



تعیین ضریب زوال آلودگی رودخانه‌های تالار و بابلرود

رستم صادقی تالارپشتی^۱ کیومرث ابراهیمی^{۲*}؛ عبدالحسین هورفر^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰

مقاله برگرفته از پایان نامه دکترا

چکیده

برآورد دقیق ضریب زوال آلودگی با توجه به تاثیر آن در م صرف اکسیژن محلول رودخانه‌ها از موارد مهم در مدیریت کیفیت منابع آب است. هدف مقاله حاضر برآورد ضریب زوال دو رودخانه تالار و بابلرود با اندازه‌گیری‌های میدانی و تدقیق روابط تجربی پرکاربرد در دو فصل بهار و تابستان است. پارامترهای کیفی شامل DO، BOD، pH، EC، نیترات، فسفات و درجه حرارت در رودخانه تالار در ۵ ایستگاه به طول مقادیر ۴ کیلومتر و در بابلرود در ۳ ایستگاه به طول کل ۲/۸ کیلومتر در ماههای اردیبهشت و مرداد ۱۳۹۷ اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس برآورد ضریب زوال با استفاده از مدل تحلیلی استریتر فلیس برآورد شد. بر اساس نتایج در هر دو رودخانه مقدار ضریب زوال در تابستان بیشتر از بهار است. مقدار متوسط ضریب زوال در رودخانه تالار در فصل بهار ۱/۵۷ و در تابستان ۶/۱۱ و در بابلرود، در بهار ۱/۲ و در تابستان ۸/۳۴ (1/day) محاسبه شد. همچنین بر اساس تغییرات شیب نمودار اکسیژن محلول بدست آمده در هر دو رودخانه، در فصل بهار اکسیژن محلول مقادیر بیشتر (متوسط تالار ۷/۴۷ و بابلرود ۷/۵۸ میلی‌گرم در لیتر) و در تابستان مقادیر کمتری (متوسط تالار ۵/۱۵ و بابلرود ۵/۹۳ میلی‌گرم در لیتر) داشته است. در رودخانه تالار مقدار BOD در فصل بهار ۴/۳۴ و در تابستان ۷/۹ میلی‌گرم در لیتر و در بابلرود در بهار ۲/۹ و در تابستان ۳/۲ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده که نشان دهنده افزایش آلاینده‌ها در فصل تابستان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استریتر-فلیس، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن محلول، بازه‌دهی، خودپالایی

^۱ - دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، Rostam.Sadeghi@ut.ac.ir

^{۲*} - استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، (EbrahimiK@ut.ac.ir)، نویسنده مسئول

^۳ - استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، Hoorfar@ut.ac.ir

مقدمه

استفاده بهینه از پتانسیل رودخانه‌های کشور از مسائلی است که دارای اهمیت خاصی می باشد در این خصوص ضمن مبادرت به تولید و اشتغال بایستی به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود تا استانداردهای زیست محیطی رعایت شود و از آلودگی آب رودخانه‌ها جلوگیری شود. امروزه بسیاری از رودخانه‌های کشورمان در معرض آلودگی قرار دارند، و حتی تا مرز بحران هم پیش رفته‌اند، از علل آلودگی این رودخانه‌ها می توان به پساب کارخانه‌ها، زباله‌ها و فاضلابهای شهری و مواد نفتی و روغنی و کودهای کشاورزی اشاره کرد، (Oguzie و همکاران ۲۰۱۰). رودخانه‌ها دارای ظرفیت مشخصی از خودپالایی هستند و اگر افزایش آلاینده‌ها، بیش از ظرفیت خودپالایی آن باشد، مشکلات زیست محیطی در آن پدیدار می شود، لذا شناخت اولیه از انواع مختلف آلاینده‌ها و منابع مختلف رودخانه کمک می کند تا در همان مراحل اولیه پی به نوع آلودگی برده و از موثرترین برنامه‌ها و کم هزینه ترین آن جهت اقدام اجرایی استفاده شود (Hoskins و همکاران ۱۹۲۷).

در این راستا محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۴)، توان خودپالایی رودخانه‌ها را با توجه به میزان تاثیر پذیری اکسیژن محلول و سه ضریب هوادهی، ضریب پخش طولی و ضریب زوال مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از داده‌های رودخانه سفیدرود و یک کانال بتنی (به عنوان مدل فیزیکی استفاده نمودند، ایشان همچنین از مدل QUAL2Kw و کاربرد تکنیک‌های عددی در قالب برنامه‌نویسی کامپیوتری استفاده نمودند و نتایج نشان داد که رابطه‌های پارخواست و پومروی- (۱۹۷۲)، باچلر و لازو (۱۹۹۹) و اکونر و دوبینز (۱۹۵۸) بهترین روابط در تخمین ضرایب رودخانه سفیدرود از بین روابط مورد مطالعه هستند. عامل مهم برای شبیه سازی آلاینده‌ها انتخاب مدل ریاضی مناسب و تخمین مقدار دقیق پارامترهای مدل می باشد (گلکان و نژادیانی ۱۳۹۴).

همچنین انصاری پور و همکاران (۱۳۹۲)، خودپالایی

رودخانه پسیخان گیلان را با توسعه و کاربرد مدل‌های ریاضی مورد بررسی قرار دادند. ایشان با روش‌های عددی FTCS، Lax & Wendroff، Upstream، QUICKEST و رابطه کلاسیک استریتر فلپس مقدار پارامتر کیفی اکسیژن محلول رودخانه را شبیه‌سازی نمودند و نتایج تمام روش‌های عددی بکار گرفته شده را با دقت خوب ارزیابی نمودند. ولی روش Upstream را دارای دقت بالاتری دانستند. همچنین دقت این روشها را نسبت به روش استریتر فلپس بیشتر عنوان کردند و دلیل آن را نبود ترمهای ضریب انتقال و پخش در معادله استریتر فلپس بیان کردند.

محمدی و کاشفی پور (۱۳۹۱)، نیز در تحقیقی قسمتی از رودخانه کارون در فاصله ملائانی-فارس‌سیاب را بعنوان مطالعه موردی انتخاب نمودند و تاثیر عوامل محیطی در شبیه‌سازی عددی کلیفرم را در سیستم های رودخانه‌ای بررسی کردند. ایشان در این تحقیق به تخمین نرخ ضریب زوال کلیفرم پرداختند و بیان نمودند که نرخ ضریب زوال به عوامل محیطی همچون شوری، کدورت، دما و pH وابسته است، و نتیجه‌گیری نمودند که ضریب زوال انتخاب شده با دخالت پارامترهای ذکر شده می تواند خطای کمتری را در مدل ایجاد نماید.

فریدباز و همکاران (۲۰۱۷)، ضریب زوال و ضریب هوادهی رودخانه سینو در کلمبیا آمریکا را بررسی کردند. آنان در ۱۰ ایستگاه از رودخانه مذکور اندازه گیری پارامترهای DO، BOD، درجه حرارت و مشخصات هیدرولیکی رودخانه را انجام دادند و با استفاده از نتایج بدست آمده طبق رابطه استریتر فلپس مقدار ضریب زوال و هوادهی را بین ۰/۱ تا ۰/۳۸ همچنین میزان آلودگی رودخانه را بر اساس پارامترها اندازه گیری شده تحلیل نمودند.

یلی زینک و همکاران (۲۰۱۶)، برخی از پارامترهای رودخانه‌های را با استفاده از مدل QUAL2K شبیه‌سازی نمودند آنان در سه ایستگاه از رودخانه مقادیر COD، NH₃-N و TP را اندازه‌گیری نمودند و ضمن شبیه‌سازی مقدار ضریب زوال را با استفاده از دو روش 'غلظت اندازه گیری و مشخصات هیدرولیکی' و روش



ضریب زوال از روابط توصیه شده در سه سطح آلودگی دست نخورده، اولیه و لجن فعال استفاده نمود که مقدار ضریب زوال را برای سه سطح مذکور بترتیب مساوی ۰/۳۵، ۰/۲ و ۰/۰۷۵ در نظر گرفت.

با توجه به مرور منابع انجام شده مباحث را می‌توان در سه دسته قرار داد ۱- شبیه سازی پارامترهای DO, BOD, COD, pH و سایر پارامترها که با استفاده از مدل QUAL2E انجام شده و پارامترهای مورد نظر را تحلیل و نهایتاً وضعیت خودپالایی رودخانه در فصول مختلف را با توجه به میزان دبی بحث نموده‌اند. ۲- اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی رودخانه و تعدادی از پارامترهای بیولوژیکی که در مورد وضعیت کیفی آب رودخانه و خودپالایی آن نتیجه‌گیری شده است. ۳- تعیین وضعیت خودپالایی رودخانه با استفاده از مدل تحلیلی استریتر فلپس که با اندازه‌گیری DO, BOD و سایر پارامترها انجام گرفته است. در تعدادی از تحقیقات به صورت محدود روی ضریب زوال بحث شده است. در مقاله حاضر با انجام آزمایشات میدانی در رودخانه‌های تالار و بابلرود مقادیر ضریب زوال در دو فصل مختلف تعیین و ضرایب روابط تجربی پر کاربرد برای این دو رودخانه اصلاح و ارائه شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

خودپالایی و ضرایب زوال دو رودخانه تالار و بابلرود با نمونه برداری در دو نوبت پر آبی و کم آبی در ماههای اردیبهشت و مرداد ۹۷، انجام گرفت، علاوه بر آن از داده‌های اندازه‌گیری شده دو رودخانه دیگر از شمال کشور دیناچال و پسیخان که قبلاً توسط مولف انجام شده بود در مواردی استفاده شد.

رودخانه‌های تالار و بابلرود

رودخانه‌های تالار و بابلرود در شمال سلسله جبال البرز و در جنوب دریای مازندران قرار دارند. بطور کلی این محدوده از نظر جغرافیایی در طول شرقی ۳۱'

استفاده از مدل مذکور محاسبه و مقایسه نمودند. در روش اول مقدار میانگین ضریب زوال سه پارامتر COD، NH₃-N و TP بترتیب مساوی ۰/۲۴۲۸، ۰/۱۰۱۹ و ۰/۲۵۵۴ و با استفاده از مدل نیز ۰/۳۶۳۱، ۰/۲۰۴۶ و ۰/۲۵۴۵ محاسبه شده است.

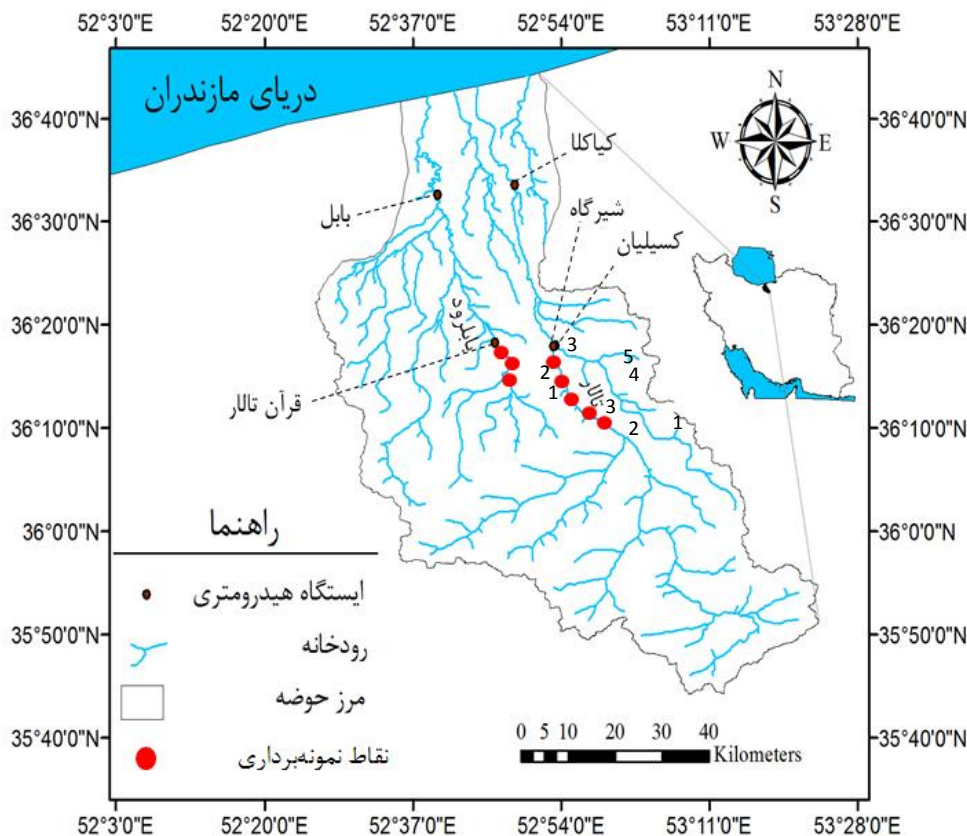
المیدا و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از میزان اکسیژن محلول و سایر پارامترها مقادیر ضریب زوال (K1) را برای رودخانه «یوبواینا» در برزیل تعیین کردند. در این تحقیق پارامترهای DO, BOD, شیب، عمق و سرعت آب رودخانه در ۸ ایستگاه با فواصل مساوی ۲۱ کیلومتر اندازه‌گیری شد و میزان K1 ضریب زوال با استفاده از رابطه استریتر فلپس به روش معکوس در ماههای مختلف تعیین شد، مقادیر آن از ۰/۰۷ تا ۰/۴۷ بر روز محاسبه شد. علاوه بر آن بر اساس معادله توازن جرمی نیز مقادیر ضریب زوال را محاسبه نمودند که بین ۰/۱۸ تا ۰/۳۲ بوده است و نتیجه گرفتند که هر دو روش با توجه به ارقام بدست آمده با داشتن اختلاف کم مورد قبول می‌باشد.

پارمر و همکاران (۲۰۱۲)، آلودگی رودخانه «یامونا» هند را با استفاده از مدل QUAL2E شبیه‌سازی کردند. آنان میزان BOD و DO را اندازه‌گیری و پس از واسنجی مقدار ضریب همبستگی بین ارقام مشاهده شده و محاسبه شده را تعیین نمودند، نتایج نشان داد که مدل روی ضرایب k1 و k2 حساسیت بالایی دارد و با روش آزمون و خطا در مدل، مقادیر بهینه دو ضریب فوق را بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده ارائه کردند. همچنین با توجه به ضریب همبستگی بدست آمده عملکرد مدل را رضایت‌بخش و کالیبراسیون و اعتبار سنجی را در اجرای مدل توصیه نمودند.

کاکس (۲۰۰۳)، تکنیک‌های مدل‌سازی اکسیژن محلول را در پایین دست رودخانه‌ها مورد بررسی قرار داد، وی از معادله توازن جرمی، و مدل تحلیلی استریتر فلپس استفاده نمود و با توجه به ورودی داده‌ها نتایج مختلفی را از روابط فوق بدست آورد و نهایتاً روش توازن جرمی را دقیق‌تر دانست. در تعیین ضریب هوادهی و

حوضه آبریز رودخانه تالار ۲۸۵۵ کیلومترمربع و حوضه رودخانه بابلرود ۱۷۴۰ کیلومترمربع تا محل تخلیه به دریا می‌باشد. با توجه به موقعیت رودخانه بابلرود ریزشهای جوی حوضه آن عمدتاً به صورت باران بوده و رواناب آن کمتر تحت تاثیر ذوب برف می‌باشد. متوسط دبی رودخانه تالار در ایستگاه کیاکلا ۹/۲۲ و رودخانه بابلرود در ایستگاه بابل ۱۵/۳۶ متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

۵۲° تا ۵۳° ۲۴' و عرض شمالی ۴۵' ۳۵° تا ۳۳' ۳۶° واقع گردیده است، منطقه تحت بررسی جزء استان مازندران و شهرستان های بابل، بابلسر، سوادکوه، قائم شهر و جویبار می‌باشد. آبراهه اصلی هر دو رودخانه از جنوب به شمال جاری بوده و در نهایت رواناب آن به دریای خزر می‌ریزد، نقشه موقعیت جغرافیایی رودخانه تالار و بابلرود در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی رودخانه تالار و بابلرود

شده و فاصله بین هر دو بازه متوالی نیز ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است. میانگین شیب رودخانه در محدوده نمونه برداری ۲/۱ درصد می‌باشد. در رودخانه بابلرود نیز جهت نمونه برداری برای تعیین ضریب زوال ۳ ایستگاه و ۲ بازه در نظر گرفته شده است، طوری که هیچگونه ورودی و خروجی در این فاصله صورت نگیرد.

نمونه برداری در رودخانه های تالار و بابلرود

در تحقیق حاضر در رودخانه تالار جهت نمونه برداری ۵ ایستگاه و ۴ بازه در نظر گرفته شده، به طوری که هیچگونه ورودی و خروجی در این فاصله صورت نگیرد. طی بازدید میدانی انجام شده این محدوده حداً صلاً بین شهر زیرآب و شیرگاه انتخاب



جهت آزمایش پارامترهای کیفی رودخانه های مذکور در ماههای اردیبهشت و مرداد انجام و نتایج آن به همراه مشخصات هیدرولیکی رودخانه در هر آزمایش طی جداول (۱) الی (۴) نشان داده شده است.

طی بازدید بعمل آمده این محدوده در بالادست روستای قرآن تالار انتخاب شده است، و میزان متوسط شیب رودخانه در محدوده نمونه برداری ۳/۲ در صد می باشد. موقعیت ایستگاههای دو رودخانه در شکل (۱) نشان داده شده است. نمونههای برداشت شده

جدول (۱): مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه تالار در آزمایش (اول) انجام شده مورخه ۹۷/۰۲/۱۳

ایستگاه ۵	ایستگاه ۴	ایستگاه ۳	ایستگاه ۲	ایستگاه ۱	پارامتر
۸/۲۱	۷/۹۵	۷/۵۹	۷/۱۰	۶/۵۰	DO (mg/l)
۳	۳/۴	۳/۹	۵/۱	۶/۳	BOD ₅ (mg/l)
۹۸۸	۹۹۹	۱۰۰۹	۱۰۱۲	۱۰۱۸	EC (μs/cm)
۷/۱۷	۷/۲۰	۷/۲۱	۷/۳۰	۷/۰۱	pH
۲/۹	۳/۳	۴/۴	۳/۹	۲/۷	نیترات (mg/l)
۰/۳۶۳	۰/۱۸۱	۰/۱۴۶	۰/۱۱۳	۰/۱۱۹	فسفر (mg/l)
۱۹	۱۹	۲۰	۲۰	۱۹	T (درجه آب سانتی گراد)
V=0.6m/s			H=0.32m		Q=1.64m ³ /s

جدول (۲): مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه تالار در آزمایش (دوم) مورخه ۹۷/۰۵/۱۱

ایستگاه ۵	ایستگاه ۴	ایستگاه ۳	ایستگاه ۲	ایستگاه ۱	پارامتر
۵/۶۳	۵/۴۴	۵/۱۷	۴/۸۱	۴/۷۲	DO (mg/l)
۵/۵	۶/۵	۸/۵	۹/۳	۹/۷	BOD ₅ (mg/l)
۱۰۲۱	۱۰۱۱	۹۹۱	۹۸۳	۹۷۱	EC (μs/cm)
۷/۵۵	۷/۵۳	۷/۴۸	۷/۴۱	۷/۳۳	pH
۱/۹	۲/۸	۱/۷	۲/۲	۳/۱	نیترات (mg/l)
۰/۶۸۰	۰/۶۳۴	۰/۵۱۹	۰/۳۸۶	۰/۴۱۹	فسفر (mg/l)
۳۰	۳۰	۳۰	۳۱	۳۱	T (درجه آب سانتی گراد)
V=0.39m/s			H=0.19m		Q=0.91m ³ /s

جدول (۳): مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه بابلرود در آزمایش اول مورخه ۹۷/۰۲/۲۱

پارامتر	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳
DO (mg/l)	۷/۲۰	۷/۶۰	۷/۹۵
BOD ₅ (mg/l)	۳/۴۰	۲/۸۰	۲/۶۰
EC (μs/cm)	۲۲۳	۲۲۶	۲۲۷
pH	۷/۸۰	۷/۹۰	۷/۷۷
نیترات (mg/l)	۳/۸	۳/۸	۳/۸
فسفر (mg/l)	۰/۹۱۴	۰/۸۹۱	۰/۸۸۰
T (درجه آب سانتی گراد)	۱۶.۵	۱۶	۱۶
Q=5.5m ³ /s	H=0.56m	V=0.59m/s	

جدول (۴): مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه بابلرود در آزمایش دوم مورخه ۹۷/۰۵/۰۴

پارامتر	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳
DO (mg/l)	۵/۸۱	۵/۹۴	۶/۰۵
BOD ₅ (mg/l)	۳/۷	۳/۲	۲/۶
EC (μs/cm)	۲۵۳	۲۴۳	۲۴۳
pH	۷/۱۱	۷/۲۰	۷/۳۷
نیترات (mg/l)	۷/۰	۹/۱	۷/۸
فسفر (mg/l)	۰/۲۲۴	۰/۱۲۷	۰/۱۹۸
T (درجه آب سانتی گراد)	۲۴	۲۴/۵	۲۵
Q=3.96m ³ /s	H=0.34m	V=0.49m/s	

D_t مقدار کمبود اکسیژن محلول در لحظه t ، D_a کمبود اکسیژن محلول اولیه ($t=0$)، k_c ضریب زوال اکسیژن خواهی بیولوژیکی، k_a ضریب هوادهی اتم سفیری، L_a غلظت اکسیژن خواهی بیولوژیکی اولیه می باشد. در رابطه فوق میزان ضریب هوادهی (K_a) با استفاده از مشخصات هیدرولیکی، اندازه گیری شده در رودخانه (روش CH) (Churchill et al., 1962) برآورد شده است. (Nemerow و همکاران ۱۹۹۸). میزان ضریب زوال نیز با استفاده از سایر پارامترها از رابطه فوق به روش معکوس محاسبه شده است. در رودخانه

تعیین ضریب زوال از مدل تحلیلی استریتر فلیس

مدل تحلیلی استریتر فلیس به فرم معادله (۱) می باشد (Streeter و همکاران ۱۹۲۵):

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

که در رابطه فوق:



میانگین BOD، D' میانگین کاهش اکسیژن محلول، ΔD اختلاف کاهش اکسیژن محلول بین دو ایستگاه رودخانه و Δt نیز زمان طی شده بین دو ایستگاه رودخانه به روز می باشد.

$$K_c = 0.3(H/8)^{-0.434} \quad (3)$$

در رابطه (۳) نیز H عمق آب در رودخانه به فوت و K_c ضریب زوال به (روز/۱) می باشد (Hydroscience 1971).

نتایج و بحث

نمودار مربوط به میزان اکسیژن محلول رودخانه تالار با ضریب زوال محاسبه شده با استفاده از کد نویسی در نرم افزار متلب، رسم و در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است. در محاسبات و رسم شکل نیاز به میزان اکسیژن محلول اشباع بود که مقدار آن، از جداول پیشنهاد شده بر اساس پارامتر درجه حرارت، تعیین گردید.

تالار مشخصات هیدرولیکی در مقاطع مختلف اندازه گیری، و میانگین آن برآورد و در محاسبات لحاظ گردیده است. مقادیر ضریب زوال تعیین شده رودخانه تالار در جدول (۵) نشان داده شده است (O'Connor و همکاران ۱۹۵۸).

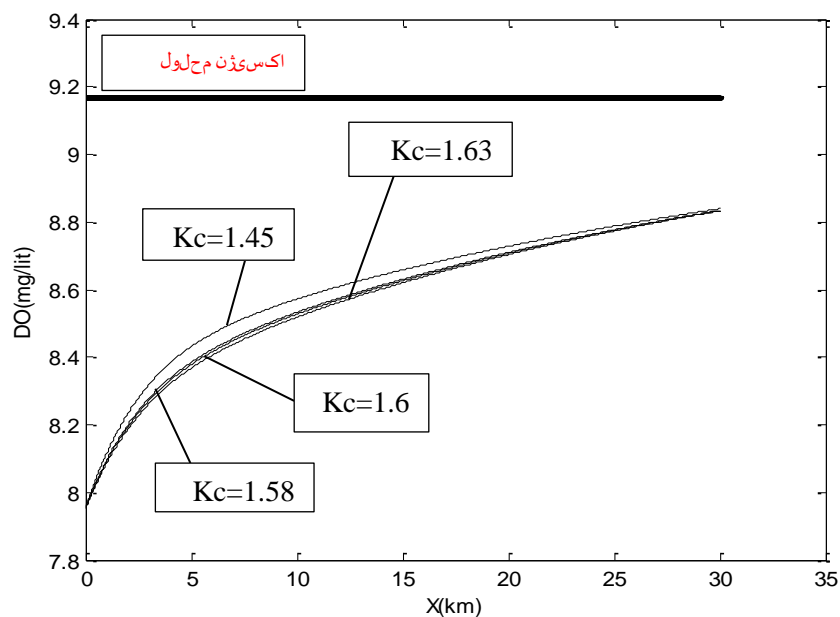
دو روش تجربی (رابطه (۲) و (۳)) جهت ارائه و پیشنهاد برآورد ضریب زوال دو رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. یکی از این روشها استفاده از رابطه (۲) می باشد، که در این رابطه زمان، کاهش اکسیژن محلول، BOD و ضریب بازهوادی دخالت دارد. با استفاده از این رابطه ضریب زوال برآورد و در مدل تحلیلی استریتر فلپس به کار می رود (A. Nemerow 1998).

$$K_a = K_c \frac{L'}{D'} - \frac{\Delta D}{2.3 \Delta T \cdot D'} \quad (2)$$

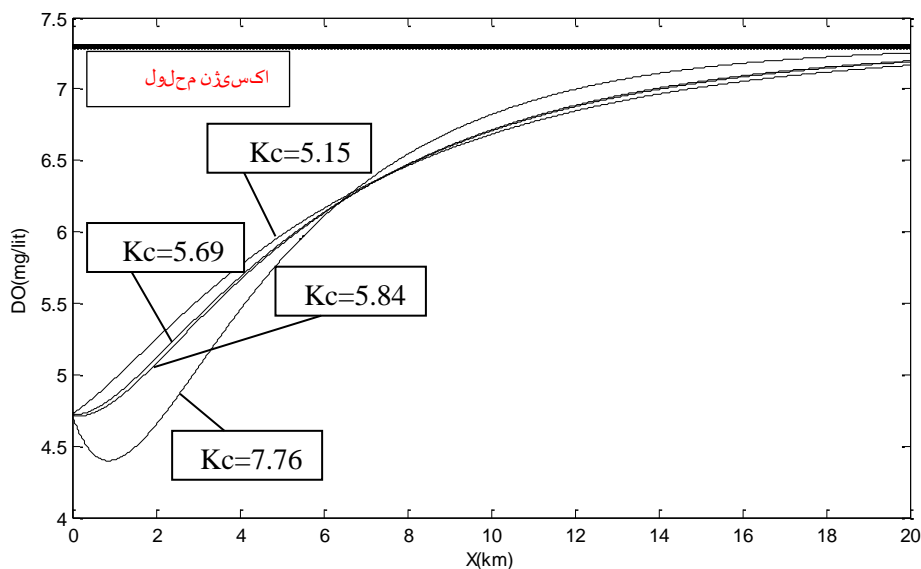
در رابطه (۲)، کاهش اکسیژن محلول، BOD، زمان و ضریب بازهوادی دخالت دارد، K_a و K_c بترتیب ضریب زوال و ضریب هوادهی (یک بر روز)، L'

جدول (۵): مقادیر ضریب زوال رودخانه تالار از روش مدل تحلیلی استریتر فلپس (1/day)

بازه (بین مقاطع)	بازه اول	بازه دوم	بازه سوم	بازه چهارم
آزمایش اول (۹۷/۲/۱۳)	۱/۶	۱/۴۵	۱/۵۸	۱/۶۳
آزمایش دوم (۹۷/۵/۱۱)	۵/۸۴	۵/۱۵	۵/۶۹	۷/۷۶



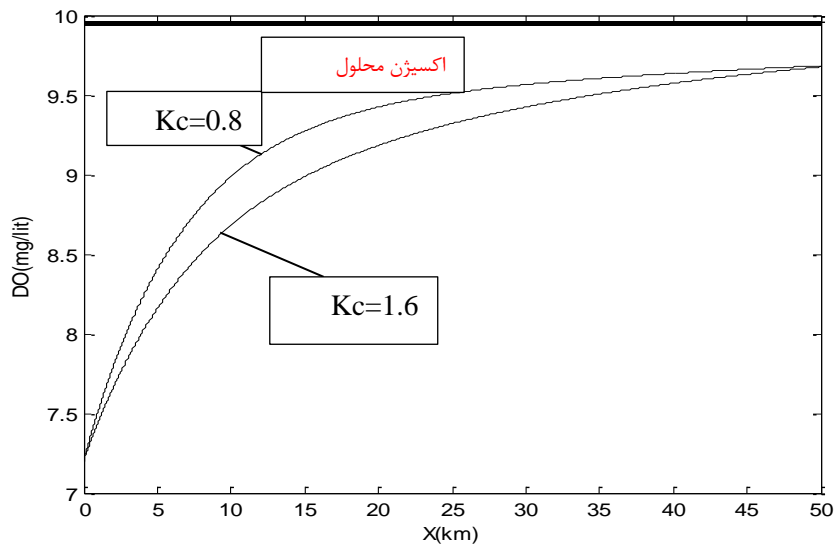
شکل (۲): تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه تالار با ضریب زوال محاسبه شده در بازه‌ها-آزمایش اول (اردیبهشت ۹۷)



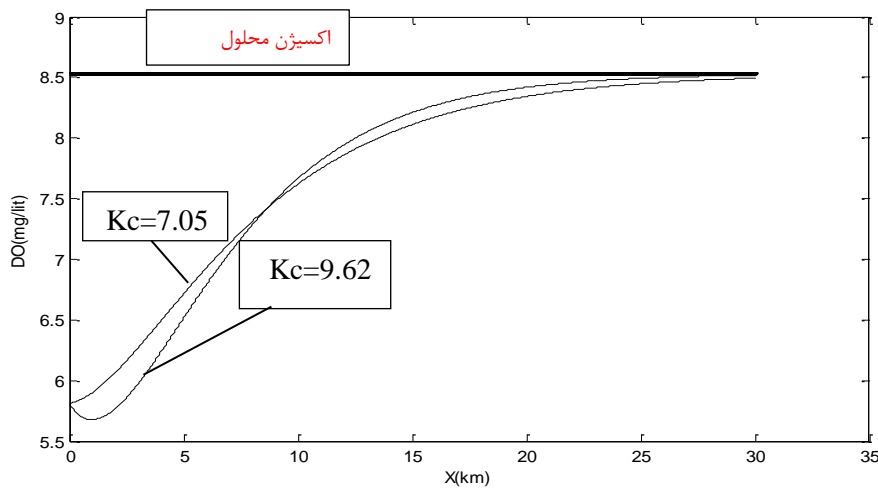
شکل (۳): تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه تالار با ضریب زوال محاسبه شده در بازه‌ها-آزمایش دوم (مرداد ۹۷)
 نمودار مربوط به میزان اکسیژن محلول رودخانه بابلرود هم با استفاده از نرم افزار متلب در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است.
 در رودخانه بابلرود نیز همانند رودخانه تالار مشخصات هیدرولیکی با استفاده از اندازه گیری بعمل آمده، تعیین و در محاسبات لحاظ گردیده است. مقادیر ضریب زوال تعیین شده رودخانه بابلرود در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶): مقادیر ضریب زوال رودخانه بابلرود از روش مدل تحلیلی استریتر فلپس (1/day)

بازه اول	بازه دوم	بازه (بین مقاطع)
۰/۸	۱/۶	آزمایش اول (۹۷/۲/۲۱)
۷/۰۵	۹/۶۲	آزمایش دوم (۹۷/۵/۴)



شکل (۴): تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه بابلرود با ضریب زوال محاسبه شده در بازه‌ها-آزمایش اول (اردیبهشت ۹۷)



شکل (۵): تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه بابلرود با ضریب زوال محاسبه شده در بازه‌ها-آزمایش دوم (مرداد ۹۷)

بهار ۷/۴۷ میلی گرم در لیتر و در تابستان ۵/۱۵ میلی گرم در لیتر و در رودخانه بابلرود نیز در بهار ۷/۵۸ میلی گرم در لیتر و در تابستان ۵/۹۳ میلی گرم در لیتر بوده است. در فصل بهار (ا) شکل (۲) و (۴) تغییرات اکسیژن محلول رودخانه تالار و

بر اساس ارقام بدست آمده از آزمایشات انجام شده رودخانه تالار و بابلرود در فصل بهار به دلیل پایین بودن درجه حرارت، میزان اکسیژن محلول بیشتر از اکسیژن محلول اندازه گیری شده در فصل تابستان می باشد. میانگین اکسیژن محلول آب رودخانه تالار در

شده و مقدار واقعی K_c بدست آمده (معادله ۱) در هر بازه، با استفاده از رگرسیون دو متغیره (کریمی راد و همکاران ۱۳۹۷)، ضرائب جدیدی برای برآورد ضریب زوال رودخانه‌های تالار و بابلرود تعیین گردیده است (رابطه ۴)، که میزان ضریب تبیین $R^2=92.9\%$ بوده است. (۴)

$$K_a = 1.490K_c \frac{L'}{D'} + 0.937 \frac{\Delta D}{\Delta T.D'} + 1.16$$

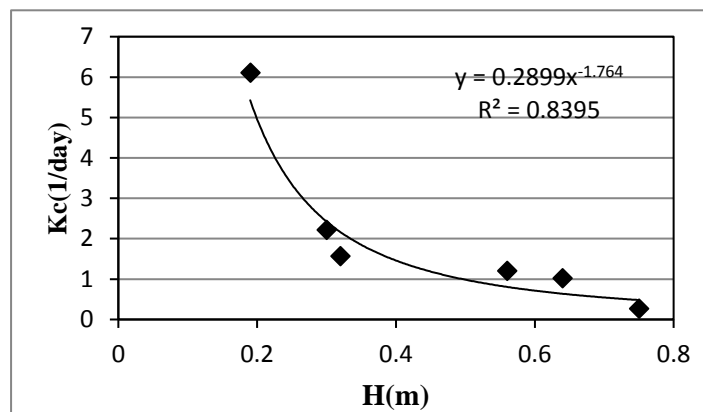
با توجه به اندازه‌گیری انجام شده برای رودخانه تالار و بابلرود از داده‌های اندازه‌گیری شده دو رودخانه دیگر شمال کشور (دیناچال و پسیخان)، هم استفاده شده است (محمدی قلعه‌نی و همکاران ۱۳۹۴)، که رابطه بین ضریب زوال و عمق آب در سیستم متریک با ضریب تبیین ۸۴.۰ در صد به فرم معادله (۵) تعیین شده است، که می‌تواند برآورد مناسبی از ضریب زوال باشد. نمودار مربوط به رابطه (۵) در شکل (۶) نشان داده شده است.

$$K_c = 0.2899(H)^{-1.764} \quad H < 0.75m \quad (5)$$

۱.۷۶۴

در رابطه (۵) H عمق آب در رودخانه به متر و K_c ضریب زوال به (روز/۱) می‌باشد.

بابلرود در طول مسیر، نشان می‌دهد که این پارامتر افزایش می‌یابد و افت اکسیژن در طول مسیر نداریم و با توجه به مقادیر BOD مشکل خاصی در این فصل دیده نمی‌شود. در فصل تابستان میزان ضریب زوال بیشتر از فصل بهار بوده و افت اکسیژن نیز در طول مسیر مشاهده می‌شود (شکل ۳ و ۵). با توجه به اینکه در این فصل میزان میانگین اکسیژن محلول بدلیل بالا بودن درجه حرارت هوا کم می‌شود این افت اکسیژن، باعث افزایش بیشتر آلودگی در رودخانه خواهد شد و لازم است وضعیت رودخانه در این فصل از نظر ورود آلاینده‌ها مدیریت گردد. نتایج بدست آمده از تعیین ضریب زوال در بازه‌های رودخانه تالار و بابلرود نشان می‌دهد که در فصل بهار میزان این ضریب کمتر از ضریب زوال بدست آمده در تابستان می‌باشد، عبارتی وضعیت آلودگی رودخانه در تابستان نامطلوبتر از بهار است که عامل اصلی آن کاهش اکسیژن و افزایش درجه حرارت می‌باشد. علاوه بر آن بر اساس ضریب زوال محاسبه شده (ارقام مندرج در جدول ۵ و ۶) میزان تغییرات ضریب زوال در بازه‌ها در فصل بهار کمتر از تغییرات ضریب زوال در فصل تابستان می‌باشد. با توجه به نتایج آزمایشات انجام



شکل (۶): نمودار همبستگی ضریب زوال و عمق آب رودخانه

(MBE) (موگ و همکاران ۱۹۹۸) و ضریب همبستگی (R) برای روابط فوق در جدول (۷) نشان داده است، که بیانگر همبستگی خوب و مدل مناسب برای روابط

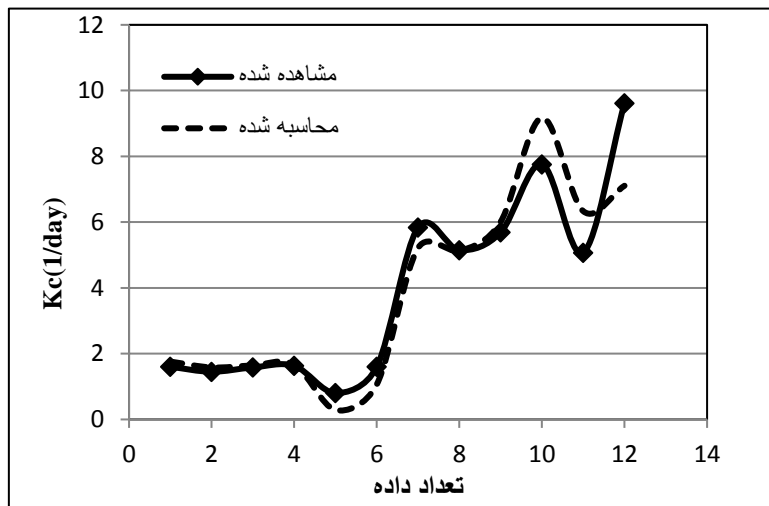
با توجه به نتایج بدست آمده میزان جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات جذر میانگین مربعات خطا (%CVRMSE)، میانگین خطای آریبی

شده، رابطه (۴) و (۵) در اشکال (۷) و (۸) نشان داده شده است.

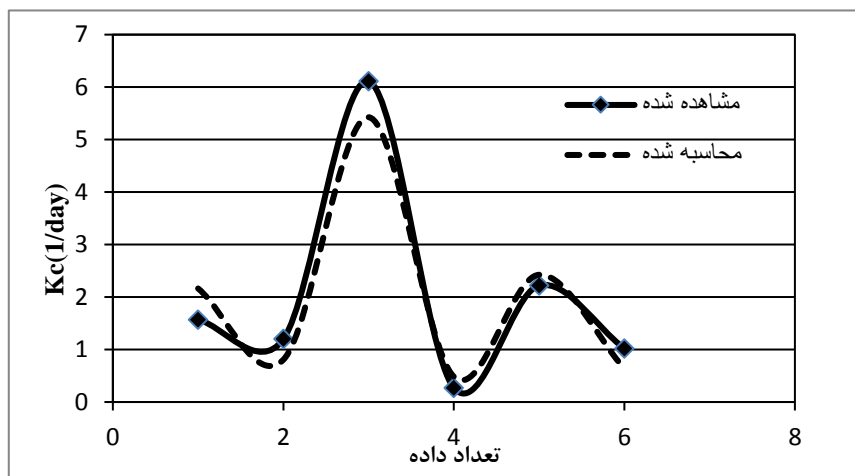
بدست آمده می باشد (سلیمانی و همکاران ۱۳۹۲). جهت مقایسه، ضریب زوال مشاهده شده و محاسبه

جدول (۷): مقادیر پارامترهای خطا و همبستگی در روابط تجربی ارائه شده (۴) و (۵)

R	MBE	%CVRMSE	RMSE	پارامتر
۰/۹۶	-۰/۰۶۹	۲۴/۰۱	۰/۹۵۸۰	معادله ضریب زوال (رابطه ۴)
۰/۹۲	-۰/۰۷۵	۲۱/۷	۰/۴۵	معادله ضریب زوال با عمق (رابطه ۵)



شکل (۷): نمودار مقایسه ضریب زوال مشاهده شده با ضریب زوال محاسبه شده طبق رابطه ارائه شده (۴)



شکل (۸): نمودار مقایسه ضریب زوال مشاهده شده با ضریب زوال محاسبه شده طبق رابطه (۵)

نتیجه گیری

می تواند باشد که رابطه استریتر فلپس به این پارامترها بیشتر حساسیت دارد، و پیشنهاد می شود در این فصول جهت برآورد ضریب زوال رودخانه تالار و بابلرود و همچنین رودخانه های همجوار از روابط ارائه شده استفاده گردد. روابط پیشنهادی با توجه به آزمایشات انجام شده برای عمق کمتر از ۰/۸۵ متر برای دو رودخانه در نظر گرفته شده است. همچنین در صورت عدم وجود اطلاعات پارامترهای مورد نظر در رابطه (۴) استفاده از رابطه بین عمق و ضریب زوال (رابطه (۵)) می تواند برآورد خوبی برای ضریب زوال و نهایتاً تعیین اکسیژن محلول در طول مسیر رودخانه باشد.

سپاسگزاری

انجام این تحقیق و مقالات آن با استفاده از امکانات دانشگاه تهران و بخش صوص آزمایشگاه های گروه مهندسی آبیاری و آبادانی ممکن شد که بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

با توجه به مرور مقالات ارائه شده و تحقیقات انجام گرفته، میزان ضریب زوال هر رودخانه با توجه به خصوصیات هیدرولیکی شامل، عمق آب، دبی، شیب، سرعت و نهایتاً جنس بستر و همچنین میزان آلودگی های موجود در رودخانه بستگی دارد و طبق تحقیقات بعمل آمده برای هر رودخانه روابطی پیشنهاد گردیده که استفاده از این روابط برای سایر رودخانه ها لازم است با احتیاط انجام گیرد، و بهتر است ضرایب و پارامترهای جدیدی در تعیین ضرایب آلودگی تعیین گردد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان ضریب زوال رودخانه تالار در بهار و تابستان به طور متوسط ۱/۵۷ و ۶/۱۱ و در رودخانه بابلرود ۱/۲ و ۸/۳۳ بر روز می باشد، که میزان ضریب زوال در بهار کمتر از تابستان در هر دو رودخانه می باشد علت آن میزان افزایش درجه حرارت و نهایتاً کاهش اکسیژن محلول

منابع

- ابراهیمی ک.، کریمی راد ا.، عراقی نژاد ش. ۱۳۹۷، ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر تغذیه آب زیرزمینی در آبخیز چندلایه، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۵، شماره ۴۳، ص ۵۰ الی ۶۰
- انصاری پور ا.، ابراهیمی ک.، ۲؛ امید م. ۱۳۹۲، بررسی خودپالایی جریان های رودخانه ای با توسعه و کاربرد مدل های ریاضی مطالعه موردی: رودخانه سیخان-گیلان، تحقیقات مهندسی کشاورزی، مقاله ۳، دوره ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۳۱-۴۷
- سلیمانی ساردو م.، ولی ع.، قضاوی ر.، سعیدی گراغانی ح.، آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب، مطالعه موردی رودخانه چم انجیر خرم آباد، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب تابستان ۱۳۹۲ شماره دوازدهم سال سوم.
- جعفری کلکان گ.، نژادیانی ب.، ۱۳۹۴، بررسی آزمایشگاهی تغییرات انتشارپذیری آلاینده ها در محیط های متخلخل همگن و غیر همگن اشباع، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۴.
- روشنفکر ع.، کاشفی پور م.، جعفرزاده ن. ۱۳۹۱، ارزیابی روابط جدید برای ضریب زوال جهت مدل سازی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در سیستم های رودخانه ای، نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره چهاردهم، شماره یک، بهار ۹۱.



محمدی قلعه نی م.، ابراهیمی ک.، ۲؛ امید م. ۱۳۹۴، ارزیابی ضریب نرخ بازهوادی رودخانه‌ی سفیدرود، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۹، شماره ۳۱، ص ۸۹ الی ۹۸
محمدی قلعه نی م.، ابراهیمی ک.، ۲؛ امید م. ۱۳۹۴، برآورد ضریب هوادهی در مدیریت کیفی آب رودخانه دیناچال، با استفاده از روابط تجربی و روشهای عددی، مدیریت آب و آبیاری دانشگاه تهران، دوره ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۷۹-۶۹.

نظری ع. ۱۳۹۱، بررسی خودپالایی جریانهای رودخانه ای با تاکید بر برآورد ضریب پخش طولی مطالعه موردی رودخانه پسیخان گیلان، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

ALMEIDA, J. S. M., JUNIOR, M. R. F. (2013). 1 Dissolved oxygen measurements on Uberabinha River for determining the oxygenation constant. *Águas Subterrâneas*.

Bhargava.D.S.(1983) "Most rapid BOD assimilation in Ganga and Yamuna river." *Journal of Environmental Engineering*. 109(1).174-188.

Cox B.A., 2003, A review of dissolved oxygen modeling techniques for lowland rivers, *The Science of the Total Environment*, Science Direct, ELSEVIER, 303-334.

Feria Díaz, J. J., Náder Salgado, D., Meza Pérez, S. J. (2017). Deoxygenation and re-aeration rates of the Sinu river. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 8-17.

Hydroscience Inc, 1971, —Simplified Mathematical Modeling of Water Quality Prepared for the Mitre Corporation and the USEPA, Water Programs, Washington D C, Mar 1971, 127 pp, 4 Appendixes. 5 Monographs.

Moog, D.B. and Jirka, G.H., 1998. Analysis of reaeration equations using mean multiplicative error. *Journal of Environmental Engineering*, 124(2), pp.104-110.

Nemerow A., *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid, España: Díaz de Santos, 1998, pp. 82-110.

O'Connor, D. J; Dobbins, W.E. (1958). The Mechanism of Reaeration in Natural Streams. *Journal of environmental engineering division ASCE*. 123: 641-684.

Oguzie, F.A and Okhagbuzo, G.A (2010). Concentration of Heavy Metals in Effluent Discharges Downstream of Ikpoba River in Benin City, Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 9 (3) pp. 319-325.

Parmar, D. L., & Keshari, A. K. (2012). Sensitivity analysis of water quality for Delhi stretch of the River Yamuna, India. *Environmental monitoring and assessment*, 184(3), 1487-1508.

Streeter, H.W. and Phelps, E.B., 1925. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. U.S. Public Health Service, Bulletin No. 146, 96 pp 13-Hoskins, Ruchhoft, and Williams, U. S. Pub. Health Service, Pub. Health Bull. 171, 186 (1927).

Zhang, Y., Yang, H., Wang, Z. (2016). Simulating water quality of Wei River with QUAL2K model, a case study of Hai River Basin in China. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 68, p. 14005). EDP Sciences.



Determination of Decay Rate of Pollution in the Talar and Babolrood Rivers

RostamSadeghi, Talarpashty,⁴, KiumarseEbrahimi,⁵, AbdolhossienHoorfar,⁶.

Abstract

Accurate estimation of pollution decay coefficient is due to its effect on the oxygen consumption of the river's solution of important issue, in managing the quality of water resources. The main purpose of this paper is to determine the decay factor of two rivers of Iran, named Talar and Babolrood Rivers. It has been done by measuring the field and elucidating the common empirical equations in two seasons of spring and summer. The qualitative parameters including DO, BOD, pH, EC, nitrate, phosphate and temperature in Talar River were measured in 5 sections of a total length of 4 km long, and in Babolrood River in 3 sections at a total length of 2.8 km, in May and August 2018. Then the decomposition coefficient was estimated using Streeter-Phelps Analytic Model. DO and BOD values were also analyzed in both spring and summer seasons. Based on the results in both case studies, the decay rate in summer was more than spring. The decay rate in Talar River was calculated equal to 1.57 in spring and 6.11 in summer, and in Babolrood, spring was 1.2 and in the summer was 8.34 (1/ day). Also, based on the slope changes, the dissolved oxygen content in both rivers increased in spring and decreased in the summer. In Talar River the BOD was equal to 4.34, in spring and 7.44 mg per liter in summer, and in Babolrood River in spring was equal to 2.5 and in the summer equal to 3.2 mg per liter.

Keywords: Streeter-Phelps, BOD, Dissolved Oxygen, Reaeration, self-purification.

⁴ Ph.D student of Water Resources Engineering, University of Tehran

⁵ Professor, Irrigation Engineering Department, University of Tehran, responsible author

⁶ Professor, Irrigation Engineering Department, University of Tehran