

مقدمه

مدیریت کیفی رودخانه‌ها به عنوان حیاتی‌ترین منبع تأمین آب همواره مورد توجه سازمان‌های ملی و بین‌المللی بوده است. این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران که رودخانه‌ها نقش اساسی در تأمین نیازهای آبی را دارند، اهمیت بیشتری دارد. ضریب نرخ بازه‌ادهی^۴ توصیف‌کننده‌ی جذب فیزیکی اکسیژن از اتمسفر به داخل آب است [۳۴]. مقادیر اکسیژن محلول^۵ در مدل‌سازی کیفی، حساسیت زیادی به تغییرات کم ضریب نرخ بازه‌ادهی از خود نشان می‌دهد [۱۹]. بنابراین تخمین صحیح ضریب نرخ بازه‌ادهی بسیار ضروری است. تعداد زیادی رابطه‌ی تجربی به منظور تخمین ضریب نرخ بازه‌ادهی با استفاده از متغیرهای هیدرولیکی جریان مانند سرعت متوسط، میانگین عمق جریان، سرعت برشی جریان، عدد فرود، دبی جریان و شیب خط انرژی جریان پیشنهاد شده است [۲۱].

در دهه‌های گذشته، محققان زیادی روابط پیشنهادی تخمین ضریب نرخ بازه‌ادهی را بررسی کرده و سعی در ارزیابی کارایی این روابط داشته‌اند. بنت و راتون [۴] یکی از نخستین محققانی بوده‌اند که سیزده معادله ضریب نرخ بازه‌ادهی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که از بین ۱۳ معادله مورد ارزیابی، فرمول چرچیل و همکاران [۸] بهترین برازش را با داده‌های جریان‌های طبیعی دارد. همچنین فرمول‌های اکونر و دوینز [۳۲]، دوینز [۱۱] و تاکستون و کرنکل [۴۰] بهترین برازش را برای کل داده‌ها از خود نشان دادند.

انصاری پور و همکاران [۲] با استفاده از چهار معادله‌ی تجربی اکونر و دوینز [۳۲]، لانگین و دیورام [۲۳]، لینگ و همکاران [۲۶] و بولتون [۶] به بررسی خودپالایی رودخانه پسیخان واقع در استان گیلان پرداختند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از دقت بیشتر معادله بولتون [۶] و اکونر و دوینز [۳۲] نسبت به دو معادله دیگر بود. نظری و همکاران [۳۰] نیز نتایج مشابهی را در مورد دقت بیشتر روابط بولتون و اکونر و دوینز بدست آوردند.

بررسی تحقیقات گذشته در مورد ضریب نرخ بازه‌ادهی نشان می‌دهد که مطالعات انجام شده در مورد ضریب نرخ بازه‌ادهی را می‌توان به چهار دسته کلی به شرح زیر تقسیم کرد. دسته اول مطالعات به تحقیقات بلک و فلیس [۵] بازمی‌گردد که نخستین مدل

ارزیابی ضریب نرخ بازه‌ادهی رودخانه‌ی سفیدرود

مهدی محمدی قلعه‌نی^۱، کیومرث ابراهیمی^۲ و محمدحسین امید^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰

چکیده

برآورد مناسب ضریب نرخ بازه‌ادهی یکی از مهم‌ترین نیازهای اولیه مدل‌سازی اکسیژن محلول و خودپالایی رودخانه‌ها می‌باشد. هدف اصلی مقاله حاضر ارزیابی ۲۹ معادله پرکاربرد پیشنهادی در برآورد ضریب نرخ بازه‌ادهی رودخانه‌ها در قالب مطالعه موردی سفیدرود می‌باشد. در این مقاله ارزیابی و مدل‌سازی اکسیژن محلول سفیدرود با استفاده از روش تحلیلی استریتر-فلیس و کاربرد داده‌های کیفیت آب موجود از چهار سری نمونه‌برداری رودخانه مذکور انجام گرفت. بازه انتخابی از زیردست سد سفیدرود تا دریای خزر به طول تقریبی ۱۱۰ کیلومتر و در ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری می‌باشد. نتایج ارزیابی معادلات برآورد ضریب نرخ بازه‌ادهی، حاکی از وجود بیشترین دقت در معادله "پارخوراست و پومروی" با خطای استاندارد، خطای میانگین ضریبی و مجموع مربعات باقیمانده‌هایی به ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۱/۰۵ و ۲/۳۵ می‌باشد. همچنین رفتارسنجی خودپالایی سفیدرود نشان‌دهنده‌ی بالا بودن نیاز اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و پایین بودن توان خودپالایی این رودخانه در مهر ماه که مصادف با ورود حداکثر مقدار آلاینده‌های غیرنقطه‌ای مانند زهاب‌های کشاورزی است می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استریتر-فلیس، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی،

ضریب نرخ بازه‌ادهی، سفیدرود، مدل‌سازی اکسیژن محلول

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه تهران

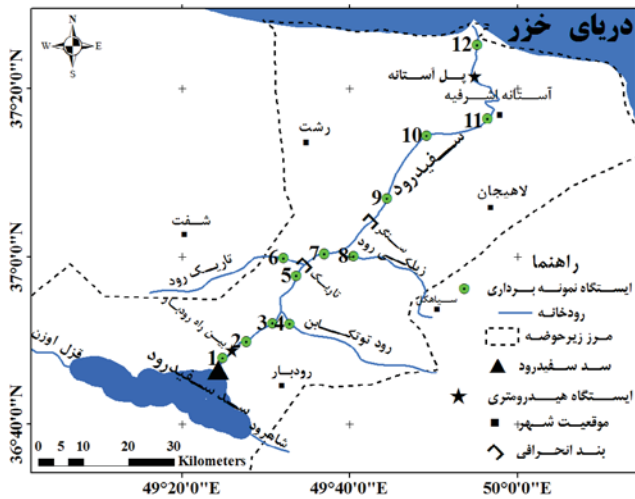
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

پست الکترونیک: EbrahimiK@ut.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

4. Reaeration rate coefficient

5. Dissolved Oxygen



شکل ۱- محدوده مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری سفیدرود
Fig 1. Sefidroud river study reach and sampling stations

مدل‌سازی اکسیژن محلول تقسیم شد. جدول ۱ لیست داده‌های مورد استفاده در مقاله حاضر را نشان می‌دهد.

نمونه‌برداری از سفیدرود طی چهار دوره در آذرماه ۱۳۸۶، تیرماه ۱۳۸۷، مهرماه ۱۳۸۷ و آبان‌ماه ۱۳۸۷ توسط سازمان حفاظت محیط زیست [۱۴] انجام شده است. اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی^۱، قلیائیت، کل مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، کدورت، فسفر کل و نیتروژن کل از مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها می‌باشد. هر یک از پارامترهای جدول ۱ در فرآیند مدل‌سازی اکسیژن محلول با استفاده از مدل استریتر-فلپس مورد استفاده قرار گرفت. به عنوان مثال درجه حرارت آب برای تعدیل دمایی ضرایب نرخ بازه‌دهی و زوال (معادلات ۵ و ۶)، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی برای تخمین ضریب زوال (معادله ۴) و هدایت الکتریکی برای برآورد اکسیژن محلول اشباع (معادله ۲) استفاده شد.

با توجه به جدول ۱، حداقل و حداکثر مقدار اکسیژن محلول برابر با ۳/۸ و ۹/۷ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در مهرماه و تیرماه ۱۳۸۷ در ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۲ و ۴ اندازه‌گیری شده است. همچنین حداقل اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی برابر با ۹ میلی‌گرم بر لیتر در آذرماه ۱۳۸۶ و آبان‌ماه ۱۳۸۷ در ایستگاه‌های ۱ و ۳ و حداکثر آن در مهرماه ۱۳۸۷ و برابر با ۹۸ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه ۱۱ اندازه‌گیری شده است.

مدل سازی اکسیژن محلول سفیدرود

رابطه کلاسیک استریتر-فلپس به صورت معادله (۱) تعریف شده است [۳۹].

$$U \frac{dD}{dx} = K_c L - K_a D \quad (1)$$

که در آن، D کمبود اکسیژن محلول نسبت به حالت اشباع

1. Biochemical Oxygen Demand

پیش‌بینی ظرفیت بازه‌دهی جریان را بر اساس شرایط هیدرولیکی جریان ارائه کردند. در ادامه محققانی چون استریتر و فلپس [۳۹]، اکونر و دوینز [۳۲]، چرجیل و همکاران [۸]، کرنکل و اورلب [۲۲]، اونز و همکاران [۳۳] و دوینز [۱۱] معادلات تجربی مشابهی را ارائه دادند. در این دسته از تحقیقات سعی شده است که یک معادله جدید بر اساس شرایط مورد مطالعه استخراج و ارائه شود.

دسته دوم مطالعات به اندازه‌گیری‌های مستقیم و مستقل میدانی ضریب نرخ بازه‌دهی باز می‌گردد که نخستین بار توسط سازمان کنترل آلودگی آب فدرال آمریکا در رودخانه جکسون در غرب ایالت ویرجینیا با استفاده از یک روش ردیابی میدانی توسعه داده شد. در ادامه این تحقیقات تسوگو و والاس [۴۷] و زوگوروسکی و فایوست [۴۹] روش‌های تعادل توزیعی و ردیابی را در مطالعات خود استفاده کردند.

در دسته سوم مطالعات که ایده‌ی آن نخستین بار توسط کوآر [۹] ارائه شد، محققین به دنبال یافتن بهترین رابطه‌ی تخمین ضریب نرخ بازه‌دهی بر اساس شرایط متفاوت هیدرولیکی جریان بوده‌اند. مطالعاتی محققانی چون زیسون و همکاران [۴۸]، شیندالا و تراکس [۳۶]، حیدر و همکاران [۱۷] و پالمبو و براون [۳۴] را می‌توان در این دسته جای داد.

گروه چهارم محققان در مطالعات خود پس از بررسی روابط مختلف به دنبال یافتن معادله‌ی جدیدی برای ضریب نرخ بازه‌دهی با استفاده از پارامترهای آماری بوده‌اند. مطالعاتی چون جها و همکاران [۲۰] و کالبورگی و همکاران [۲۱] در این دسته مطالعات جای می‌گیرند.

از طرف دیگر بررسی مطالعات انجام شده‌ی داخلی در مورد مدل‌سازی اکسیژن محلول حاکی از عدم انجام تحقیقات جامعی در مورد ضریب نرخ بازه‌دهی در رودخانه‌های کشورمان می‌باشد. هدف اصلی مقاله حاضر ارزیابی کارایی روابط تجربی مختلف برای تخمین ضریب نرخ بازه‌دهی به منظور استفاده در مدل‌سازی اکسیژن محلول با لحاظ مطالعه موردی سفیدرود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعات واقع در محدوده آستانه-کوچصفهان، قسمتی از شاخه اصلی سفیدرود بزرگ می‌باشد. این محدوده از زیردست سد مخزنی سفیدرود شروع و تا مصب دریای خزر ادامه دارد. ایستگاه‌های هیدرومتری نمونه‌برداری در نظر گرفته شده در این محدوده شامل ۹ ایستگاه بر روی رودخانه سفیدرود و ۳ ایستگاه بر روی شاخه‌های فرعی ورودی به رودخانه سفیدرود شامل، زیلکی‌رود، تاریک‌رود و رود توتکابن می‌باشد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری را در قسمت پایاب سفیدرود نشان می‌دهد.

در شکل ۱ طول سفیدرود از اولین تا آخرین ایستگاه نمونه‌برداری برابر ۱۰۹/۶۶۵ کیلومتر می‌باشد که این طول به ۸ بازه جهت

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی اکسیژن محلول سفیدرود [۱۴]

Table 1. Used data to dissolved oxygen modeling in Sefidroud river [14]

شماره ایستگاه نمونه‌برداری Sampling station number											پارامتر* Parameter	تاریخ نمونه برداری Sampling date	شماره دوره Period n.	
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			
11	10.5	11	11	10	10	10.5	11	11	11	10	10	درجه حرارت آب Water Temperature		
121	156	127	233	22	118	40	115	26	116	130	106	دبی Flow rate		
8.1	7.6	9.2	7.8	7.9	8.2	8.5	8.1	8.2	8.9	8.1	8.2	اکسیژن محلول Dissolved oxygen	آذرماه ۱۳۸۶ Dec 2007	دوره اول First Per.
16	14	12	15	15	16	12	12	11	<u>9</u>	13	13	اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی BOD		
2.0	2.4	2.0	2.9	3.0	2.4	3.0	2.1	1.1	4.8	3.2	5.8	هدایت الکتریکی EC		
27.5	28	27	25	26	26	25	25	24.5	25.5	24	23	درجه حرارت آب Water Temperature		
522	518	533	549	25	509	43	525	42	525	230	513	دبی Flow rate		
8.8	9.0	8.6	8.5	9.1	8.3	8.6	9.0	<u>9.7</u>	8.8	9.1	9.6	اکسیژن محلول Dissolved oxygen	تیرماه ۱۳۸۷ Jul 2008	دوره دوم Second Per.
13	12	10	11	13	11	10	14	12	11	11	10	اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی BOD		
0.3	0.3	0.3	0.4	0.8	0.3	2.2	0.4	1.1	0.4	3.0	0.4	هدایت الکتریکی EC		
21	21	20	19	18	18	18	19	20	20	16	18	درجه حرارت آب Water Temperature		
251	246	213	121	30	256	44	202	38	201	516	208	دبی Flow rate		
<u>3.8</u>	3.9	4.0	4.0	4.4	4.4	3.9	3.4	4.0	5.1	3.9	4.3	اکسیژن محلول Dissolved oxygen	مهرماه ۱۳۸۷ Oct 2008	دوره سوم Third Per.
34	<u>98</u>	52	42	49	47	48	55	52	62	53	43	اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی BOD		
1.7	1.5	2.0	4.2	0.4	2.1	1.3	2.6	1.0	3.4	2.9	4.2	هدایت الکتریکی EC		
23	22	21	23	19	22	18	20	22	22	21	20	درجه حرارت آب Water Temperature		
204	213	217	229	27	219	45	209	57	215	214	203	دبی Flow rate		
8.2	8.2	8.0	7.9	8.1	8.1	7.5	7.3	7.6	7.6	8.0	7.8	اکسیژن محلول Dissolved oxygen	آبان‌ماه ۱۳۸۷ Nov 2008	دوره چهارم Fourth per.
10	11	12	10	10	12	11	12	11	12	10	<u>9</u>	اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی BOD		
1.1	1.1	1.2	1.5	0.3	1.3	1.3	1.4	0.4	1.5	3.0	1.5	هدایت الکتریکی EC		

* در جدول ۱، واحد درجه حرارت آب درجه سانتی‌گراد، دبی مترمکعب بر ثانیه، اکسیژن محلول و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی میلی‌گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی میلی‌موس بر سانتی‌متر می‌باشد.

می‌باشد. در این مطالعه مقادیر غلظت اکسیژن محلول اشباع با استفاده از معادله (۲) محاسبه شده است [۳۷].

$$\ln C_s = -139.34411 + (1.575701 \times 10^5 / T) - (6.642308 \times 10^7 / T^2) + (1.243800 \times 10^{10} / T^3) - (8.621949 \times 10^{11} / T^4) - Chl [(3.1929 \times 10^{-2}) - (1.9428 \times 10 / T) + (3.8673 \times 10^3 / T^2)]$$

در معادله (۲) T ، درجه حرارت آب به درجه کلون، و $Chl = EC/1.80655$ غلظت کلرید که در آن شوری آب (EC) به میکروموس بر سانتی متر می‌باشد، است. در یک سیستم یک بعدی و با جریان دائمی با حل تحلیلی معادله (۱) به معادله (۳) تبدیل می‌شود [۴۳].

$$D = D_0 e^{-K_a t} + \frac{K_c L_0}{K_a - K_c} (e^{-K_c t} - e^{-K_a t}) \quad (3)$$

در معادله (۳)، D ، کمبود اکسیژن محلول اولیه، K_c ، ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، K_a ، ضریب نرخ بازهوادی اتمسفری، L ، غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی به میلی گرم بر لیتر، L_0 ، غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی اشباع به میلی گرم بر لیتر و t زمان ماند هیدرولیکی به روز می‌باشد. در مقاله حاضر معادله (۳) معادله اصلی استفاده شده برای مدل‌سازی اکسیژن محلول سفیدرود است.

ضریب نرخ بازهوادی (K_a)

از آنجایی که در مدل کلاسیک استریتر-فلیس (معادله ۱) هوادهی به عنوان تنها منبع اکسیژن محلول در نظر گرفته شده است، برآورد مناسبی از ضریب نرخ بازهوادی کمک شایانی به مدل‌سازی اکسیژن محلول رودخانه می‌کند. در مقاله حاضر ابتدا ۲۹ رابطه تجربی اصلی و متداول در برآورد ضریب نرخ بازهوادی جمع آوری و دسته بندی شد (به جدول ۲ نگاه شود). سپس بهترین رابطه برای سفیدرود مشخص شد، که در ادامه بحث شده است.

در روابط جدول ۲، K_a ضریب نرخ بازهوادی (یک بر روز)، U میانگین سرعت جریان (متر بر ثانیه)، H عمق متوسط (متر)، Q دبی (مترمکعب بر ثانیه)، S شیب کف رودخانه (بدون بعد)، u^* سرعت برشی جریان (متر بر ثانیه)، g شتاب جاذبه زمین (متر بر مجذور ثانیه)، F عدد فروود (بدون بعد)، D_m ضریب پخش مولکولی (مترمربع بر ثانیه)، $R_{g,t}$ عدد انتقال گاز رینولدز (بدون بعد) و v سرعت سینماتیکی جریان (مترمربع بر ثانیه) می‌باشد.

ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (K_c)

ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در حقیقت سرعت تجزیه مواد آلی را در شرایط هوازی بیان می‌کند که عمدتاً توسط میکروارگانیسم‌ها صورت می‌گیرد. در مقاله حاضر این ضریب با استفاده از معادله ۴، محاسبه شد [۳۹].

$$K_c = \frac{1}{\Delta t} \log \frac{L_a}{L_b} \quad (4)$$

در معادله ۴، K_c ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی بر حسب یک بر روز، Δt زمان عبور بین دو ایستگاه نمونه‌برداری بر حسب روز، L_a غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در ایستگاه بالادست و L_b مقدار اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در ایستگاه پایین دست بازه مورد مطالعه می‌باشد. معادلات برآورد ضریب نرخ بازهوادی ارائه شده در جدول ۲ و ضریب زوال (معادله ۴) همگی برای آب در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ارائه شده‌اند و در دماهای دیگر باید این ضرایب با استفاده از معادلات ۵ و ۶ تعدیل دمایی شوند [۱۰].

$$K_{a,T} = K_{a,20} (\theta)^{T-20} \quad (5)$$

$$K_{c,T} = K_{c,20} (\theta)^{T-20} \quad (6)$$

در معادلات ۵ و ۶، $K_{a,20}$ و $K_{c,20}$ به ترتیب ضریب نرخ بازهوادی و ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و $K_{a,T}$ و $K_{c,T}$ به ترتیب ضریب نرخ بازهوادی و ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در دمای T درجه سانتی‌گراد می‌باشند. همچنین مقادیر ضریب دمایی θ برای معادلات ۵ و ۶ به ترتیب برابر ۱/۰۲۴ و ۱/۰۴۷ در نظر گرفته شده است ([۴۸]، [۱۸]).

معیارهای آماری انتخاب معادله مناسب

در مقاله حاضر از ۴ معیار خطا برای مقایسه نتایج مدل استریتر-فلیس [۳۹] و داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده شد. دو معیار خطای مجموع مربعات باقیمانده‌ها^۱ و خطای استاندارد^۲ از معیارهای متداولی هستند که برای مقایسه نتایج استفاده می‌شوند. این معیارها بر اساس روابط ۷ و ۸ قابل محاسبه هستند [۱۲].

$$SSR = \sum_{i=1}^N (C_{p,i} - C_{m,i})^2 \quad (7)$$

$$SE = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(C_{p,i} - C_{m,i})^2}{N} \right]^{1/2} \quad (8)$$

موگ و جیرکا [۲۸] خطای ضربی میانگین^۳ را برای ارزیابی نتایج معادلات تخمین ضریب نرخ بازهوادی پیشنهاد کردند. خطای میانگین ضربی در حقیقت همان میانگین هندسی قدرمطلق نسبت مقادیر تخمینی به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد که رابطه آن مطابق با معادله ۹ می‌باشد [۲۸].

1. Sum of Square of Residuals (SSR)
2. Standard Error (SE)
3. Mean Multiplicative Error (MME)

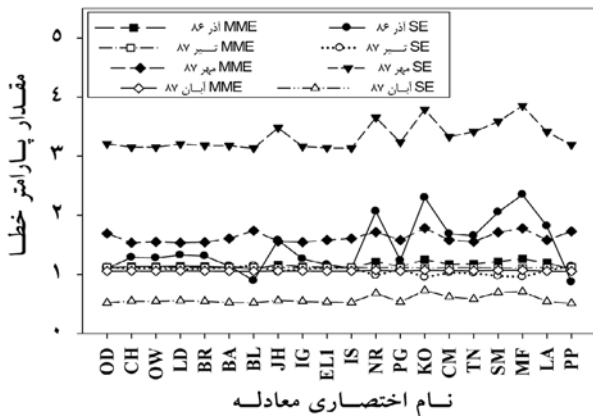
جدول ۲- روابط تجربی مورد استفاده برای برآورد ضریب نرخ بازهوادی رودخانه سفیدرود [۱۷]

Table 2. Predictive reaeration rate equations for Sefidroud river [17]

سیستم مورد استفاده در استخراج معادله system of Type	معادله Equation	نام معادله Name Eq	نام محققین investigator of NVame	شماره Number
مدل مفهومی Conceptual model	$K_a = 3.93U^{0.5}H^{-1.5}$	OD	O'Connor and Dobbins, 1958	1
رودخانه‌های بزرگ Large rivers	$K_a = 5.026UH^{-1.67}$	CH	Churchill et al 1962	2
رودخانه‌های بزرگ و کوچک Small and Large Rivers	$K_a = 5.32U^{0.67}H^{-1.85}$	OW	Owens et al., 1964	3
رودخانه‌های بزرگ Large rivers	$K_a = 5.134UH^{-1.33}$	LD	Langbein and Durum, 1967	4
رودخانه‌های بزرگ و کوچک Large and small rivers	$K_a = 5.5773U^{0.607}H^{-1.689}$	BR	Bennett and Rathburn, 1972	5
رودخانه‌های متوسط تا بزرگ Medium to large rivers	$K_a = 4.1528U^{0.6}H^{-1.4}$	BA	Bansal, 1973	6
رودخانه‌های کوهستانی Mountainous rivers	$K_a = 1.923U^{1.325}H^{-2.006}$	BL	Baecheler and Lazo 1999	7
رودخانه River	$K_a = 5.792U^{0.5}H^{-0.25}$	JH	Jha et al., 2001	8
فلوم استوانه‌ای چرخشی Recirculating cylindrical flume	$K_a = 4.7531UH^{-1.5}$	IG	Isaacs and Gaudy, 1968	9
فلوم چرخشی Recirculating flume	$K_a = 4.05UH^{-1.5}$	EL ^۱	Eloubaldy, 1969	10
فلوم استوانه‌ای چرخشی Recirculating cylindrical flume	$K_a = 3.6UH^{-1.5}$	IS	Isaacs et al., 1969	11
فلوم چرخشی Recirculating flume	$K_a = 10.9U^{0.85}H^{-0.85}$	NR	Negulescu and Rojanski, 1969	12
فلوم چرخشی Recirculating flume	$K_a = 4.54(U/H^{1.5})^{0.703}$	PG	Padden and Gloyna, 1972	13
فلوم چرخشی Recirculating flume	$K_a = 173(SU)^{0.404}H^{-0.66}$	KO	Krenekl and Orlob, 1962	14
- نهرها Streams	$K_a = 186(SU)^{0.5}H^{-1}$	CM	Cadwallader and McDonnel, 1969	15
نهرهای کوچک Small streams	$K_a = 3170S$	TN	Tsiovoglou and Neal 1976	16
نهرهای کوچک Small streams	$K_a = 22700SU$	GR	Grant, 1976	17
نهرها و رودخانه‌های بزرگ Large rivers and streams	$K_a = 8784U^{0.743}S^{0.93}H^{-0.42}$	TH	Thyseen et al., 1987	18
-	$K_a = 543S^{0.6236}U^{0.5325}H^{-0.7258}$	SM	Smoot, 1998	19
-	$K_a = 1740U^{0.46}S^{0.79}H^{0.74}$	MJ	Mogg and Jirka, 1998	20
نهرها و رودخانه‌های بزرگ Large rivers and streams	$K_a = 596(US)^{0.528}Q^{-0.136}$	MF	Melching and Flores, 1999	21
رودخانه‌های بزرگ Large rivers	$K_a = 0.000125(1 + F^{1/2})u^*H^{-1}$	TK	Tackston and Krenkel, 1969	22
فلوم چرخشی Recirculating Flume	$K_a = 154u^*H^{-1}$	EL ^۲	Eloubaldy, 1969	23
رودخانه‌های بزرگ Large rivers	$K_a = 2506.7(U/H)(u^*/U)^3$	LA	Lau, 1972	24
نهرها و رودخانه‌ها Streams, Rivers	$K_a = 23.0400(1 + 0.17F^2)(SU)^{0.375}H^{-1}$	PP	Parkhurst and Pomeroy, 1972	25
فلوم چرخشی Recirculating flume	$K_a = 123u^*H^{-1}$	AL	Alonso et al., 1975	26

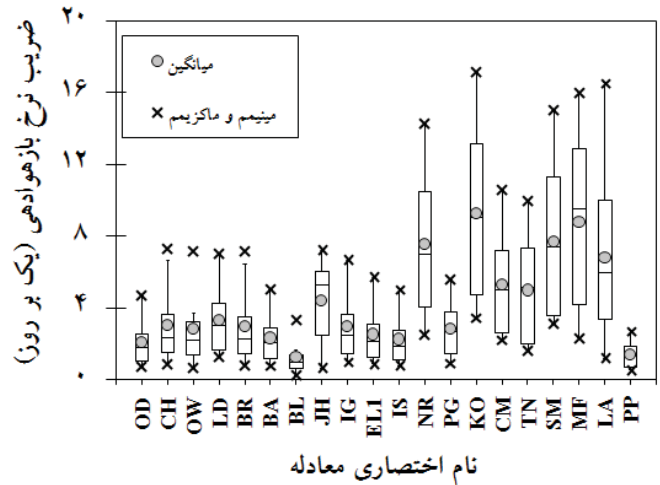
Table 2. Predictive reaeration rate equations for Sefidroud river [17]

سیستم مورد استفاده در استخراج معادله system the of Type	معادله Equation	نام معادله Name .Eq	نام محققین investigator of NVame	شماره Number
رودخانه‌های کوچک Small streams	$K_a = 23000U^{0.76}(1+F)^{2.66}S^{1.13}H^{-0.60}$	TJ	Thyssen and Jeppesen, 1980	27
رودخانه‌های بزرگ Large rivers	$K_a = 0.000025(1+9F^{1/4})u_*^3 H^{-1}$	TD	Takston and Dawson, 2001	28
فلوم Flume	$K_a = (D_m)^{2/3}(gS/2\nu R_{g-t})^{1/3} H^{-1}$	GG	Gualtieri and Gualtieri, 2004	29



شکل ۳- مقادیر پارامترهای خطای آماری در معادلات برآورد ضریب نرخ بازهوادی

Fig 3. Values of statistical error parameters in predictive reaeration rate equations



شکل ۲- مقادیر ضریب نرخ بازهوادی رودخانه سفیدرود
Fig 2. Values of predictive reaeration rate equations in Sefidroud river

غلظت اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده و N تعداد اندازه‌گیری‌های اکسیژن محلول می‌باشد.

نتایج

هر یک از معادلات تجربی ضریب نرخ بازهوادی (ارائه شده در جدول ۲) با توجه به نوع داده‌های مورد استفاده در استخراج آن معادله، دارای محدوده عملکرد مناسبی می‌باشند. تومان [۴۲] حدود تغییرات ضریب نرخ بازهوادی را بر اساس تعداد زیادی از مطالعات گذشته بین ۰/۰۵ تا ۱۲/۲ و بر حسب واحد یک بر روز عنوان کرد. بر این اساس و با توجه به نتایج ارزیابی‌های اولیه مقاله حاضر مشخص شد که از بین ۲۹ معادله مورد مطالعه، ۹ معادله‌ی GR [۱۵]، TH [۴۵]، MJ [۲۸]، TK [۴۰]، EL2 [۱۳]، AL [۱]، TJ [۴۴]، TD [۴۱] و GG [۱۶] نتوانسته‌اند تخمین مناسبی از ضریب نرخ بازهوادی سفیدرود داشته باشند. شکل ۲، مقادیر مینیمم، میانگین و ماکزیمم ضریب نرخ بازهوادی رودخانه سفیدرود را با استفاده از ۲۰ معادله‌ی باقیمانده نشان می‌دهد. شکل ۲ نشان می‌دهد که مینیمم و ماکزیمم ضریب نرخ بازهوادی

$$MME = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^N \ln(C_{p,i}/C_{m,i})}{N} \right] \quad (9)$$

درصد اریبی^۱ بیانگر بیش‌برآورد یا کم‌برآورد یک معادله است. درصد اریبی مثبت نشانگر کم‌برآورد و درصد اریبی منفی بیانگر بیش‌برآورد یک مدل می‌باشد. درصد اریبی مطابق معادله ۱۰ است [۲۵].

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (C_{m,i} - C_{p,i}) \times 100}{\sum_{i=1}^N C_{m,i}} \right] \quad (10)$$

در روابط ۷ تا ۱۰، MME، SE، SSR و PBIAS به ترتیب مجموع مربعات باقیمانده‌ها، خطای استاندارد، خطای ضریبی میانگین و درصد اریبی می‌باشد. همچنین $C_{p,i}$ غلظت اکسیژن محلول برآوردشده، $C_{m,i}$

1. Percent Bias (PBIAS)

جدول ۳- مقادیر پارامترهای خطا در ۱۳ معادله برتر برآورد ضریب نرخ بازهوادی

Table 3. Values of error parameters in 13 top performing predictive reaeration rate equations

دوره نمونه برداری Sampling date												
آبان ۱۳۸۷ Nov 2008			مهر ۱۳۸۷ Oct 2008			تیر ۱۳۸۷ Jul 2008			آذر ۱۳۸۶ Dec 2007			رتبه معادله Eq. Rank
PBIAS	SSR	نام معادله	PBIAS	SSR	نام معادله	PBIAS	SSR	نام معادله	PBIAS	SSR	نام معادله	
<u>-1.1</u>	<u>2.3</u>	<u>PP</u>	<u>-32.1</u>	88.5	<u>BL</u>	9.6	8.1	<u>KO</u>	<u>-6.0</u>	6.9	<u>PP</u>	1
-1.8	2.4	OD	-42.8	88.6	IS	9.6	8.2	MF	-4.7	7.2	BL	2
<u>-0.6</u>	2.4	BL	-45.2	89.0	EL1	9.7	8.5	SM	-8.8	10.9	OD	3
-2.1	2.5	BA	-48.7	89.5	CH	9.8	8.7	NR	-8.6	10.9	IS	4
-1.9	2.5	IS	-47.3	89.5	OW	10.0	9.4	TN	-9.5	11.8	BA	5
-2.2	2.5	EL1	-48.7	90.2	IG	10.1	9.5	CM	-9.5	12.2	EL1	6
-2.7	2.6	PG	-44.9	90.9	BA	10.2	9.8	JH	-11.2	13.8	PG	7
-3.9	2.6	LA	-49.3	91.2	BR	10.3	10.2	LA	-10.8	14.3	IG	8
-2.4	2.6	OW	-36.0	91.7	PP	10.5	10.5	LD	-10.6	14.7	OW	9
-2.6	2.7	IG	-51.8	92.6	LD	10.5	10.7	PG	-10.9	14.9	CH	10
-2.6	2.7	BR	-40.7	92.9	OD	10.5	10.7	IG	-11.3	15.5	BR	11
-2.6	2.7	CH	-49.8	94.2	PG	10.5	10.8	CH	-11.9	15.8	LD	12
-3.0	2.7	LD	<u>-63.6</u>	<u>99.8</u>	CM	10.5	10.8	BR	-16.6	22.4	JH	13

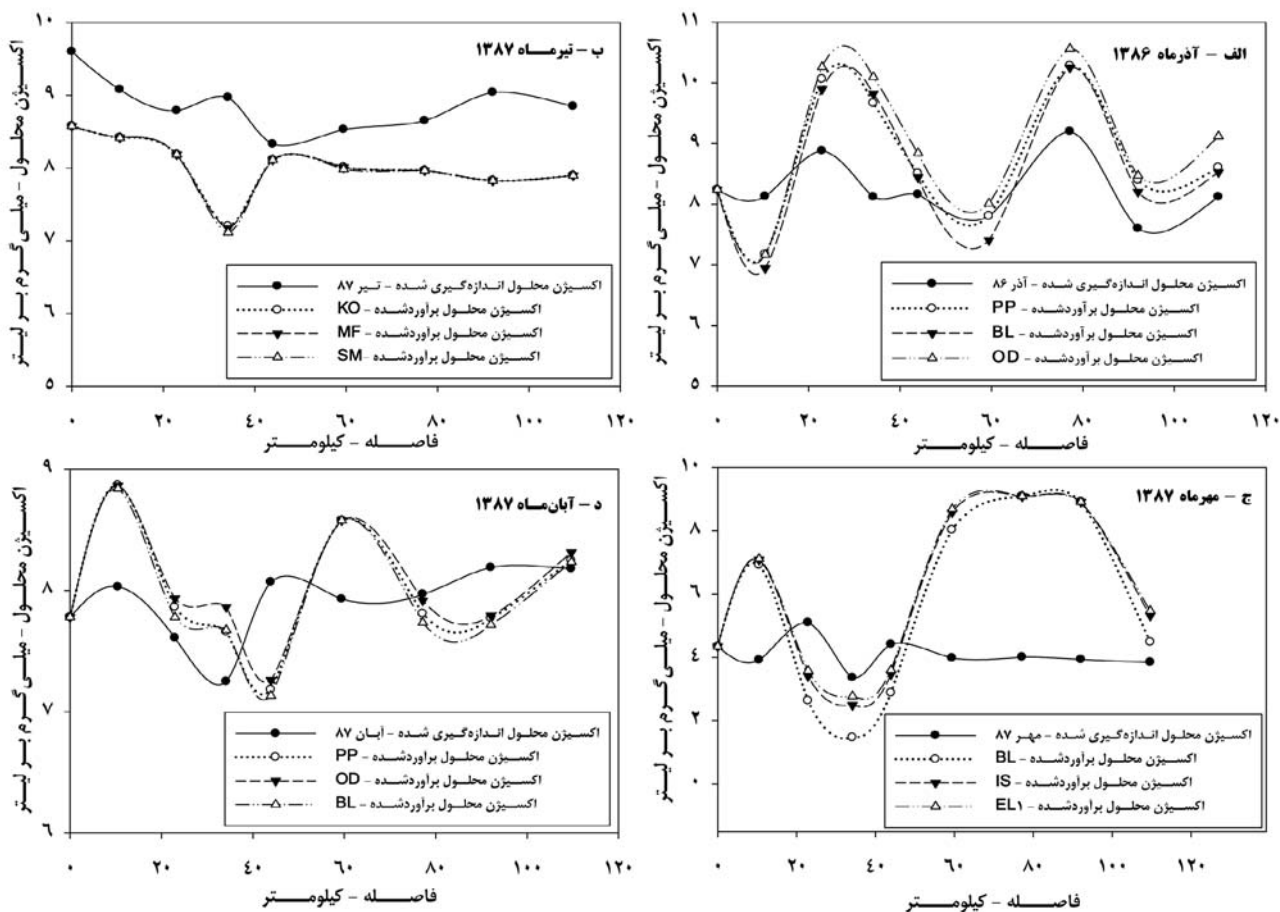
۱۳۸۷ و مهرماه ۱۳۸۷ و به ترتیب برابر ۲/۳ و ۹۹/۸ می‌باشد. نتیجه‌ی مهم جدول ۳ این است که با توجه به شرایط هیدرودینامیکی رودخانه که در طی سال متغیر می‌باشد، معادله‌ی مناسب جهت برآورد ضریب نرخ بازهوادی متفاوت است. معادله‌ی PP [۳۵] در دوره‌های آذر ۱۳۸۶ و آبان ۱۳۸۷ با بیش‌برآوردی از ۱/۱ تا ۶/۰ درصد دقیق‌ترین برآورد را از اکسیژن محلول داشته است. رتبه‌های اول، دوم و سوم دقیق‌ترین معادله به ترتیب در دوره‌های مهر ۱۳۸۷، آذر ۱۳۸۶ و آبان ۱۳۸۷ متعلق به معادله‌ی BL [۳] می‌باشد که با بیش‌برآوردی از ۰/۶ تا ۳۲/۱ درصد بهترین برآورد را از اکسیژن محلول داشته است. شکل ۴ مقادیر غلظت اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در چهار دوره داده‌مورد بررسی مربوطه را به همراه مقادیر برآوردی آن از شبیه‌سازی اکسیژن محلول (با استفاده از معادله ۳ که در آن از سه معادله برتر جدول ۳ استفاده شده است) را نشان می‌دهد.

در بین نمودارهای چهارگانه ارائه شده در شکل ۴، شکل ۴-د دارای بیشترین انطباق بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-د نشان می‌دهد که مدل‌سازی اکسیژن محلول با استفاده از روش استریتر - فلپس در آبان‌ماه ۱۳۸۷ به خوبی توانسته است برآورد مناسبی از اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده داشته باشد. اما قسمت (ج) شکل ۴ کمترین دقت روش مدل‌سازی را در برآورد اکسیژن محلول سفیدرود نشان می‌دهد. در حالی که شکل ۴-الف نشانگر هم‌روند بودن داده‌های اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده و

در ۱۳ معادله از حدود ۰/۳ تا ۱۶/۶ یک بر روز متغیر می‌باشد. مقادیر مینیمم و ماکزیمم ضریب نرخ بازهوادی در هفت معادله‌ی NR [۳۱]، [۲۲] KO، [۲۲] CM، [۷] TN، [۴۷] SM، [۳۷] MF [۲۷] و LA [۲۴] از ۱/۲ تا ۱۶/۱ یک بر روز متغیر می‌باشد. شکل ۳ پارامترهای خطای استاندارد (SE) و خطای ضریبی میانگین (MME) ۲۰ معادله را در چهار دوره نمونه‌برداری نشان می‌دهد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقادیر پارامترهای خطای SE و MME به ترتیب مربوط به دوره‌ی سوم (آبان‌ماه ۱۳۸۷) و چهارم (مهرماه ۱۳۸۷) نمونه‌برداری می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که معادله PP [۳۵] در دوره‌های اول و چهارم، KO [۲۲] در دوره دوم و BL [۳] در دوره سوم، کمترین مقادیر پارامترهای خطا را داشته‌اند. جدول ۳، رتبه‌بندی ۱۳ معادله‌ی برتر از لحاظ دقت را دوره‌های نمونه‌برداری به همراه پارامترهای مجموع مربعات باقیمانده‌ها (SSR) و درصد اریبی (PBIAS) مربوطه نشان می‌دهد.

مقادیر مثبت و منفی پارامتر درصد اریبی (PBIAS) به ترتیب بیانگر کم‌برآورد و بیش‌برآورد مقادیر تخمینی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند [۲۹]. مقادیر درصد اریبی جدول ۳ نشان می‌دهد که در دوره‌های آذرماه ۱۳۸۶، مهرماه ۱۳۸۷ و آبان‌ماه ۱۳۸۷ معادلات از حدود ۱/۱ تا ۶۳/۶ درصد دچار بیش‌برآورد بوده‌اند و تنها در دوره تیرماه ۱۳۸۷ مقادیر اکسیژن محلول را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده‌اند. کمترین و بیشترین مقادیر مجموع مربعات باقیمانده‌ها با توجه به جدول ۳ مربوط به دوره‌های آبان‌ماه



شکل ۴- مقادیر اکسیژن محلول اندازه گیری و مدل سازی شده سفیدرود
 Fig 4. Values of Measured and Simulated Dissolved Oxygen in Sefidrood

که معادله PP [۳۵] پس از روش جها و همکاران [۲۰] با خطای استاندارد و خطای میانگین ضربی به ترتیب برابر ۲/۲۴ و ۱/۵۸ بهترین تخمین را برای ضریب نرخ بازهوادی داشته است. در مقاله حاضر حدود تغییرات مقادیر پارامترهای خطای استاندارد و خطای میانگین ضربی در معادله PP به ترتیب از ۰/۵۱ تا ۳/۱۹ و از ۱/۰۵ تا ۱/۷۳ بوده است که با نتایج کالبرگی و همکاران [۲۱] مطابقت دارد. پالمبو و همکاران [۳۴] اظهار کردند که حتی بهترین معادله‌ها برای تخمین ضریب نرخ بازهوادی خطایی از ۴۰ تا بیش از ۱۰۰ درصد دارند در حالی که در مقاله حاضر نتایج نشان داد که معادله PP [۳۵] از ۱/۱ تا ۳۶/۰ درصد خطا را نشان داد که دارای دقت بیشتری از گزارش پالمبو و همکاران [۳۴] می‌باشد.

سپاسگزاری

انجام تحقیق حاضر و تهیه مقالات مربوطه با استفاده از امکانات دانشگاه تهران و داده‌های برداشت شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امکان پذیر شده است، که از هر دو تشکر و قدردانی می‌شود.

برآورد شده می‌باشد، شکل ۴-ب عدم پیروی روندها از یکدیگر را در بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر عملکرد ۲۹ معادله‌ی تخمین ضریب نرخ بازهوادی در مدل‌سازی اکسیژن محلول سفیدرود طی چهار دوره‌ی آذرماه ۱۳۸۶، تیرماه ۱۳۸۷، مهرماه ۱۳۸۷ و آبان‌ماه ۱۳۸۷ ارزیابی شد. در مجموع معادله‌های PP [۳۵]، BL [۳] و OD [۳۲] بهترین معادلات در تخمین ضریب نرخ بازهوادی سفیدرود از بین روابط مورد مطالعه می‌باشند. حیدر و همکاران [۱۷] عنوان کردند که رابطه OD [۳۲] با مجموع مربعات باقیمانده‌های از ۰/۸۵ تا ۰/۸۹، معادله مناسبی برای تخمین ضریب نرخ بازهوادی در رودخانه‌های با تغییرات زیاد جریان می‌باشد که با نتایج این تحقیق منطبق است. بطوری که در تحقیق حاضر نیز رابطه اکونر و دوینز (OD) [۳۲] با مجموع مربعات باقیمانده‌هایی از ۲/۳ تا ۹۲/۹ دقت خوبی داشته اند هر چند که نسبت به نتایج حیدر و همکاران [۱۷] از دقت نسبتاً کمتری برخوردار است. کالبرگی و همکاران [۲۱] نتیجه گرفتند

14. Environmental Protection Agency of IRAN. 2010. Prevent, control and reduce pollution Sefidroud River studies, Water pollution data analysis report. Volume 1. 398p. (In Persian)
15. Grant, R. S. 1976. Reaeration coefficient measurement of 10 small streams in Wisconsin using radioactive tracer with a section on the energy dissipation model. Geological Survey Water Resources Division: Madison, Wisconsin. 76-96. 50 p.
16. Gualtieri, C. and Gualtieri, P. 2004. Turbulence-based models for gas transfer analysis with channel shape factor influence. *Environmental Fluid Mechanics* 4: 249-271.
17. Haider, H., Ali, W. and Haydar, S. 2013. Evaluation of various relationships of reaeration rate coefficient for modeling dissolved oxygen in a river with extreme flow variations in Pakistan. *Hydrological Processes*. 27(26):3949-3963.
18. Holley, E. R. 1975. Oxygen transfer at the air-water interface, in interfacial transfer processes in water resources. State University. New York at Buffalo.
19. Jain, S. K. and Jha, R. 2005. Comparing the stream reaeration coefficient estimated from ANN and empirical models. *Hydrological Science*. 50(6):1037-1052.
20. Jha, R., Ojha, C. S. P., and Bhatia, K. K. K. 2001. Refinement of predictive reaeration equations for a typical river in India. *Hydrological Processes*. 15(6):1047-1060.
21. Kalburgi, P. B., Jha, R., Ojha, C. S. P. and Deshannavar, U. B. 2014. Evaluation of re-aeration equations for river Ghataprabha, Karnataka, India and development of refined equation. *Environmental Technology*.
22. Krenkl, P. A. and Orlob, G. T. 1962. Turbulent diffusion and the reaeration rate coefficient, *Journal of the Sanitary Engineering Division*. 88(2):53-116.
23. Langbein, W. B. and Durum, W. H. 1967. The aeration capacity of streams, USGS Survey Curriculum: Washington DC, 542p.
24. Lau, Y. L. 1972. Prediction equations for reaeration in open channel flow. *Journal of the Sanitary Engineering Division*. 98(6): 1063-1068.
25. Lehmann, E. L. 1951. A General Concept of Unbiasedness. *The Annals of Mathematical Statistics*. 22(4):587-592.
1. Alonso, C.V., McHenry, J. R. and Hong, J. C. S. 1975. The influence of suspended sediments on the reaeration of uniform streams. *Water Research*. 9: 695-700.
2. Ansaripour, A. H., Ebrahimi, K., and Omid, M. H. 2013. A Mathematical Model for River Flow Assimilation: A Case Study of Pasikhan River, Iran. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 14(2):31-42. (In Persian)
3. Baecheler, J. V. and Lazo, O. L. 1999. Evaluation of water quality modeling parameters: reaeration coefficient. IAHR, Madrid.
4. Bennett, J. P. and Rathbun, R. E. 1972. Reaeration in open-channel flow. USGS Prof. Washington, DC. 737p.
5. Black, W. M. and Phelps, E. B. 1911. The discharge of sewage New York Harbor. Report made to Board of estimate and apportionment, New York.
6. Boulton, N. S. 1954. The drawdown of the water table under non-steady condition near a pumped well in an unconfined formation. *Proc. Inst. Civil Engineering*. 3(4): 564-579.
7. Cadwallader, T. E. and McDonnel, A. J. 1969. A multivariate analysis of reaeration data. *Water Research* 3:731-742.
8. Churchill, M. A., Elmore, H. L. and Buckingham, R. A. 1962. The prediction of stream reaeration rates. *Journal of Sanitary Engineering Division*. 88(4):1-46.
9. Covar, A. P. 1976. Selecting the proper reaeration coefficient for use in water quality models. EPA Conferences on Environmental Simulation and Modeling, Cincinnati, OH.
10. Demars, B. O. L. and Manson, J.R. 2013. Temperature dependence of stream aeration coefficients and the effect of water turbulence: a critical review. *Water Research* 47(1): 1-15.
11. Dobbins, W. E. 1965. BOD and oxygen relationships in streams. *Journal of the Sanitary Engineering Division*. 90(3):53-78.
12. Draper, N. R. and Smith, H. 1998. Applied Regression Analysis (3rd edition). John Wiley. New York. 736p.
13. Eloubaldy, A. F. 1969. Wind wave and the reaeration coefficient in open channel flow. PhD Thesis. Colorado State University. Fort Collins, Colorado.

38. Streeter, H. W. and Phelps, E. B. 1925. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin No. 146. Washington (DC): Public Health Service.
39. Streeter, H. W., Wright, C. T., and Kehr, R. W. 1936. Measure of natural oxidation in polluted streams. III. Experimental study of atmospheric reaeration under stream flow conditions. Sewage works journal, 7(2):282-316.
40. Tackston, E. L. and Krenkel, P. A. 1969. Reaeration prediction in natural streams. Journal of the Sanitary Engineering Division. 95(1):65-94.
41. Takston, E. L. and Dawson, J. W. 2001. Recalibration of a reaeration equation. Journal of Environmental Engineering 127(4):317-321.
42. Thoman, R. V. 1972. System analysis and water quality measurement. Environmental research and application, McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
43. Thomann, V. R. and Mueller, A. J. 1987. Principals of surface water quality modeling. Harper International Edition. Harper & Row: New York.
44. Thyssen, N. and Jeppesen, E. 1980. Genluftning I mindre vandlob. Wattern, In Denish. 36:231-248.
45. Thyssen, N., Erlandse, M., Jeppesen, E. and Ursin, C. 1987. Reaeration of oxygen in shallow, macrophyte rich streams: I-Determination of the reaeration rate coefficient. International Review of Hydrobiology 72(4):405-429.
46. Tsiouoglou, E. C. and Wallace, J. R. 1972. Characterization of stream reaeration capacity. Report No. EPA-R3-72-012. Washington (DC): US Environmental Protection Agency.
47. Tsiouoglou, E. C. and Neal, L. A. 1976. Tracer measurement of reaeration: III Predicting the reaeration capacity of inland streams. Journal of Water Pollution Control Federation. 48:2669-2689.
48. Zison, S., Mills, B. W., Diemer, D. and Chen, W. C. 1978. Rates, constants and kinetic formulations in surface water quality modeling. Athens: Tera Tech, Inc. USEPA, ORD. 455p.
49. Zogorski, J. S. and Faust, S. D. 1973. Atmospheric reaeration capacity of streams, Part II, Direct measurement of the atmospheric reaeration rate constant in the upper Raritan river basin. Environmental Letter. 4(1):61-85.
26. Ling, L., Chunli, Q., Qidong, P., Zhifeng, Y. and Qianhong, G. 2010. Numerical simulation of dissolved oxygen supersaturation flow over the three gorges dam spillway. Tsinghua Science and Technology. 15(5):574-579.
27. Melching, C. S. and Flores, H. E. 1999. Reaeration equations derived from US geological survey database. Journal of Environmental Engineering. 125(5): 407-414.
28. Mogg, D. B. and Jirka, G. H. 1998. Analysis of reaeration equations using mean multiplicative error. Journal of Environmental Engineering. 124(2):104-110.
29. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(3): 885-900.
30. Nazari, A., Ebrahimi, K. and Omid, M. H. 2013. Comparison of methods for estimating longitudinal dispersion coefficient in simulation of dissolved oxygen - River Pasikhan. 9th International River Engineering Conference. Shahid Chamran University. Ahvaz. (In Persian)
31. Negulescu, M. and Rojanski, V. 1969. Recent research to determine reaeration coefficient. Water Resources. 189-202.
32. O'Connor, D. J. and Dobbins, W. E. 1958. Mechanism of reaeration in natural streams. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 123:641-684.
33. Owens, M., Edwards, R. W. and Gibbs, J. W. 1964. Some reaeration studies in streams. International Journal of Air Water Pollution. 8(8/9):469-486.
34. Palumbo, J. E. and Brown, L. C. 2014. Assessing the Performance of Reaeration Prediction Equations. Journal of Environmental Engineering. 140(3): 04013013(7).
35. Parkhurst, J. D. and Pomeroy, R. D. 1972. Oxygen absorption in streams, Journal of the Sanitary Engineering Division. 98(1):101-124.
36. Shindala, A. and Trux, D. D. 1980. Reaeration characteristics of small streams, engineering and industrial reaserch station, Mississippi state university, Mississippi.
37. Smoot, J. L. 1988. An examination of steam reaeration rate coefficients and hydraulic conditions in pool and riffle streams. PhD Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University: Blacksburg, VA.

*Abstract***Evaluation of Sefidroud River's Re-aeration Rate Coefficient**M. Mohammadi Ghaleni¹, K. Ebrahimi² and M. H. Omid³

Accurate estimation of the re-aeration rate coefficient is very important for the purposes of dissolved oxygen and self-purification modeling in rivers. The main target of this paper is to evaluate 29 commonly used re-aeration rate coefficient prediction equations, in Sefidroud River, North of Iran, as a case study. In this paper, the river's dissolved oxygen has been modeled involving Streeter- Phelps method. Then the predicted re-aeration rate coefficient results have been compared with four series of collected and measured data of the river. The studied reach of the river has a length of 110km, including 12 water quality sampling stations along that and it is extended from downstream of Sefidroud Dam to the south coast of Caspian Sea. According to the results, among all equations Parkhurst-Pomeroy equation has shown the most accurate prediction of the re-aeration rate coefficient values, with the statistical parameters of Standard Error (SE), Mean Multiplicative Error (MME), Sum of Square of Residuals (SSR) equal to 0.51, 1.05 and 2.35, respectively. Moreover, results indicate that the river has a high Biochemical Oxygen Demand (BOD) and also, a low Self-Purification capacity, during September, which is simultaneous with the seepage of non-point drained agricultural pollutions.

Keywords: *Biochemical Oxygen Demand, Oxygen dissolved modeling, Re-aeration rate coefficient, Sefidroud River, Streeter- Phelps.*

1. PhD Student of Water Resources Engineering, University of Tehran.

2. Associate Professor, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran. Corresponding Author
E-mail: Ebrahimik@ut.ac.ir

3. Professor, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran .