور تحت تأثیر عواملی چون میزان مواد معلق، مواد کلوئیدی، مواد آلی، وجود آنیون‌های هالوژنه و راهیابی رواناب‌های کشاورزی به آب قرار دارد. تغییرات pH در طول رودخانه در هر دو ماه شهریور و بهمن از روند یکسانی تبعیت می‌کند و نشان می‌دهد که آب رودخانه در طول سال کلیایی است که این امر به دلیل تخلیه زیاد و مکرر فاضلاب‌های شهری و روستایی است (۷).

همچنین مقدار pH در هر دو ماه بیشتر از هفت بوده که به دلیل وجود یون‌های بی‌کربنات است و در کل در تمام فصول



شکل ۱۲. تغییرات دما شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در ماه بهمن



شکل ۱۱. تغییرات دما شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در ماه شهریور

شماره پنج به تدریج به دلیل وارد شدن زهاب‌های حاصل از شست‌وشوی زمین‌های زراعی اطراف به $765 \mu\text{s}/\text{Cm}$ می‌رسد اما در ایستگاه شماره شش اندکی کاهش یافته و در نهایت به $746 \mu\text{s}/\text{Cm}$ می‌رسد.

در ماه بهمن نیز اثر تخلیه زه‌آب‌های ناشی از شست‌وشوی زمین‌های کشاورزی اطراف روی هدایت الکتریکی بیشتر بوده و در این ماه مقادیر هدایت الکتریکی از $636 \mu\text{s}/\text{Cm}$ تا $720 \mu\text{s}/\text{Cm}$ در طول رودخانه بر حسب مقادیر فاضلاب‌های شهری و روستایی و زهاب‌های زمین‌های کشاورزی که در مکان‌های مختلف به رودخانه وارد می‌شوند تغییر می‌کند. در انتها از مقایسه ضریب همبستگی و خطای استاندارد ماه شهریور ($R^2 = 0/63$ و $SE = 60/83$) و بهمن ($R^2 = 0/14$) و کمتر از ماه بهمن است هر چند که در کل اختلاف چندانی وجود ندارد. همچنین مقادیر شبیه‌سازی در ماه بهمن انطباق بیشتری با مقادیر مشاهداتی نسبت به ماه شهریور دارد. در اشکال (۱۱) و (۱۲) بررسی دمای ماه‌های شهریور و بهمن ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

از آنجا که کلیه واکنش‌های زیستی تابعی از درجه حرارت هستند لذا پارامتر دمای آب در مطالعات رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. درجه حرارت آب به عوامل مختلفی از جمله دمای اولیه آب، دمای هوا، دمای آلاینده‌های ورودی به رودخانه، شدت نور، عمق جریان، سطح آب در تماس با هوا، طول ساعات آفتابی، صاف یا ابری بودن هوا و درصدی از

شده‌اند، رودخانه زمان لازم برای خودپالایی را پیدا نمی‌کند. از فاضلاب‌های صنعتی که به رودخانه تخلیه می‌شوند می‌توان به کارگاه صابون‌سازی و کارگاه نمک ورکش اشاره کرد. ارائه راهکارهای مدیریتی در تخلیه فاضلاب این صنایع تا حد بسیار زیادی می‌تواند در بهبود کیفیت آب رودخانه مؤثر واقع شود و اکسیژن محلول آب را تا حد استاندارد زیست‌محیطی برای زندگی آبزیان تأمین کند. تغییرات سایر پارامترها اعم از pH، EC و دما در دو فصل کم‌آبی و پرآبی تفاوت چشمگیری نداشته است. در نهایت نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته برای پارامترهای مختلف با توجه به میزان ضریب همبستگی و خطای استاندارد نشان داد که مدل بهترین شبیه‌سازی را ابتدا برای pH سپس به ترتیب برای پارامترهای دما، DO، BOD و EC انجام داده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه تهران، دانشگاه زنجان و شرکت آب منطقه‌ای تهران که امکانات و داده‌های لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه را تأمین کردند تشکر می‌شود.

فصل کم‌آبی برخلاف انتظار بیشتر از فصل پرآبی است زیرا در فصل کم‌آبی اگرچه تأثیر تخلیه فاضلاب‌های مختلف بر دبی رودخانه بیشتر است اما در فصل پرآبی آلودگی ناشی از رواناب‌ها و منابع غیرنقطه‌ای بر کاهش اکسیژن محلول مؤثرتر بوده است و همچنین تخلیه فاضلاب دامداری‌ها در رودخانه نیز باعث وارد شدن نیترات و فسفات در آب رودخانه شده است که این امر اکسیژن محلول آب را به شدت کاهش می‌دهد. تغییرات مقادیر BOD در طول رودخانه در دو فصل پرآبی و کم‌آبی نشان داد که مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیکی در فصل پرآبی بسیار کمتر بوده و در ماه بهمن تنها در ایستگاه ابتدایی (تخلیه فاضلاب گنده) و ایستگاه انتهایی (تخلیه فاضلاب شهرک طالقان) افزایش داشته است. افزایش مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیکی در اثر فاضلاب‌های شهری و کشاورزی منطقه است که با یافته‌های عباسپور و همکاران مطابقت دارد (۲) از مهم‌ترین آلودگی‌ها در مسیر رودخانه فاضلاب گنده و فاضلاب شهرک طالقان است که برای بهبود کیفیت آب، مدیریت تخلیه این فاضلاب‌ها الزامی است. همچنین به دلیل اینکه تعداد مناطق مسکونی در حاشیه رودخانه زیاد بوده و بیشتر روستاها در فاصله کمی از یکدیگر واقع

منابع مورد استفاده

۱. خیراللهی، م.، ا. ح. جاوید، ا. تکدستان و م. ص. سخاوتجو. ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب دریاچه سد کرخه با استفاده از شاخص‌های کیفی. چهاردهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد.
۲. عباسپور، م.، ا. ح. جاوید و ا. حبیبی، ۱۳۹۲. تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه خراسان و بررسی روند تغییرات سالیانه آن. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۵(۴): ۱۱-۱.
۳. عظیمی، م.، ا. غواصیه، س. هاشمی، س. برکتین و ف. جعفری گل. ۱۳۸۹. ارزیابی قدرت خودپالایی رودخانه به کمک نتایج حاصل از شبیه‌سازی کیفی (مطالعه موردی: رودخانه سفیدرود)، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک. دانشگاه صنعت آب و برق. تهران.
۴. قاضی میر سعید، ح. ۱۳۹۰. مدل‌سازی کیفی رودخانه‌ی جاجرود و ارزیابی قدرت خودپالایی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
۵. معاونت نظام راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی. ۱۳۸۸. راهنمای مطالعات ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها. شماره ۴۸۱.
۶. مهدوی، م.، ا. بذرافشان، آ. جوانشیر، ر. موسوی ندوشنی و م. باباپور. ۱۳۸۹. بررسی امکان تأثیر جامعه کفزیان رودخانه طالقان

- روی تعیین کیفیت آب. مجله منابع طبیعی ایران ۶۳ (۱): ۹۱-۷۵.
۷. نوشادی، م. و م. حاتمی‌زاده. ۱۳۸۹. اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رودخانه کر با استفاده از مدل کوال. نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۴ (۳): ۳۴۹-۳۳۸.
۸. مقیمی‌نژاد، س. ک. ابراهیمی و ر. کراچیان. ۱۳۹۶. مطالعه تغییرات فصلی خود پالایی رودخانه کارون. نشریه مهندسی عمران / امیرکبیر ۴۹ (۴): ۳۳-۲۳.
9. Chapra, S. C., G. Pelletier and H. Tao. 2008. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and Users Manual .Version 2.11. Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford.
10. Cristea, N. C. and J. Stephen. 2010. An assessment of the current and future thermal regimes of three streams located in the Wenatchee River basin, Washington State: some implications for regional river basin systems. *Climatic Change* 3(102): 493-520
11. Hanfeng, Y., G. Shuhai, L. Fengmei and L. Gang. 2013. water quality evaluation in Tidal river reaches of Lliaohe river estuary, china using a revised qual 2k model. *Chinese Geographical Science* 3(23): 301-311.
12. Oliveir, B., J. Bola, P. Quinteiro, H. Nadais and L. Arroja. 2011. Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management "Cértima River as a case study". *Environmental Monitoring and Assessment* 10(184): 6197-6210.
13. Pellerire, G. J. and S. C. Chapra. 2008. A modeling framework for simulating river and stream quality. Washington State Department of Ecology, Qual2kw user manual, Version 5.1. Washington.
14. Zhang, R., X. Qian, X. Yuan, R. Ye, B. Xia and Y. Wang. 2012. Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using Qual2K for water environmental management. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9: 4504-4521.
15. Stackelberg, N. O. and B. T. Neilson. 2014. Collaborative approach to calibration of a riverine water quality model. *Journal of Water Resources Planning and Management* 3(140): 393-405.
16. Vaghefi, H., A. Hajiali and F. Shaybani. 2012. Evaluation of seasonal variations in physicochemical parameters of Taleghan River, northern Iran. *International Journal of the Bioflux Society* 5(5) :403-414

Simulation and Evaluation of Seasonal Variations of Water Quality in Taleghan River Using a Mathematical Model

P. Hadipour Niktarash¹, H. Ghodousi¹ and K. Ebrahimi^{2*}

(Received: July 12-2017 ; Accepted: June 25-2018)

Abstract

One of the factors leading to the contamination of water resources is human activity, producing waste materials. In this paper, the effects of contamination on the water quality of Taleghan River, was simulated using of Qual2k model and the seasonal changes were evaluated. The qualified data collected during two months, August (as the dry season) and February (as the wet season), were used in the modelling. The results showed that the dissolved oxygen change was in the range of 4.5-6.52 mg/L in August. However, it changed between 4.8-5.3 mg/l in February and this reduction in the wet season was due to the run off deposition and the seepages of farmland near the river. Furthermore, BOD in the wet season and the dry season changed by 6-31 and 10-26 mg/l, respectively. These changes were due to the sewage dilution in flow during the wet season. Evaluation of the pH values in wet and dry seasons also showed that water of the river was more alkaline in the wet season, which is due to the effect of non-point resources or the fertilizer entrance after farm land bleaching by rain. Evaluation of Taleghan river EC variation also showed these changes were not significant during the wet and dry seasons. Water temperature was altered by 3-10⁰C and 19-25⁰C, respectively, in February and August.

Keywords: Water quality, Simulation, Taleghan River

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

*: Corresponding Author, Email: EbrahimiK@ut.ac.ir