

بررسی تغییرات فصلی ضریب زوال آلودگی رودخانه تالار

رستم صادقی تالارپشتی، کیومرث ابراهیمی* و عبدالحسین هورفر^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹)

چکیده

صیانت از کیفیت آب رودخانه‌ها به‌عنوان در دسترس‌ترین منبع تأمین آب همواره مورد توجه بوده است. در مقاله حاضر توان خودپالایی و تغییرات فصلی ضرایب زوال آلودگی رودخانه تالار بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی پارامترهای DO، BOD، pH، EC، نیترات، فسفر و درجه حرارت در چهار فصل از سال ۱۳۹۷ به همراه شبیه‌سازی و واسنجی آن با کاربرد مدل QUAL2Kw و روش استریتز فلپس مورد مطالعه قرار گرفته است. در ضمن، علاوه بر نتایج شبیه‌سازی‌ها و ارائه مقادیر فصلی ضرایب زوال آلودگی، مقادیر داده‌های اندازه‌گیری‌های میدانی نمونه‌های آب رودخانه نیز ارائه شده است. بر اساس نتایج، مقدار تغییرات میانگین DO از ۵/۱۵ در فصل تابستان تا ۷/۴۷ میلی‌گرم در لیتر در فصل بهار و تغییرات میانگین BOD از ۱/۸۸ در فصل پاییز تا ۷/۹ میلی‌گرم در لیتر در فصل تابستان ثبت شد. همچنین، در روش استریتز فلپس کمترین مقدار ضریب زوال از ۱/۵۷ یک بر روز در فصل بهار تا ۹/۶۳ یک بر روز در فصل پاییز متغیر بوده است. مقادیر ضریب زوال رودخانه تالار با استفاده از مدل QUAL2Kw نیز از ۲ در فصل پاییز تا ۷/۷ یک بر روز در فصل تابستان به ثبت رسید.

واژه‌های کلیدی: اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیولوژیک، بازه‌دهی، تالار، ضریب زوال

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

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

مقدمه

مدیریت کیفی رودخانه‌ها به‌عنوان حیاتی‌ترین منبع تأمین آب همواره مورد توجه سازمان‌های ملی و بین‌المللی بوده است. پایش کیفی آب رودخانه‌ها به سبب بهره‌برداری در بخش آشامیدن، کشاورزی و صنعت، امری لازم و ضروری است (۱۳ و ۱۵). رودخانه تالار یکی از رودخانه‌های بزرگ استان مازندران محسوب می‌شود که لزوم پایش کیفیت آب آن و ارزیابی تأثیر مواد آلاینده در مسیر این رودخانه ضروری است. دزفولی و همکاران (۵) با استفاده از شبکه عصبی احتمالی طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه کارون را بر اساس حداقل پارامترهای کیفیت آب انجام دادند. خودپالایی بازه کوهستانی رودخانه عباس آباد همدان طی تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق با استفاده از آمار اندازه‌گیری شده سازمان محیط زیست، در دو بازه $1/86$ و $4/33$ کیلومتری پارامترهای DO، BOD، COD، NH_4 و PO_4 را با استفاده از مدل QUAL2Kw شبیه‌سازی کردند. بر اساس نتایج حاصل ضمن ارزیابی خوب از کیفیت آب رودخانه به دلیل هوادهی بالا، حداکثر ظرفیت پارامترهای ذکرشده در بازه اول به ترتیب $101/92$ ، $171/95$ ، $26/30$ ، $181/78$ و $3/80$ کیلوگرم در روز و در بازه دوم $987/87$ ، $1731/79$ ، $68/36$ ، $26/21$ و $33/49$ کیلوگرم در روز تعیین شد (۲۴). هادی‌پورنیک‌تراش و همکاران (۸) کیفیت آب رودخانه طالقان را با استفاده از مدل QUAL2Kw بررسی کردند، نتایج نشان داد، مقدار BOD در فصل پرآبی ۶ تا ۳۱ و در فصل کم آبی ۱۰ تا ۲۶ میلی‌گرم در لیتر بوده و آب این رودخانه در فصل پرآبی قلیایی‌تر از فصل کم‌آبی می‌باشد. در تحقیق دیگری میزان تأثیرپذیری اکسیژن محلول از ضریب هوادهی مورد بررسی قرار گرفت در این بررسی ضمن اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر از روش‌های عددی استفاده و میزان اکسیژن محلول مشاهده شده و برآوردشده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که روش آپ استریم (upstream) نسبت به سایر روش‌ها جواب بهتری می‌دهد (۱۶). ارزیابی

توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول در کیفیت آب رودخانه کر با انجام نمونه‌برداری مورد بررسی قرار گرفت، در این بررسی بیشترین مقدار اکسیژن محلول در ماه‌های اسفند و شهریور به ترتیب $7/5$ ، $7/85$ و کم‌ترین مقدار $5/59$ و $5/71$ بوده است (۱۴). حسینی مطلق و همکاران (۱۱) شبیه‌سازی پارامترهای کیفیت آب رودخانه بشار شهر یاسوج را با استفاده از مدل QUAL2E و نمونه‌برداری انجام دادند. بر اساس نتایج با توجه به میزان BOD در محدوده $0/76$ تا 1 میلی‌گرم در لیتر و مقدار DO در محدوده $7/8$ تا $9/2$ میلی‌گرم در لیتر شرایط رودخانه را از نظر کیفی مطلوب ارزیابی کردند. همچنین عدم قطعیت ضریب زوال اکسیژن‌خواهی را بر غلظت اکسیژن محلول در رودخانه زرجوب گیلان با استفاده از مدل QUAL2E بررسی شد. در این بررسی کاربرد روابط رایت و مک دونل (۲۵) جهت تعیین ضریب زوال توصیه شد (۳ و ۲۵). ترابیان و همکاران (۲۳) بررسی اثر برداشت آب بر کیفیت آب رودخانه پایین دست سد ماملو با استفاده از مدل QUAL2E و نمونه‌برداری میدانی مطالعه کردند. با توجه به نتایج بدست آمده کیفیت آب رودخانه در بالادست را با توجه به توان بالای خودپالایی رودخانه حاد ندانستند ولی در پایین‌دست رودخانه، به دلیل ورود دبی بالای پساب مجتمع پارچین نسبت به دبی رودخانه، کیفیت آب رودخانه را به شدت آلوده ارزیابی کردند. میزان حداکثر خودپالایی رودخانه‌ای در اندونزی را با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارزیابی با اندازه‌گیری COD و BOD در هفت ایستگاه به این نتیجه رسیدند که میزان حداکثر ظرفیت حمل BOD، $0/024$ تن در ساعت و برای COD، $0/96$ تن در ساعت بوده که میزان آلایندهی رودخانه کمتر از این مقدار می‌باشد (۲۰). دیاز و همکاران (۷) ضریب زوال و ضریب هوادهی رودخانه سینو در کلمبیا آمریکا را بررسی کردند. آنها در ۱۰ ایستگاه از رودخانه مذکور اندازه‌گیری پارامترهای BOD، DO، درجه حرارت و مشخصات هیدرولیکی رودخانه را انجام دادند و با استفاده از نتایج بدست آمده طبق رابطه استریتر فلپس (۲۲) مقدار ضریب

همچنین، برآورد ضریب زوال بر اساس آزمایش‌های میدانی در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، در راستای مطالعه میدانی و برآورد ضریب زوال رودخانه تالار از شمال کشور مؤلفین مقاله حاضر در اولین قدم طی پژوهشی بر مبنای روش استریتر فلپس و داده‌برداری میدانی در دو فصل بهار و تابستان مقادیر ضرایب زوال رودخانه تالار را برآورد و گزارش کردند (۱۸ و ۱۹)، در ادامه و در تکمیل مطالعه ذکر شده در مقاله حاضر بررسی تغییرات فصلی ضریب زوال رودخانه تالار بر اساس داده‌برداری میدانی در چهار فصل از سال ۱۳۹۷ انجام و علاوه بر آن شبیه‌سازی‌های مربوطه با رویکرد استریتر فلپس و به موازات آن کاربست مدل QUAL2Kw برای چهار فصل انجام و نتایج در مقاله حاضر ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

رودخانه تالار

حوضه آبریز رودخانه تالار از حوضه‌های کوهستانی شمال کشور است که از بخش‌های شمالی رشته کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد و رواناب آن به دریای خزر می‌ریزد. مساحت این حوضه آبریز ۲۸۵۵ کیلومتر مربع و طول آبراهه اصلی آن در محل اتصال به دریای خزر ۱۷۶/۵ کیلومتر است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های شرقی $35^{\circ} 44' 42''$ تا $35^{\circ} 35' 38''$ و عرض شمالی $53^{\circ} 23' 56''$ تا $52^{\circ} 35' 38''$ واقع شده است. شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه رودخانه تالار و نقاط نمونه‌برداری‌های انجام شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. مسیر طوری در نظر گرفته شد که ورودی و خروجی جریانی در این فاصله وجود نداشته باشد. شماره‌گذاری مقاطع در جهت جریان و به ترتیب از بالادست به سمت پایین دست (به سمت دریا) در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از رودخانه تالار در ۴ نوبت در سال ۱۳۹۷ و در اواسط هر فصل و از تمامی مقاطع انجام گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل DO، BOD، EC، pH، NO₃، فسفر (P)

زوال و هوادهی را بین ۰/۱ تا ۰/۳۸ برآورد کرده، همچنین، میزان آلودگی رودخانه را براساس پارامترها اندازه‌گیری شده تحلیل کردند (۷ و ۲۲). اکین و همکاران (۱) تأثیر تخلیه فاضلاب را روی کیفیت آب رودخانه وویا در نیجریه بررسی کردند. نتایج بدست آمده بیانگر تغییرات کیفی آب در فصل خشک و پرآبی بوده و مقدار BOD در فصل خشک بیشتر از فصل پر آبی بوده است. شچین و همکاران (۴) تحقیقی روی مقادیر اکسیژن محلول و ضرایب آن برای رودخانه ایک پوبا نیجریه انجام دادند. در این بررسی میزان ضریب زوال K_1 بیشتر از K_a محاسبه شد، مقدار ضریب هوادهی و ضریب زوال (K_1 و K_a) با استفاده از معادله تجربی که عمق و سرعت آب رودخانه و درجه حرارت دخالت داشته محاسبه شده است. حیدر و همکاران (۹) میزان اکسیژن محلول و نیاز اکسیژن بیولوژیکی و بیوشیمیایی را برای رودخانه-های بزرگ مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از رابطه استریتر فلپس استفاده کرده و ضمن مرور روابط تعیین BOD و DO در سال‌های مختلف با استفاده از میزان BOD و زمان مقدار ضریب زوال را تعیین کردند، همچنین به روابط تعیین ضریب زوال که تابعی از دبی، عمق آب و یا ترکیبی از سرعت و عمق که توسط پژوهشگران انجام گرفت اشاره کردند. رایت و مک‌دونل (۲۵) بر اساس داده‌های ۳۶ قطعه از رودخانه در آمریکا رابطه‌ای بین دبی و ضریب زوال ارائه کردند. هیدرو ساینس، رابطه‌ای بین عمق آب در رودخانه و ضریب زوال ارائه شد. پژوهشی در مورد تعیین ضریب زوال رودخانه ویلی میت از حوضه رودخانه کلمبیا با استفاده از اندازه‌گیری BOD در زمان‌های مختلف و رسم این پارامتر نسبت به زمان در کاغذ نیمه‌لگاریتمی انجام گرفت. در این پژوهش میزان ضریب زوال بین ۰/۹۸ تا ۰/۱۸۷ محاسبه شد (۶ و ۱۲).

با توجه به مرور پژوهش‌های انجام شده، بیشتر مباحث مطالعه شده مربوط به شبیه‌سازی پارامترهای DO، BOD، COD و pH بوده که با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام شده است. در ضمن، پارامترهای مورد نظر تحلیل و در نهایت وضعیت خودپالایی رودخانه در فصول مختلف با توجه به میزان دبی بحث شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی رودخانه تالار و نقاط نمونه برداری

گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل در محیط ماکروسافت ویندوز اجرا می‌شود و می‌تواند رودخانه را به صورت مجموعه‌ای از آبراهه‌ها شبیه‌سازی نماید. این مدل رودخانه را به بازه‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرده و معمولاً از بالادست به پایین شماره‌گذاری می‌شود و منابع آلودگی نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای می‌توانند در هر قسمت از رودخانه وارد و یا خارج شوند (۱۷). این مدل برای هر یک از شاخه‌های فرعی همانند شاخه اصلی می‌تواند شبیه‌سازی را انجام داده و برای هر بازه نتایج بصورت مجزا نشان دهد. این مدل قادر به شبیه‌سازی دما، pH، هدایت الکتریکی (EC)، جامدات معلق معدنی، اکسیژن محلول، نیتروژن آمونیاکی NH_3 ، نیتروژن نیتراتی (NO_3)، فسفر آلی (PO_4) است که روابط حاکم بر مدل بر اساس رابطه عمومی موازنه جرم برای جزء اصلی در ستون آب برای بازه i به شکل رابطه ۲ است (۲):

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hvp,i}}{V_i} (c_{2,i} - c_i)_i$$

و درجه حرارت می‌باشد. نمونه برداری‌ها، آنالیز نمونه‌ها و انجام آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌ها با امکانات و تجهیزات آزمایشگاه کیفیت آب دانشگاه تهران و آزمایشگاه اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز انجام گرفت. علاوه بر آن مشخصات هیدرولیکی رودخانه در مقاطع ذکر شده شامل عمق جریان، سرعت و دبی اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده رودخانه تالار در جدول (۱) ارائه شده است.

تعیین ضریب زوال از مدل تحلیلی استریتر فلیس

مدل تحلیلی استریتر فلیس به فرم رابطه زیر می‌باشد (۲۲):

$$D_t = \frac{k_c}{k_a - k_c} L_a (e^{-k_c t} - e^{-k_a t}) + D_a e^{-k_a t} \quad (1)$$

در رابطه بالا D_t : مقدار کمبود اکسیژن محلول در لحظه t ; D_a : کمبود اکسیژن محلول اولیه ($t=0$); k_c : ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، k_a : ضریب هواذهی اتمسفری، L_a : غلظت اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی اولیه می‌باشد. مقادیر k_c با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده، از روش معکوس محاسبه شده است.

مدل QUAL2Kw

مدل QUAL2Kw از مدل‌هایی است که امروزه به‌طور

جدول ۱. مقادیر پارامترهای کیفیت آب رودخانه تالار سال ۹۷

| مقطع ۵ | مقطع ۴ | مقطع ۳ | مقطع ۲ | مقطع ۱ | فصل | پارامتر |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------------------------|
| ۸/۲۱ | ۷/۹۵ | ۷/۵۹ | ۷/۱ | ۶/۵ | بهار | DO (mg/L) |
| ۵/۶۳ | ۵/۴۴ | ۵/۱۷ | ۴/۸۱ | ۴/۷۲ | تابستان | |
| ۷/۴۸ | ۷/۳۸ | ۷/۳۹ | ۷/۳۷ | ۷/۰۷ | پاییز | |
| ۶/۹۲ | ۷/۰۱ | ۶/۹۶ | ۶/۸۹ | ۶/۸۱ | زمستان | |
| ۳ | ۳/۴ | ۳/۹ | ۵/۱ | ۶/۳ | بهار | BOD ₅ (mg/L) |
| ۵/۵ | ۶/۵ | ۸/۵ | ۹/۳ | ۹/۷ | تابستان | |
| ۱/۹۰ | ۱/۸۳ | ۱/۷۳ | ۱/۸۷ | ۲/۰۸ | پاییز | |
| ۲/۵۰ | ۲/۴۱ | ۲/۸۳ | ۲/۹۶ | ۳/۰۳ | زمستان | |
| ۹۸۸ | ۹۹۹ | ۱۰۰۹ | ۱۰۱۲ | ۱۰۱۸ | بهار | EC (μs/cm) |
| ۱۰۲۱ | ۱۰۱۱ | ۹۹۱ | ۹۸۳ | ۹۷۱ | تابستان | |
| ۱۰۸۰ | ۱۰۹۱ | ۱۰۸۳ | ۱۰۹۳ | ۱۰۹۹ | پاییز | |
| ۶۱۱ | ۵۹۹ | ۶۱۳ | ۶۲۳ | ۶۲۲ | زمستان | |
| ۷/۱۷ | ۷/۲۰ | ۷/۲۱ | ۷/۳ | ۷/۰۱ | بهار | pH |
| ۷/۵۵ | ۷/۵۳ | ۷/۴۸ | ۷/۴۱ | ۷/۳۳ | تابستان | |
| ۷/۷۰ | ۷/۶۷ | ۷/۶۴ | ۷/۵۷ | ۷/۵۶ | پاییز | |
| ۶/۷۹ | ۶/۷۳ | ۶/۶۲ | ۶/۶۵ | ۶/۹۷ | زمستان | |
| ۲/۹ | ۳/۳ | ۴/۴ | ۳/۹ | ۲/۷ | بهار | نیترات (mg/L) |
| ۱/۹ | ۲/۸ | ۱/۷ | ۲/۲ | ۳/۱ | تابستان | |
| ۴/۶ | ۴/۶ | ۴/۷ | ۴/۸ | ۵/۰ | پاییز | |
| ۴/۹ | ۵/۴ | ۱/۵ | ۳/۱ | ۱/۹ | زمستان | |
| ۰/۳۶۳ | ۰/۱۸۱ | ۰/۱۴۶ | ۰/۱۱۳ | ۰/۱۱۹ | بهار | فسفر (mg/L) |
| ۰/۶۸۰ | ۰/۶۳۴ | ۰/۵۱۹ | ۰/۳۸۶ | ۰/۴۱۹ | تابستان | |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | پاییز | |
| ۰/۷۶۸ | ۰/۴۳۵ | ۰ | ۰ | ۰/۰۵۱ | زمستان | |
| ۱۹ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۰ | ۱۹ | بهار | T (درجه آب سانتی گراد) |
| ۳۰ | ۳۰ | ۳۰ | ۳۱ | ۳۱ | تابستان | |
| ۱۴ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۵ | پاییز | |
| ۱۰ | ۹ | ۹ | ۱۰ | ۱۰ | زمستان | |

که مقدار اخیر یک مقدار بحرانی است. همچنین، بیشترین مقدار BOD رودخانه تالار در فصل تابستان و مساوی ۷/۹ و در بقیه فصول میزان آن بین ۱/۸۸ تا ۴/۳۴ میلی گرم در لیتر است. میزان میانگین تغییرات EC در این رودخانه بین ۶۱۴ تا ۱۰۸۹ میکروموس بر سانتی متر بوده است، که به طور متوسط بیشترین آن ۱۰۸۹ میکروموس بر سانتی متر مربوط به فصل پاییز است. میزان تغییرات pH در رودخانه تالار بسیار کم بوده و میانگین این پارامتر در فصول مختلف بین ۶/۷۵ تا ۷/۶۳ است که بیشترین آن ۷/۶۳ مربوط به فصل پاییز می باشد. میزان نترات در رودخانه تالار چشمگیر است که بیشترین میانگین نترات در این رودخانه مربوط به فصل پاییز و ۴/۷ میلی گرم در لیتر است. کمترین مقدار نترات در فصل تابستان ۲/۳ میلی گرم در لیتر بوده است. میزان میانگین فسفر در رودخانه تالار در تمامی فصول کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر بوده است. بیشترین مقدار فسفر در رودخانه تالار ۰/۵۲۸ میلی گرم در لیتر مربوط به فصل تابستان و کمترین مقدار مربوط به فصل پاییز و صفر است.

شبیه سازی و واسنجی پارامترهای کیفی رودخانه با کاربرد

مدل Qual2kw

پارامترهای کیفی اندازه گیری شده در رودخانه تالار با استفاده از مدل QUAL2Kw شبیه سازی شده و برای واسنجی مدل نیز از روش واسنجی خودکار و دستی که با استفاده از الگوریتم ژنتیک موجود در مدل انجام شده است. با معلوم بودن عوامل و متغیرهای بیرونی مدل مانند دبی جریان، زمان حرکت، شرایط مرزی و شرایط زیست محیطی، تخمین اولیه ای از نرخ های مناسب در مدل بدست می آید. در صورتی که گستره این مقادیر مشخص باشد بهترین مقادیر را برای هر یک تخمین زده و مدل با آن اجرا می شود و خروجی های مدل با داده ها مقایسه می شود. جهت دستیابی به تطابق کافی و منطقی خروجی های مدل و داده ها لازم است تکرار و تصحیح های پی در پی انجام گیرد. پس از ورود داده های نمونه های انجام شده و همچنین ورود اطلاعات مشخصات هیدرولیکی، و واسنجی مدل نتایج حاصل

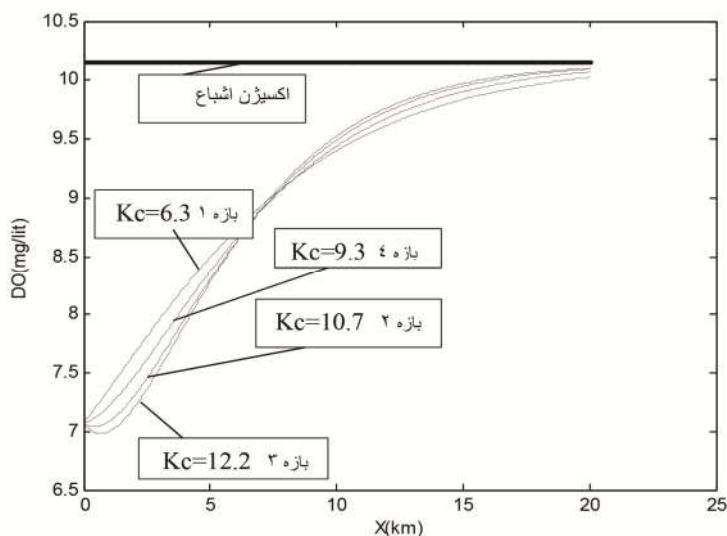
در رابطه C_i و C_{i+1} و C_{i-1} به ترتیب غلظت آب سطحی در بازه i و $i+1$ و $i-1$ و C_2 غلظت در ناحیه زیستی زیر رسوبات به میلی گرم در لیتر و Q_i ها نیز دبی خروجی در بازه مورد نظر و همچنین V_i ها نیز حجم بازه به مترمکعب و E'_i هم ضریب پخش حجمی بین بازه ها و $E'_{hyp,i}$ هم ضریب پخش حجمی بین ناحیه زیستی زیر رسوبات به مترمکعب و S_i منابع و مصارف از حجم بازه در نتیجه واکنش و انتقال جرم به میلی گرم بر لیتر در روز و W_i بار خروجی در بازه به میلی گرم در روز می باشد (۲۱).

ارزیابی دقت پیش بینی مدل

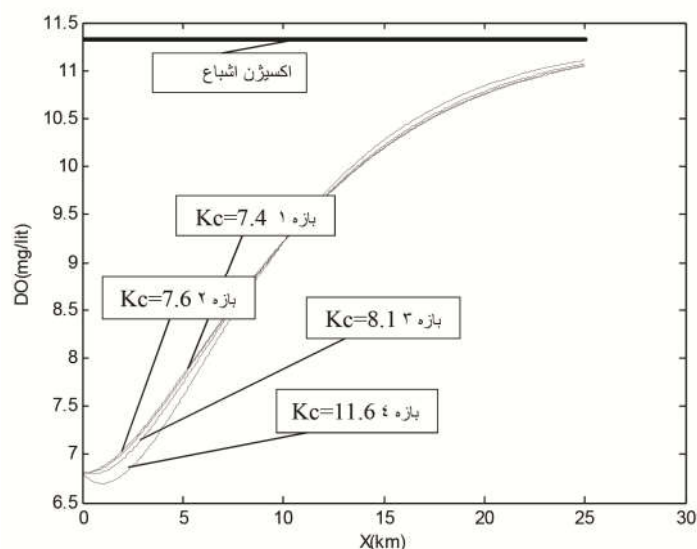
در بررسی دقت خروجی های مدل QUAL2Kw، به منظور تعیین مقدار خطای بین داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده در مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل از شاخص های میانگین مجذور خطا (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE)، ضریب تغییرات میانگین مجذور خطا (CVRMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (۱۰).

نتایج

در تحقیق صادقی و همکاران (۱۲) با روش استریتر فلپس و بر مبنای داده های میدانی در دو فصل بهار و تابستان مقادیر ضریب زوال رودخانه تالار برآورد و گزارش شد. در مقاله حاضر با تکمیل مطالعات میدانی برای چهار فصل ۱۳۹۷ نیز تغییرات فصلی ضریب زوال رودخانه تالار با رویکرد استریتر فلپس و هم به موازات آن با کاربرد نرم افزار QUAL2Kw برآوردها انجام و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. تغییرات اکسیژن محلول در مقایسه با ضریب زوال در بازه های مطالعه شده رودخانه در شکل های ۲ و ۳ ارائه شده است (همچنین به شکل ۱ نگاه شود). بر اساس نتایج، مقدار اکسیژن محلول رودخانه تالار در تمامی فصول بجز فصل تابستان، بین ۶/۹۲ تا ۷/۴۷ میلی گرم در لیتر متغیر می باشد. در فصل تابستان نیز مقدار اکسیژن محلول برابر ۵/۱۵ میلی گرم در لیتر ثبت شد



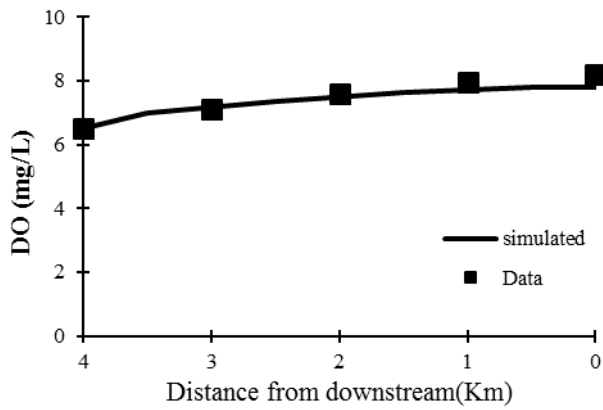
شکل ۲. تغییرات اکسیژن محلول رودخانه تالار و ضریب زوال در بازه‌ها، استریت‌ر فلپس (پاییز ۹۷)



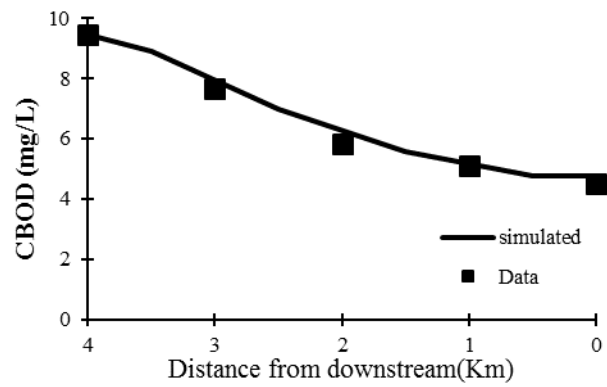
شکل ۳. تغییرات اکسیژن محلول رودخانه تالار و ضریب زوال در بازه‌ها، استریت‌ر فلپس، آزمایش چهارم (زمستان ۹۷)

استاندارد نشان می‌دهد، که میزان RMSE رودخانه تالار بین ۸/۴۴۹ تا ۰/۲۵ و مقدار CVRMSE% آن بین ۲۵/۴۱ تا ۰/۱۹ درصد متغیر بوده که بیانگر دقت بیشتر در اجرا مدل می‌باشد (۱۰). با توجه به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده از مدل QUAL2Kw و واسنجی مشخص شد که ضریب زوال رودخانه حساسیت بیشتری به ضریب بازه‌آلودگی، مشخصات هیدرولیکی، اکسیژن محلول و BOD دارد، بر این

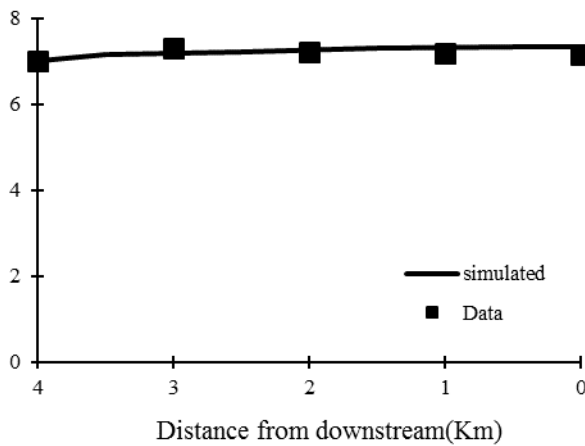
از شبیه‌سازی پارامترهای DO، CBOD، EC و pH در شکل‌های ۴ تا ۱۹ نشان داده شده است. با توجه به توضیحات فوق جهت ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های مدل، میزان خطاهای داده‌های مشاهداتی و مدل برای پارامترهای DO، BOD، EC، pH و درجه حرارت تعیین و نتایج حاصل در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در شبیه‌سازی و بررسی تغییرات مقادیر پارامترهای خطای



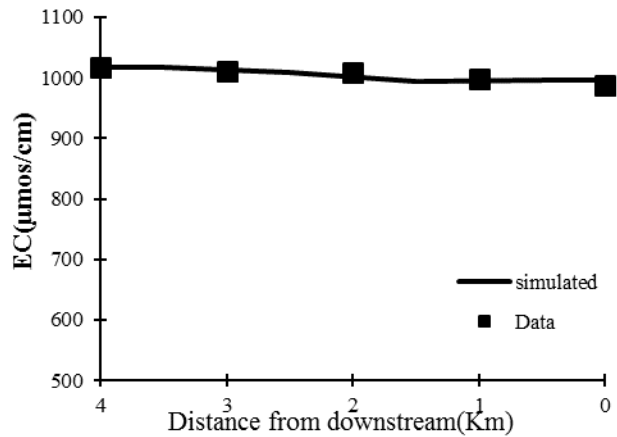
شکل ۵. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی DO بهار ۹۷



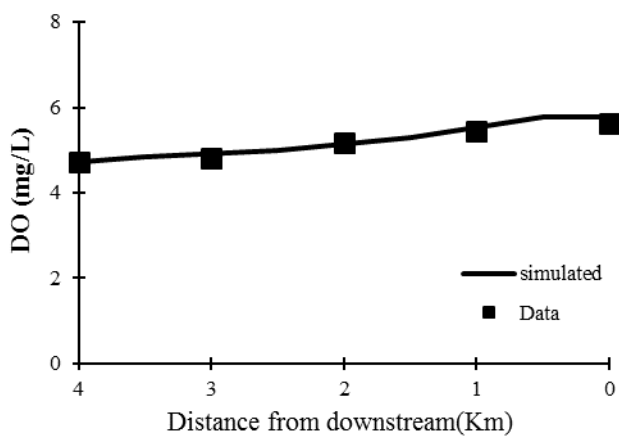
شکل ۶. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی CBOD بهار ۹۷



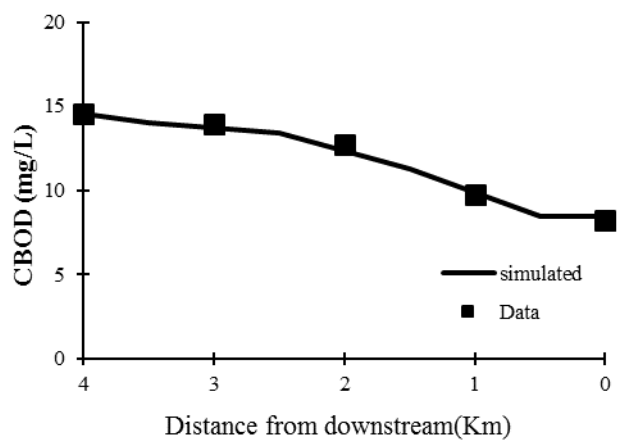
شکل ۷. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی pH بهار ۹۷



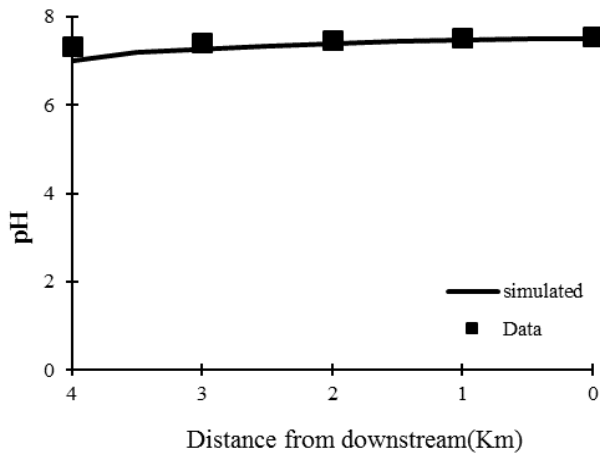
شکل ۸. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی EC بهار ۹۷



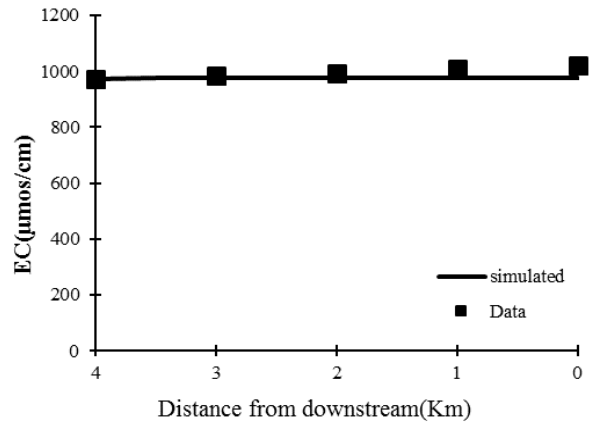
شکل ۹. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی DO تابستان ۹۷



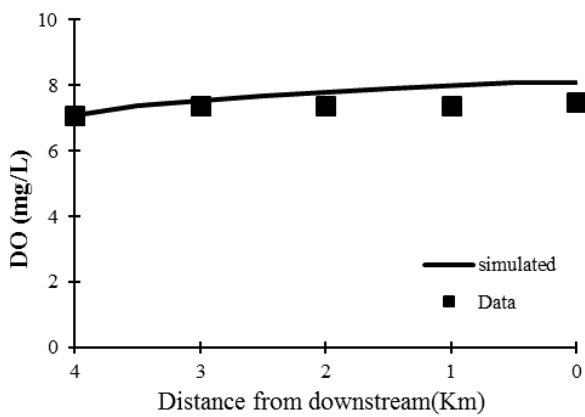
شکل ۱۰. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی CBOD تابستان ۹۷



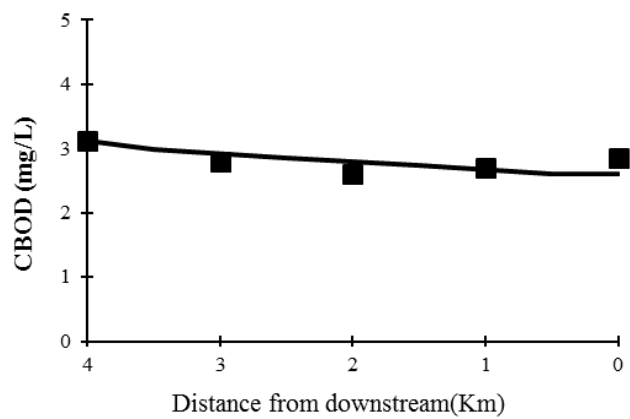
شکل ۱۱. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی pH تابستان ۹۷



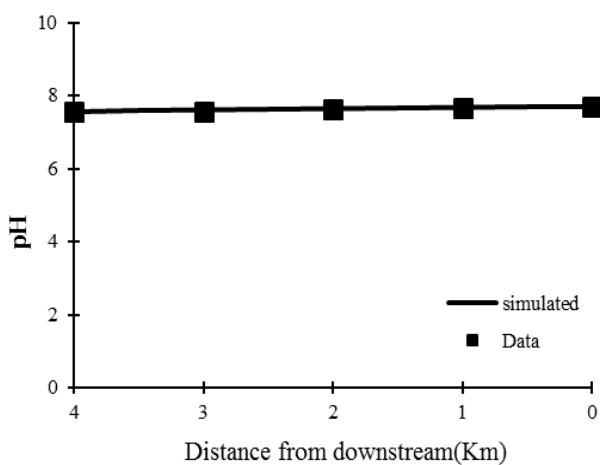
شکل ۱۰. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی EC تابستان ۹۷



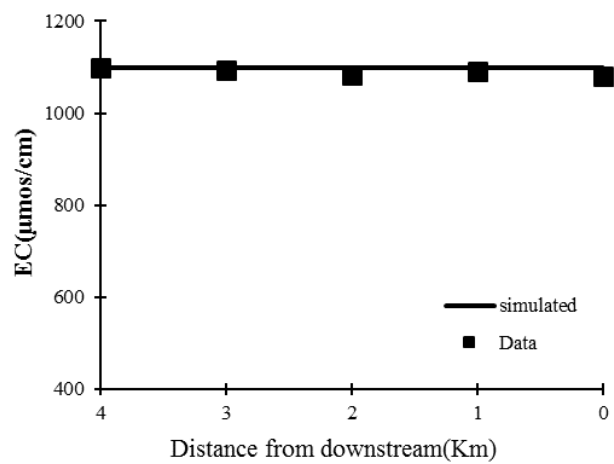
شکل ۱۳. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی DO پاییز ۹۷



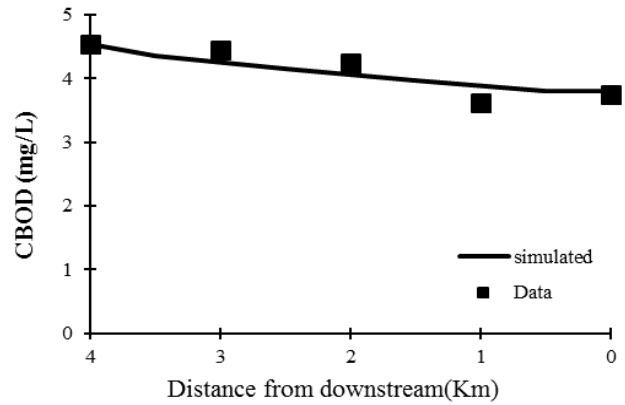
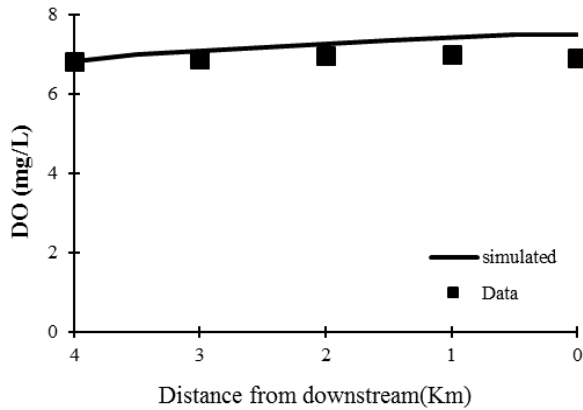
شکل ۱۲. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی CBOD پاییز ۹۷



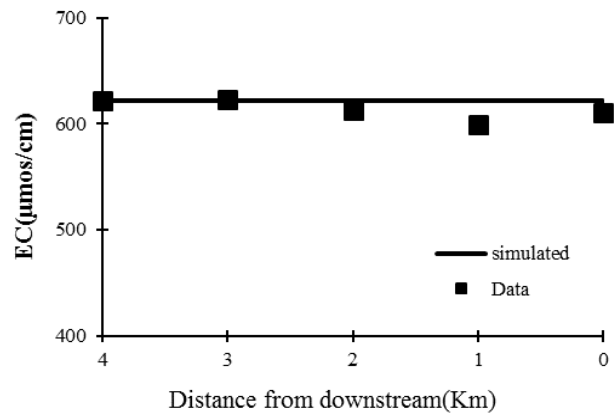
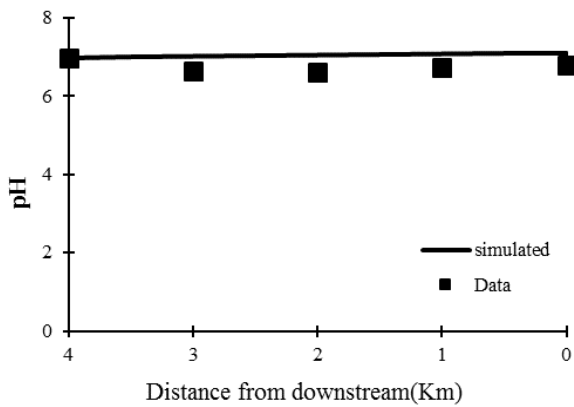
شکل ۱۵. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی pH پاییز ۹۷



شکل ۱۴. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی EC پاییز ۹۷



شکل ۱۶. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی CBOD زمستان ۹۷ / شکل ۱۷. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی DO زمستان ۹۷



شکل ۱۸. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی EC زمستان ۹۷ / شکل ۱۹. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی pH زمستان ۹۷

جدول ۲. ارزیابی نتایج مدل، رودخانه تالار در بهار و تابستان ۹۷

| پارامتر | فصل | RMSE | MBE | CVRMSE% | R ² |
|--------------|---------|-------|--------|---------|----------------|
| DO (mg/L) | بهار | ۰/۲۱۶ | -۰/۱۳ | ۲/۸۹۶ | ۹۶/۶ |
| | تابستان | ۰/۰۸۹ | ۰/۰۶ | ۱/۷۳۱ | ۹۷/۸ |
| BOD (mg/L) | بهار | ۰/۴۷۲ | ۰/۳۷ | ۷/۲۵۶ | ۹۷/۶ |
| | تابستان | ۰/۲۴۶ | -۰/۰۵ | ۲/۰۷۵ | ۹۹/۴ |
| EC (µmos/cm) | بهار | ۶/۳۳۵ | -۲/۴۹ | ۰/۶۳ | ۶۹/۷ |
| | تابستان | ۲۵/۴۱ | -۱۹/۴۵ | ۲/۵۵۳ | ۶۱/۸ |
| pH | بهار | ۰/۱۰۸ | ۰/۰۵ | ۰/۴۹۹ | ۳۶/۸ |
| | تابستان | ۰/۱۶ | -۰/۱۳ | ۲/۱۶۷ | ۹۶/۲ |
| T (°C) | بهار | ۰/۶۱۳ | -۰/۰۲ | ۳/۱۵۸ | ۶/۹ |
| | تابستان | ۰/۹۸۷ | -۰/۸۵ | ۳/۲۴۵ | ۷۵/۲ |

جدول ۳. ارزیابی نتایج مدل، رودخانه تالار در پاییز و زمستان ۹۷

| پارامتر | فصل | RMSE | MBE | CVRMSE% | R ² |
|--------------|--------|-------|--------|---------|----------------|
| DO (mg/L) | پاییز | ۰/۴۳۵ | ۰/۳۶ | ۵/۹۲۹ | ۸۴/۴ |
| | زمستان | ۰/۳۵ | ۰/۲۹ | ۵/۰۶۶ | ۶۷/۱ |
| BOD (mg/L) | پاییز | ۰/۱۵۱ | ۰/۰۰۸ | ۵/۳۵۷ | ۴۲/۴ |
| | زمستان | ۰/۱۶۶ | -۰/۰۱۲ | ۴/۰۳۹ | ۸۳/۴ |
| EC (μmos/cm) | پاییز | ۱۱/۹۷ | ۹/۸ | ۱/۰۹۹ | ۹۹/۹ |
| | زمستان | ۱۲/۱ | ۸/۴ | ۱/۹۷۲ | ۹۹/۹ |
| pH | پاییز | ۰/۰۱۹ | ۰ | ۰/۲۵ | ۸۸/۱ |
| | زمستان | ۰/۳۲۷ | ۰/۲۹ | ۴/۸۴۱ | ۲۴/۹ |
| T (°C) | پاییز | ۰/۳۴۲ | ۰/۲۳ | ۲/۳۱ | ۷/۷۱ |
| | زمستان | ۰/۸۱۱ | ۰/۶۰ | ۸/۴۴۹ | ۱۴/۸ |

پارامترها و مشخصات هیدرولیکی رودخانه است. در فصل تابستان به دلیل افزایش BOD و کاهش اکسیژن محلول میزان ضریب زوال از روش مدل QUAL2Kw به ۷/۷ (یک بر روز) کمترین افزایش یافته ولی در بقیه فصول کاهش یافته است. کمترین مقدار ضریب زوال از این روش ۲ (یک بر روز) و مربوط به فصل پاییز می‌باشد. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در رودخانه تالار بدلیل بستر سنگلاخی و وجود جهش‌های آبی ضریب بازهوادی افزایش یافته که این عامل باعث افزایش توان خودپالایی این رودخانه شده است. میزان ضریب زوال بدست آمده برای رودخانه‌های دیگر که در بررسی منابع اشاره شد اغلب کمتر از ۱ بوده است، هر چند که دیاز و همکاران (۷) آنرا بین ۰/۱ تا ۰/۳۸ و زانگ و همکاران (۲۶) بین ۰/۱ تا ۰/۲۵، شجین و همکاران (۴) بین ۰/۷۲ تا ۰/۸۴ (یک بر روز) برآورد کرده‌اند که با نتایج مقاله حاضر همخوانی دارد و علت اختلاف جزئی موجود تفاوت در مقادیر BOD، ضریب بازهوادی و میزان درجه حرارت می‌باشد. میزان ضریب زوال بدست آمده از روش استریتر فلپس در مقایسه با روش QUAL2Kw متفاوت است، با توجه به ارقام جدول ۴ میزان تغییرات ضریب زوال از دو روش در فصل پاییز و زمستان اختلاف بیشتری دارد. معادله

اساس مقدار نهایی ضریب زوال بدست آمده از مدل QUAL2Kw در هر آزمایش بشرح جدول ۴ نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که در محدوده اندازه‌گیری شده، میزان اکسیژن محلول در رودخانه تالار در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان زیاد بوده و میانگین آن در این سه فصل بین ۶/۹۲ تا ۷/۴۷ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند ولی در تابستان میزان اکسیژن محلول به ۵/۱۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته است. همچنین، نمودار مربوط به اکسیژن محلول در طول رودخانه تالار از روش استریتر فلپس نشان می‌دهد که بیشترین افت اکسیژن محلول مربوط به فصل تابستان بوده که از ۴/۷۲ به ۴/۴ میلی‌گرم در لیتر افت کرده است که در این فصل شرایط رودخانه از نظر اکسیژن محلول بحرانی می‌باشد. میزان میانگین BOD در فصل تابستان نیز نسبت به سایر فصول بیشتر است، در تابستان میزان میانگین این پارامتر ۷/۹ میلی‌گرم در لیتر بوده است. در سایر فصول نیز تغییرات BOD بین ۱/۸۸ تا ۴/۳۴ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. میزان ضریب زوال نیز تحت تأثیر این

جدول ۴. مقادیر ضریب زوال رودخانه تالار با استفاده از مدل QUAL2Kw و استریتر فلپس (یک بر روز)

| آزمایش (۱۳۹۷) | بهار | تابستان | پاییز | اسفند |
|--------------------------|------|---------|-------|-------|
| تالار (QUAL2Kw) | ۲/۵ | ۷/۷ | ۲/۰ | ۲/۸ |
| تالار (مدل استریتر فلپس) | ۱/۵۷ | ۶/۱۱ | ۹/۶۳ | ۸/۶۸ |

استریتر فلپس در یک سیستم یک‌بعدی و بصورت یک معادله دیفرانسیل خطی با فرض جریان دائمی بدست آمده است که تغییر در کمبود اکسیژن را برابر اختلاف در دو نرخ از اکسیژن‌زدایی و بازهوادی در نظر گرفته است و از مزایای اصلی آن مشخص کردن نقاط بحرانی کمبود اکسیژن محلول می‌باشد.

در صورتی که مدل QUAL2Kw، براساس رابطه عمومی موازنه جرم محاسبات را انجام می‌دهد و پارامترهای بیشتری را در محاسبات در نظر می‌گیرد، بنابراین، پیشنهاد می‌شود از ارقام این روش در مطالعات استفاده شود.

منابع مورد استفاده

- Akpen, G. D., E. J. Ekanem and J. C. Agunwamba. 2016. The Effects of Sewage Effluent Discharges on the Water Quality of Wupa River in ABUJA, NIGERIA. *Journal of Science and Technology* 36(2): 86-95.
- Ashegh Moala, M. 2016. Simulation of River Water Quality with QUAL2Kw Model. First Edition, Talab Publications (In Farsi).
- Askari Shahi, M., S. Hashemi and T. Ebadi. 2008. Effect of Decay Coefficient uncertainty on the results of zarjoob river water quality modeling. *Journal of Environmental Studies* 34(45): 23-30.
- Chiejine, C. M., A. C. Igboanugo and L. I. N. Ezemonye. 2015. Modelling Effluent Assimilative Capacity of Ikpoba River, Benin City, Nigeria. *Nigerian Journal of Technology* 34(1): 133-141.
- Dezfooli, D., S. M. Hosseini-Moghari, K. Ebrahimi and S. Araghinejad. 2017. Classification of water quality status based on minimum quality parameters: application of machine learning techniques. *Modeling Earth Systems and Environment* 70(3): 583-595.
- Enk, J. W. 1961. Determination of the Deoxygenation Coefficients Willamette River. Working pp 17.
- Díaz, F. J. J., D. Náder Salgado and S. J. Meza Pérez. 2017. Deoxygenation and re-aeration rates of the Sinu river. *Ingeniería y Desarrollo* 35(1): 8-17.
- Hadipour Niktarash, P., H. Ghodousi and K. Ebrahimi 2016. Simulation and evaluation of seasonal variations of water quality in Taleghan river using a mathematical model. *Journal of Water and Soil Science* 22(4): 399-410.
- Haider, H., W. Al and S. Haydar. 2013. A review of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand models for large rivers. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences* 9(12): 127-142.
- Hengl, T., G. B. Heuvelink and A. Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma* 120(1): 75-93.
- Hossaini Motlagh, S., M. Amin, N. Jafarzade Haghghi and H. Kashkoli. 2010. Using QUAL2E model for predicting of Dissolve Oxygen (DO) in Bashar River in the distance of the Yassoj City. In: 13th National Conference on Environmental Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.
- Hydroscience, Inc. 1971. Simplified Mathematical Modeling of Water Quality. Prepared for the Mitre Corporation and the USEPA, Water Programs, Washington DC, USA.
- Jamshidi, S. and M. Niksokhan. 2015. Waste load allocation in Sefidrud using water quality trading. *Water and Irrigation Management* 5(2): 243-259.
- Khodam Mohammadi, M. and F. Boustani. 2016. Evaluation of Self-Purification Potency and the Role of Dissolved Oxygen in the Kor River Water Quality (Case study: Downstream of Doroodzan Dam to Tashk-Bakhtegan Lake). *Journal Management System* 9(30): 87-96.
- Mirzaei, M., E. Solgi and A. Salman Mahini. 2016. The relationship between water quality parameters and land use changes (Zayandehrood basin). *Water and Irrigation Management* 6(2): 175-191.

16. Mohammadi Ghaleni M., K. Ebrahimi and M. Omid. 2015. Estimation of reaeration rate coefficient on Dinachal river using empirical equations and numerical methods, in water quality management. *Water and Irrigation Management* 5(1): 69-79.
17. Mohammadi Ghaleni, M. 2015. Investigation of effectiveness of the longitudinal dispersion coefficient, decay rate and reaeration on the river assimilative capacity Index. Ph.D. Dissertation, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran, Tehran, Iran.
18. Sadeghi-Talarposhti, R., K. Ebrahimi and A. H. Hoorfar. 2019. Determination of Decay Rate of Pollution in Talar and Babolrood Rivers. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 10(4): 82-95.
19. Sadeghi-Talarposhti, R., K. Ebrahimi, A. H. Hourfar and S. H. Hoseini-Ghafari. 2019. Determination of rate of pollution decay coefficient in Talar River, IRAN. In: The 11th World Congress on Water Resources and Environment (EWRA), Madrid, Spain.
20. Setiawan, A. D., M. Widyastuti and M. P. Hadi. 2018. Water quality modeling for pollutant carrying capacity assessment using Qual2Kw in Bedog river. *The Indonesian Journal of Geography* 50(1): 49-56.
21. Standard No. 481 of 2009 Rivers Self-Purpose Capacity Studies Guide, Vice President of Strategic Planning and Supervision.
22. Streeter, H.W. and E. B. Phelps. 1925. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. U.S. Public Health Service, Bulletin No. 146.
23. Torabian, A., H. Hashemi, R. Khalili and S. Ferdosipour. 2004. An investigation of water withdrawal effect in Mamloo dam site on water quality of downstream river by QUAL2E model. *Journal of Environmental Studies* 30(35): 69-76.
24. Vanaie, A., S. Marofi and A. Azari. 2018. Self-purification of interval mountainous Abbas Abad River of Hamedan. *Journal of Environmental Studies* 4(43): 727-742.
25. Wright, R. M. and A. J. McDonnell. 1979. In stream deoxygenation rated prediction. *Journal of the Environmental Engineering Division ASCE* 105: 323-335.
26. Zhang, Y., H. Yang and Z. Wang. 2016. Simulating Water Quality of Wei River with QUAL2K Model, a case study of Hai River basin in China. In: The 3rd International Conference on Industrial Engineering and Applications, Hong Kong, China.

Assessment of Seasonal Variations of Pollutant Decay Coefficient of Talar River

R. Sadeghi Talarposhti, K. Ebrahimi* and A. H. Hoorfar¹

(Received: August 6-2020; Accepted: March 9-2021)

Abstract

Protection of rivers' water quality as the most accessible source of the water supply has always been considered. In this paper, self-purification and the pollution decay coefficient values of Talar River, IRAN were studied based on field measurement of DO, BOD, pH, EC, Nitrate, Phosphate, and Temperature, in four seasons of the year 2018, in tandem with the river simulation and its calibration using QUAL2Kw model and the Streeter-Phelps method. In addition to the modeling and analysis results, the measured laboratory data values of the river water samples are also presented. Based on the results, the DO variations were ranged from 5.15 in summer to 7.47 mg/l in spring and BOD variations ranged from 1.88 in fall to 7.9 mg/l in summer. Also, according to the Streeter-Phelps method the decay coefficient values varied from 1.57 (1/day) in spring to 9.63 (1/day) in fall. The values of the Talar River decay coefficient also varied from 2 in fall to 7.7 (1/day) in summer involving the QUAL2Kw model.

Keywords: Dissolved Oxygen, BOD, Coefficient of reaeration, Talar River, Decay coefficient

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

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