

## Quality assessment of Zarrinehroud River Using Qual2k Simulation Model

Jalalzadeh A<sup>1</sup>, Rabieifar H<sup>\*2</sup>, Vosoughifar H<sup>2</sup>, Razmkhah A<sup>2</sup>, Fataei E<sup>3</sup>

1. Ph.D Student, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Professor Assistant, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Department of Science and Engineering Environment, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

\* *Corresponding author.* Tel/Fax: +989123170999, E-mail: h\_rabieifar@azad.ac.ir

Received: Oct 3, 2019 Accepted: Jun 7, 2020

### ABSTRACT

**Background& objectives:** Zarrinehroud River is one of the most important permanent and water-rich rivers in West Azerbaijan province located in the catchment area of Lake Urmia. In this study, to evaluate the quality of the Zarrinehroud River, with a length of 57.5 kilometers from the outlet of Noroozlou to the drainage dam to the Lake Urmia, QUAL2K computer simulation model was used.

**Methods:** The selected parameters of the model included: flow, dissolved oxygen (DO) and biochemically required oxygen. The selected time for the simulation was May 2016. Model calibration was performed by determining the oxidation coefficients of carbonaceous materials and the re-aeration coefficient of the river, using the mean square root of error (RMSE) method

**Results:** The results show that the water quality of the river downstream of the Noruzlu regulatory dam has caused significant changes in the quality parameters of the river due to receiving wastewater from slaughterhouses, sugar factories, urban, rural and agricultural drains.

**Conclusion:** Due to the high self-purification capacity of the river, the amount of dissolved oxygen is appropriate and the amount of BOD has reached an acceptable level despite a sudden increase. In terms of matching the observational data with the output diagram of the model, there was a good fit in other parameters except flow rate. In the case of non-compliance of the observed flow data with the simulation diagram, it may be due to unauthorized withdrawals from the river for agricultural purposes.

**Keywords:** Modeling; Water Quality; QUAL2K; Zarrinehroud River

## بررسی کیفیت رودخانه زرينه رود با استفاده از مدل شبیه سازی QUAL2K

آرمین جلال زاده<sup>۱</sup>، حمیدرضا ربیعی فر<sup>۲\*</sup>، حمیدرضا وثوقی فر<sup>۲</sup>، آرش رزمخواه<sup>۲</sup>، ابراهیم فتائی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری عمران آب، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

\* نویسنده مسئول. تلفکس: ۰۹۱۳۳۱۷۰۹۹۹ ایمیل: h\_rabieifar@azad.ac.ir

### چکیده

**زمینه و هدف:** رودخانه زرينه رود یکی از رودخانه های مهم دائمی و پر آب استان آذربایجان غربی است که در حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد. در این مطالعه با هدف بررسی کیفیت بخشی از رودخانه زرينه رود به طول ۵۷/۵ کیلومتر از محل خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا محل تخلیه به دریاچه ارومیه از مدل شبیه سازی کامپیوتری QUAL2K استفاده گردید.

**روش کار:** پارامترهای انتخابی مدل شامل: دبی، اکسیژن محلول (DO) و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی بود. زمان انتخابی برای شبیه سازی اردیبهشت ۱۳۹۷ انتخاب گردید. کالیبراسیون مدل با استفاده از تعیین ضرایب اکسیداسیون مواد کربنی و ضریب هوادهی مجدد رودخانه، با استفاده از روش میانگین جذر مربعات خطا (RMSE) انجام گردید.

**یافته ها:** نتایج تحقیق حاکی از آن بود که در پایین دست سد تنظیمی نوروزلو بدلیل دریافت فاضلاب کشتارگاه دام، کارخانه قند، فاضلاب های شهری، روستایی و زهاب های کشاورزی تغییرات چشمگیری در پارامترهای کیفی رودخانه به وجود آمده است.

**نتیجه گیری:** به دلیل بالا بودن ظرفیت خودپالایی رودخانه میزان اکسیژن محلول در حد مناسبی بوده و میزان BOD نیز با وجود افزایش ناگهانی به حد قابل قبولی رسیده بود. از نظر انطباق داده های مشاهداتی با نمودار خروجی مدل به غیر از دبی جریان در سایر پارامترها انطباق مناسبی وجود داشت که عدم انطباق داده های مشاهداتی دبی جریان با نمودار شبیه سازی می تواند به دلیل برداشت های غیرمجاز از رودخانه برای مصارف کشاورزی باشد.

**واژه های کلیدی:** مدل سازی، کیفیت آب، QUAL2K، رودخانه زرينه رود

پذیرش: ۹۹/۳/۱۸

دریافت: ۹۸/۷/۱۱

### مقدمه

رودخانه ها به عنوان یکی از مهمترین منابع آب سطحی و ذخایر ارزشمند اکولوژیک دارای نقش و کارکردهای متعددی از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی، آب مورد نیاز شهری و صنعتی تردد و حمل و نقل آبی، ماهیگیری و شیلات و نیز ارزش های بصری و زیباشناختی هستند. همچنین رودخانه ها به عنوان با ارزش ترین اکوسیستم های آبی هستند که سلامت و

بقای آنها سبب حفظ بقای کلیه موجودات زنده استفاده کننده از آن می شود. استفاده پایدار از هر یک از این کارکردها می بایست متکی بر اصول حفاظتی و استفاده پایدار از رودخانه باشد و عدم توجه به ظرفیت رودخانه موجب آلودگی آب و تهدید حیات آن می گردد (۱). توسعه روز افزون فعالیت های کشاورزی، صنعتی و افزایش قابل توجه حجم فاضلاب های شهری موجب آلودگی منابع آب، به ویژه

رودخانه‌ها شده است. آلودگی رودخانه‌ها یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی منابع آب و از مسائل مرتبط با توسعه اقتصادی و کیفیت زندگی در بسیاری از مناطق دنیا است (۲). کنترل، نظارت و پیش‌بینی تغییرات پارامترهای کیفی در اعمال مدیریت کیفیت در رودخانه‌ها، همواره نیاز دست اندرکاران و تحلیل‌گران این امر را به استفاده از راهکارها، تکنیک‌ها و مدل‌هایی که حتی‌الامکان به واقعیت مسئله نزدیک‌تر بوده و مطابقت بیشتری با محیط داشته باشند، اجتناب ناپذیر می‌نماید. روش‌های شبیه‌سازی کیفی رودخانه با توجه به ویژگی‌هایی که دارند می‌توانند راهکارهای مفید و مثمر ثمر برای شناخت هر چه دقیق‌تر و تحلیل آلودگی رودخانه‌ها و در پی آن، استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری صحیح در مدیریت کیفی آب باشند (۳). مدل‌سازی کیفی به ما اجازه می‌دهد تا درک صحیحی از واکنش یک پیکره آبی به فشارهای ناشی از بار آلودگی داشته باشیم و در جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در چارچوب رهنمودهای کیفی آب کمک می‌کند (۴). مدل شبیه‌سازی QUAL2Kw برای شبیه‌سازی تغییرات فصلی خودپالایی رودخانه کارون نیز به کار برده شده است. در این تحقیق ۱۱۳ کیلومتر از رودخانه انتخاب و پارامترهای DO، BOD، نیتراژ و کلیفرم به منظور شبیه‌سازی کیفیت رودخانه در نظر گرفته شد و سناریوهای مختلف کاهش و افزایش دبی جریان رودخانه و منابع آلاینده اجرا شد (۵). همچنین تحقیق دیگری بر روی رودخانه دز برای بررسی توان خودپالایی آن صورت گرفت که نشان داد این رودخانه قابلیت خودپالایی ۹۸ درصدی دارد (۶). طی تحقیقی به توسعه سیستم مدل‌سازی کیفیت آب حوضه آبریز رودخانه کائوینگ تایوان پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که جامدات معلق نقش مهمی را در محاسبه شاخص کیفیت آب رودخانه ایفا می‌کند و در زمان محاسبه شاخص کیفی آب رودخانه به ویژه در بالادست حوضه در فصول پرآبی، عامل مهمی بود.

این به دلیل این واقعیت بود که فرسایش خاک سبب افزایش غلظت جامدات معلق پس از سیلاب در فصول پرآبی می‌گردد و دبی بالای جریان رودخانه باعث تخلیه آلاینده‌های غیرنقطه‌ای و نیتروژن آمونیاکی در بخش‌های بالای رودخانه شد. همچنین نتایج نشان داد که رویکرد یکپارچه می‌تواند ارتباط مستقیم بین سرعت جریان رودخانه، کیفیت آب و شاخص آلودگی ایجاد کند (۷). کارتیگا نسبت به بررسی ظرفیت خودپالایی رودخانه باوانی در هند پرداخت و در این تحقیق عامل اصلی در پیش‌بینی سلامت رودخانه را توان خودپالایی رودخانه بیان کرده است. وی در این تحقیق رودخانه ای به طول ۲۱۵ کیلومتر را در نظر گرفت و در نهایت عامل موثر در توان خودپالایی رودخانه را اکسیژن معرفی کرد (۸). طی ارزیابی اثرات گیاهان رودخانه ریدی در کارولینای جنوبی، در حذف آلودگی پساب تخلیه شده از تصفیه‌های فاضلاب رودخانه پرداختند. در این تحقیق از برنامه ترکیبی مدل‌سازی و برنامه شبیه‌سازی کیفی WASP استفاده شد و هر دو بخش کمی و کیفی مطالعه شد. در شبیه‌سازی اول متغیرهای مورد استفاده شامل تمامی مواردی که در TMDL (حداکثر بار آلودگی روزانه) بود استفاده شده و شبیه‌سازی دوم شامل مدل حذف کامل پساب تخلیه شده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تخلیه شده به رودخانه بود. نتایج نشان می‌داد که حذف پساب موجب حذف ۷۰ درصدی بار آلودگی توسط گیاهان در بالادست و حذف ۶۶ درصدی بار آلودگی در پایین دست می‌گردد. بر اساس مقادیر جریان روزانه به طور متوسط در طول هفت سال، کل نیتروژن و کل فسفر و بارهای جرمی با حذف پساب کاهش خواهد یافت (۹). هانگ در سال ۲۰۱۳ از طریق مدل SWAT که برای ارزیابی تاثیر پوشش زمین و کاربری اراضی بر روی منابع آب حوضه آبریز رودخانه شمال چین استفاده نمود. نتایج تحقیق نشان از شرایط خوب بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌شده ماهانه و روزانه شدت جریان و همچنین

مقادیر بار فسفر و نیتروژن آمونیاکی به صورت ماهانه بود (۱۰). طی مطالعه ای که برای شناسایی منابع آلاینده و ارزیابی اثرات آن بر کیفیت رودخانه گالینگ در کشور مالزی، با استفاده از مدل شبیه سازی عددی صورت گرفت نتایج خروجی نشان داد رودخانه گالینگ به دلیل تخلیه فاضلاب خانگی و صنعتی دارای آب با کیفیت پایین است که از نظر طبقه بندی در کلاس ۴ کیفیت آب رودخانه ها قرار دارد. میزان کاهش بار آلودگی رودخانه تا ۸۰ درصد می تواند کلاس کیفیت آب رودخانه را در رده ۲ قرار دهد (۱۱). مدل QUAL2Kw را جهت ارزیابی واکنش رودخانه سریتما به بارهای آلودگی مختلفی همچون نیتروژن و فسفر به کار بردند. رودخانه سریتما یک رودخانه کوچک در کشور پرتغال است از مقایسه نتایج مقادیر جریان اندازه گیری شده و شبیه سازی مدل QUAL2Kw می توان نتیجه گرفت که برای تغییر وضعیت طبقه بندی رودخانه سریتما از اتروپیک به مزوتروپیک لازم است، مقادیر بار واقعی فسفر و نیتروژن را ۵ تا ۱۰ برابر کاهش داد (۱۲). در بررسی و مطالعه توان خودپالایی رودخانه جوما در چین، ظرفیت خودپالایی رودخانه ها را یکی از عوامل اصلی سلامتی رودخانه ها معرفی نموده اند. توانایی جذب آلاینده ها توسط سه گیاه به این نتیجه رسیدند که میروفیلوم دارای بیشترین قدرت جذب آلاینده گی می باشد (۱۳). انواع مختلفی از مدل های شبیه سازی کیفی رودخانه ها، مخازن، خلیج ها و آب های زیرزمینی تدوین شده، تکامل پیدا کردند. یکی از مدل هایی که به طور عمده در شبیه سازی سیستم های رودخانه ای مورد استفاده قرار می گیرد، مدل شبیه سازی QUAL2K می باشد. در دهه های گذشته، مدل های شبیه سازی به طور مکرر برای مدیریت کیفی

(رابطه ۱)

رودخانه ها به کار رفته اند. در این روش ها، ابتدا رودخانه به چند بازه تقسیم می شود که این تقسیم بندی می تواند در مقاطعی که تغییر ناگهانی در میزان دبی رودخانه یا کیفیت آن صورت می گیرد مانند محل تخلیه فاضلاب های ورودی یا محل ورود انشعابات فرعی رودخانه ها انجام گیرد. بر مبنای این تقسیم بندی، پارامترهای مورد نظر در معادلات حاکم بر مسأله در هر بازه محاسبه و معمولاً در طول آن ثابت در نظر گرفته می شوند. مدل QUAL2K به طور گسترده ای هم اکنون جهت شبیه سازی کیفیت آب رودخانه ها مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله توانایی های این مدل این است که می تواند سیستم را به صورت شاخه ای با شاخه های فرعی در نظر بگیرد. همچنین قابلیت شبیه سازی رودخانه را به صورت یک بعدی، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت دارد و می تواند اثر بارگذاری را به دو صورت نقطه ای و غیرنقطه ای در نظر بگیرد. مدل QUAL2K همچنین قادر است تغییرات را به صورت روزانه و با گام های زمانی کمتر از یک ساعت شبیه سازی کند (۱۴). مدل QUAL2K یک قطعه از رودخانه را به تعدادی المان محاسباتی تقسیم می کند و برای هر المان موازنه هیدرولوژیکی را بر حسب دبی ( $m^3/s$ )، موازنه حرارتی را بر حسب دما ( $^{\circ}C$ ) و موازنه جرم را بر اساس غلظت ( $mg/L$ ) انجام می دهد. معادله یک بعدی انتقال جرم، جابجایی- انتشار به عنوان معادله اساسی و حاکم بر مدل QUAL2K است که به صورت عددی برای هر پارامتر کیفی آب نسبت به مکان و زمان نوشته می شود. برای هر پارامتر کیفی آب (C)، این معادله به صورت رابطه ۱ نوشته می شود.

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

که در آن:

$c$ : غلظت ( $g/m^3$ );  $\vec{E}$ : ضریب پخش بین المان  $i+1.i$   
 $Q$ : دبی ( $m^3/d$ );  $w$ : بارهای خارجی وارده به  
 المان  $i$  ( $g/d$ );  $V$ : حجم المان  $i$  ( $m^3$ );  $S$ : منابع و  
 مصارف ناشی از واکنش و انتقال جرم ( $g/m^3d$ );  
 $t$ : زمان ( $d$ )

افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی، گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد وضع نابسامانی در بسیاری از مناطق جهان شده است. رشد و توسعه در عین حال که رفاه و بهداشت عمومی را بهبود بخشیده، تخریب محیط زیست را نیز در پی داشته است. افزایش قابل توجه بار آلودگی و تنوع آلاینده‌های مختلف شهری، کشاورزی و صنعتی، نیاز به مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب را بیش از پیش ضروری ساخته است. در این تحقیق با توجه به اینکه رودخانه زرينه‌رود یکی از شریان‌های اصلی تامین آب دریاچه ارومیه است جهت بررسی توانایی خودپالایی رودخانه نسبت به مدل‌سازی کیفیت آب این رودخانه با استفاده از مدل QUAL2K اقدام گردید. این مدل توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) بسط داده شده است و از روش تفاضل محدود برای حل معادلات جابجایی و پخش استفاده می‌شود. در این مدل امکان تعریف منابع نقطه‌ای، برداشت‌ها، جریان‌های فرعی ورودی و خروجی متعدد وجود دارد.

## روش کار

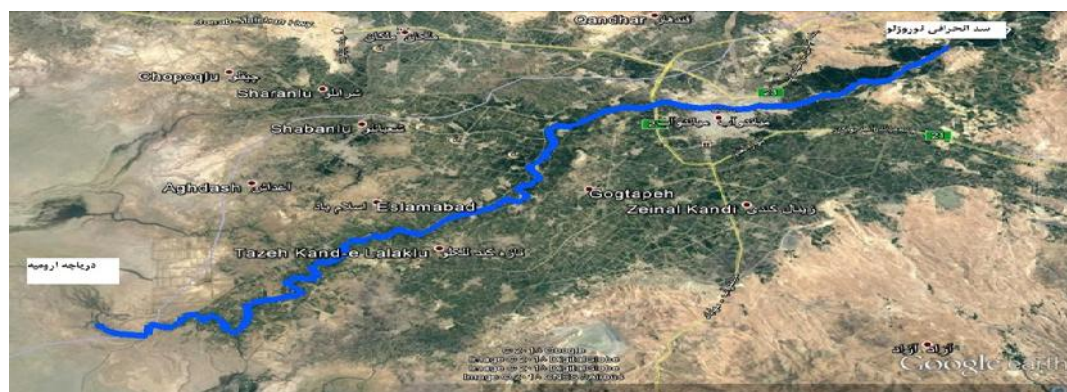
### معرفی منطقه مطالعاتی

رودخانه زرينه‌رود، در مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 40'$  تا  $37^{\circ} 28'$  طول شرقی و  $45^{\circ} 45'$  تا  $47^{\circ} 24'$  عرض شمالی واقع شده است. این رودخانه یکی از مهمترین و طول‌ترین رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه با طول تقریبی ۲۹۵ کیلومتر و دارای مساحتی معادل ۱۲۷۲۹۱۸ کیلومتر مربع می‌باشد. در حال

حاضر منابع آلاینده نقطه ای و غیرنقطه ای متعددی همچون فاضلاب کارخانه قند میاندوآب، پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهری میاندوآب و فاضلاب کشتارگاه دام و همچنین پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی روستاهای مجاور به رودخانه تخلیه و موجب افت کیفیت آن در طول مسیر گردیده اند.

در این تحقیق به منظور بررسی کیفیت رودخانه زرينه‌رود، حد فاصل بین سد تنظیمی نوروزلو تا محل تخلیه به دریاچه ارومیه به طول ۵/۵ کیلومتر انتخاب و با استفاده از مدل QUAL2K در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ شبیه‌سازی گردید. پارامترهای کیفی انتخابی شامل اکسیژن محلول (DO) و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) بود. در شکل ۱ موقعیت رودخانه زرينه‌رود در حد فاصل بین سد تنظیمی نوروزلو و دریاچه ارومیه ارائه گردیده است. داده‌های مورد نیاز مدل شامل هندسه رودخانه، بازه‌بندی رودخانه و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های نمونه‌برداری که در جدول ۱ ارائه گردیده است. ارزیابی نتایج خروجی مدل (واسنجی مدل) با استفاده از تغییر ضرایب اکسیداسیون اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و تغییر ضریب هوادهی مجدد رودخانه و با استفاده از روش میانگین جذر مربعات خطا (RMSE) صورت گرفت و ضرایبی که دارای کمترین مقدار RMSE بودند به عنوان بهترین ضریب جهت کالیبراسیون در مدل مورد استفاده قرار گرفت.

در جدول ۲ به بررسی مختصات جغرافیایی رودخانه زرينه‌رود از خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا دریاچه ارومیه به همراه کدهای ارتفاعی در بازه‌های تعیین‌شده پرداخته شده است. مدل QUAL2K سیستم رودخانه‌ای را به صورت مجموعه بازه‌ها در نظر می‌گیرد. بازه‌بندی رودخانه توسط کاربر و بر اساس اینکه بایستی هر بازه دارای خصوصیات هیدرولیکی مانند شیب، عرض کف و سایر موارد، ثابت و یکسان باشد، صورت می‌گیرد.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه از رودخانه زرينه رود

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری رودخانه زرينه رود از خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا دریاچه ارومیه

شماره ایستگاه	موقعیت ایستگاه	علت انتخاب ایستگاه	فاصله ایستگاه نسبت به انتهای رودخانه (KM)
S1	ایستگاه سرآب (خروجی سد تنظیمی نوروزلو)	آگاهی از کیفیت آب رودخانه در سرآب	۵۷/۵
S2	قبل از شهر میاندوآب	بررسی کیفیت رودخانه قبل از تخلیه آلاینده‌های شهری میاندوآب	۴۹/۵
S3	بعد از شهر میاندوآب (قبل از تخلیه پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری میاندوآب)	بررسی تأثیر آلاینده‌های شهری میاندوآب بر کیفیت رودخانه	۴۰/۱۴
S4	پل نظام آباد	بررسی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت رودخانه	۲۳/۰۸
S5	ورودی دریاچه	کیفیت آب رودخانه در محل تخلیه به دریاچه ارومیه	۰/۲

جدول ۲. مشخصات بازه بندی رودخانه زرينه رود از خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا دریاچه ارومیه

شماره بازه	ارتفاع ابتدای بازه	ارتفاع انتهای بازه	طول بازه Km	طول جغرافیایی انتهای بازه	عرض بازه m	عرض جغرافیایی انتهای بازه	شیب بازه
صفر	-	۱۲۹۹	-	36°53'59.37"N	۲۴	46°12'22.28"E	-
۱	۱۲۹۹	۱۲۹۸	۱.۸۴	36°54'17.94"N	۲۳	46°11'15.99"E	۰/۰۰۹
۲	۱۲۹۸	۱۲۹۷	۱.۵۷	36°54'59.87"N	۲۵	46°10'44.96"E	۰/۰۰۸
۳	۱۲۹۷	۱۲۹۶	۲	36°55'18.73"N	۲۴	46° 9'30.97"E	۰/۰۰۸
۴	۱۲۹۶	۱۲۹۴	۲.۱	36°56'5.40"N	۲۲	46° 8'37.91"E	۰/۰۰۸
۵	۱۲۹۴	۱۲۹۳	۲.۲۶	36°56'59.72"N	۲۳	46° 7'41.07"E	۰/۰۰۹
۶	۱۲۹۳	۱۲۹۱	۲.۱۹	36°57'58.20"N	۲۶	46° 6'56.47"E	۰/۰۰۹
۷	۱۲۹۱	۱۲۹۰	۲.۱۷	36°59'2.32"N	۲۵	46° 6'26.92"E	۰/۰۰۸
۸	۱۲۹۰	۱۲۸۹	۱.۷۴	36°59'56.75"N	۲۴	46° 6'21.34"E	۰/۰۰۸
۹	۱۲۸۹	۱۲۸۸/۲	۱.۴۹	37° 0'26.85"N	۲۷	46° 5'34.93"E	۰/۰۰۶
۱۰	۱۲۸۸/۲	۱۲۸۷/۴	۱.۶۷	37° 1'11.25"N	۲۵	46° 5'3.19"E	۰/۰۰۶
۱۱	۱۲۸۷/۴	۱۲۸۶/۶	۲	37° 1'42.54"N	۲۳	46° 3'54.60"E	۰/۰۰۷

۰/۰۰۹	46° 3'11.37"E	۲۳	37° 2'22.15"N	۱,۸۴	۱۲۸۵/۸	۱۲۸۶/۶	۱۲
۰/۰۱	46° 2'17.16"E	۲۴	37° 2'6.64"N	۱,۶۳	۱۲۸۵	۱۲۸۵/۸	۱۳
۰/۰۰۸	46° 1'1.18"E	۲۶	37° 2'1.45"N	۲,۰۲	۱۲۸۴/۴	۱۲۸۵	۱۴
۰/۰۰۹	46° 0'4.13"E	۲۴	37° 1'42.90"N	۲,۰۱	۱۲۸۳/۸	۱۲۸۴/۴	۱۵
۰/۰۱	45°59'1.95"E	۲۵	37° 1'58.42"N	۱,۹۴	۱۲۸۳	۱۲۸۳/۸	۱۶
۰/۰۰۸	45°58'23.80"E	۲۶	37° 1'59.61"N	۱,۸۵	۱۲۸۲/۵	۱۲۸۳	۱۷
۰/۰۰۹	45°56'54.07"E	۲۷	37° 2'54.58"N	۳,۰۷	۱۲۸۱/۲	۱۲۸۲/۵	۱۸
۰/۰۰۶	45°55'42.38"E	۲۵	37° 3'26.55"N	۲,۰۸	۱۲۸۰	۱۲۸۱/۲	۱۹
۰/۰۰۵	45°54'49.49"E	۲۶	37° 4'20.13"N	۲,۵۵	۱۲۷۹/۴	۱۲۸۰	۲۰
۰/۰۰۹	45°54'0.99"E	۲۳	37° 4'56.09"N	۲,۰۶	۱۲۷۸/۶	۱۲۷۹/۴	۲۱
۰/۰۱	45°53'2.12"E	۲۴	37° 5'5.43"N	۱,۹۷	۱۲۷۸	۱۲۷۸/۶	۲۲
۰/۰۰۸	45°51'49.29"E	۲۴	37° 5'35.85"N	۲,۲۹	۱۲۷۷/۳	۱۲۷۸	۲۳
۰/۰۰۸	45°51'2.95"E	۲۳	37° 5'57.09"N	۲,۲۱	۱۲۷۶/۷	۱۲۷۷/۳	۲۴
۰/۰۰۷	45°50'22.51"E	۲۲	37° 5'20.82"N	۱,۸۹	۱۲۷۶	۱۲۷۶/۷	۲۵
۰/۰۰۸	45°49'20.28"E	۲۳	37° 6'22.27"N	۲,۵۱	۱۲۷۵/۲	۱۲۷۶	۲۶
۰/۰۱	45°48'0.02"E	۲۴	37° 6'5.50"N	۲,۲	۱۲۷۴/۵	۱۲۷۵/۲	۲۷
۰/۰۰۸	45°48'5.16"E	۲۳	37° 7'2.16"N	۲,۵۵	۱۲۷۴	۱۲۷۴/۵	۲۸

## یافته‌ها

و داده‌های مشاهداتی در جدول ۶ ارائه گردیده است.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، بهترین ضریب جهت کالیبراسیون مدل از کمترین مقدار RMSE که به دست آمده انتخاب می‌گردد. بنابراین بهترین ضریب اکسیداسیون BOD در مقدار RMSE ۰/۱۴ و بهترین ضریب هوادهی مجدد رودخانه در مقدار RMSE ۰/۲۴ و برابر با ۸/۵ به دست آمد و جهت کالیبراسون مدل استفاده گردید.

داده‌های مورد نیاز نرم افزار QUAL2K که شامل داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک مهاباد (۱۵) و مشخصات منابع آلاینده نقطه ای از شرکت مهندسی مشاور لار بود تهیه و در جدول ۳ الی ۵ ارائه گردیده است (۱۶).

نتایج ارزیابی مدل شبیه‌سازی (واسنجی مدل) کیفی رودخانه زرينه‌رود در فصل بهار بر اساس روش جذر میانگین مربع خطا (RMSE) بین داده‌های شبیه‌سازی

جدول ۳. داده مشخصات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مهاباد (اداره کل هواشناسی آذربایجان غربی)

فصل	دمای هوا °C	دمای نقطه شبنم °C	سرعت باد کیلومتر بر ساعت	شدت ابرناکی (درصد)	سایه
بهار	۱۸,۵	۳,۹	۷	۳۰٪	۰

جدول ۴. داده‌های کمی و کیفی ایستگاه‌های نمونه برداری از خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا دریاچه ارومیه در فصل بهار

نام ایستگاه	موقعیت ایستگاه از انتهای رودخانه	دبی (m <sup>3</sup> /s)	دمای آب °C	اکسیژن محلول mg/l	اکسیژن مورد نیاز بيو شیمیایی mg/l
S1	۵۷,۵	۳/۶	۲۵	۷/۲	۳/۸
S2	۴۹,۵	۳/۶	۲۱	۷/۶	۳
S3	۴۰,۱۴	۰/۹۳	۱۲	۶/۲	۴/۷
S4	۳۳,۰۸	۷/۵	۱۸	۷/۱	۳/۵
S5	۰,۲	۱/۲	۱۹/۵	۶/۲	۲

جدول ۵. مشخصات منابع آلاینده نقطه ای از خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا دریاچه ارومیه (شرکت مهندسی مشاور لار)

نام منبع آلاینده	دبی (m <sup>3</sup> /s)	موقعیت محل تخلیه از انتهای رودخانه (km)	کیفیت		
			دما °C	اکسیژن محلول mg/l	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی mg/l
زهکش h40dd2	۰/۰۵	۵۶/۲	۲۸/۶	۴	۵
زهکش h41lt1d	۰/۰۵	۵۴	۲۷/۲	۴	۵
زهکش h41lt2d	۰/۰۵	۴۹/۹	۲۵/۶	۴	۵
کارخانه قند	۰/۰۱	۴۶	۳۳/۵	۰/۷۳	۵
نهرهای شهری میاندوآب	۰/۰۵	۴۵/۷۴	۳۰/۸	۱	۷۰
نهرهای شهری شمال میاندوآب	۰/۰۵	۴۵/۳	۳۱/۲	۳/۵	۷۰
کشتارگاه دام	۰/۰۵	۴۴/۴	۳۰/۱	۰/۵	۱۲۰۰
تصفیه خانه فاضلاب شهری میاندوآب	۰/۱۲	۳۸/۱۷	۲۹/۵	۲	۲۵

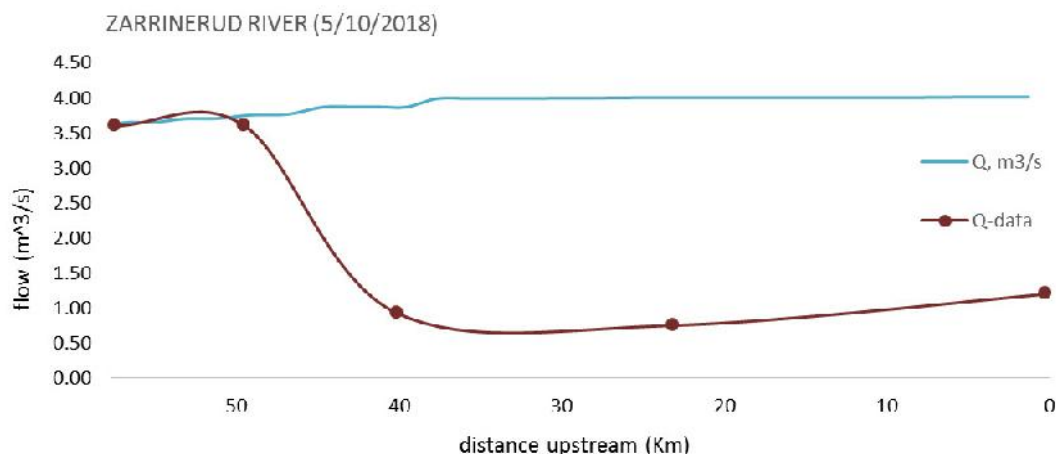
جدول ۶. نتایج مقایسه کمی مدل QUAL2K و داده‌های مشاهداتی رودخانه زرینه‌رود در فصل بهار

مقدار ضریب اکسیداسیون BOD (داده‌های مشاهداتی)				مقدار ضریب هوا دهی DO (داده‌های مشاهداتی)			
۲	۳	۴	۵	۸٫۵	۱۵	۲۲	۳۳
۰٫۹۹	۰٫۴۳	۰٫۱۴	۰٫۵۱	۰٫۲۴	۰٫۸۷	۱٫۰۱	۱٫۱۵
RMSE							
پایین دست سد نوروزلو							

با توجه به اینکه دبی جریان رودخانه زرینه‌رود در پایین‌دست سد بوکان به صورت تنظیمی و ناشی از رهاسازی از مخزن سد با توجه به نیاز آبی پایین‌دست می‌باشد، لذا تغییرات شدت جریان در رودخانه نیز در اثر ورود منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و همچنین برداشت‌های پراکنده به خصوص برداشت‌های غیرمجاز توسط موتورپمپ‌ها جهت آبیاری مزارع کشاورزی و همچنین تخلیه زهاب‌های کشاورزی، فاضلاب روستاهای مجاور رودخانه و رواناب‌های حاصل از بارش‌های موجود در زیرحوضه است. تغییرات میزان شدت جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طول رودخانه در اردیبهشت‌ماه در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد دبی جریان خروجی از سد تنظیمی نوروزلو ۳/۶ متر مکعب در ثانیه بوده و در نقطه انتهایی رودخانه واقع در ایستگاه هیدرومتری نظام‌آباد داده مشاهداتی ۱/۲ مترمکعب بر ثانیه ثبت گردیده است.

بر اساس نتایج بیلان شدت جریان مدل، مقدار دبی جریان شبیه‌سازی شده در نقطه مذکور ۵/۱۱ می‌باشد. علت افزایش آن ورود منابع نقطه‌ای همچون تخلیه پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری میاندوآب، زهکش‌های کشاورزی و سایر منابع غیرنقطه‌ای همچون فاضلاب‌های خانگی روستاهای حاشیه رودخانه است. با توجه به اختلاف نسبتاً چشمگیر بین داده‌های مشاهداتی و نمودار خروجی مدل شبیه‌سازی (۴ متر مکعب) می‌توان چنین استنباط نمود که برداشت‌هایی از رودخانه تا کیلومتر ۴۰ وجود دارد که در این تحقیق شناسایی نگردیده است. مهمترین برداشت‌های غیرقابل شناسایی در رودخانه را می‌توان به برداشت‌های غیرمجاز توسط موتور پمپ‌ها جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی نسبت داد که در این تحقیق قابل شناسایی و اعمال نبوده است.



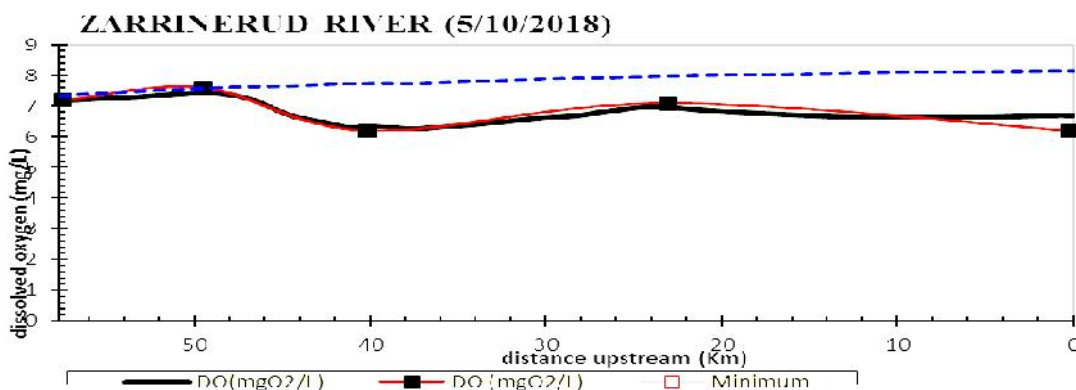


شکل ۲. میزان شدت جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طول رودخانه در اردیبهشت ماه

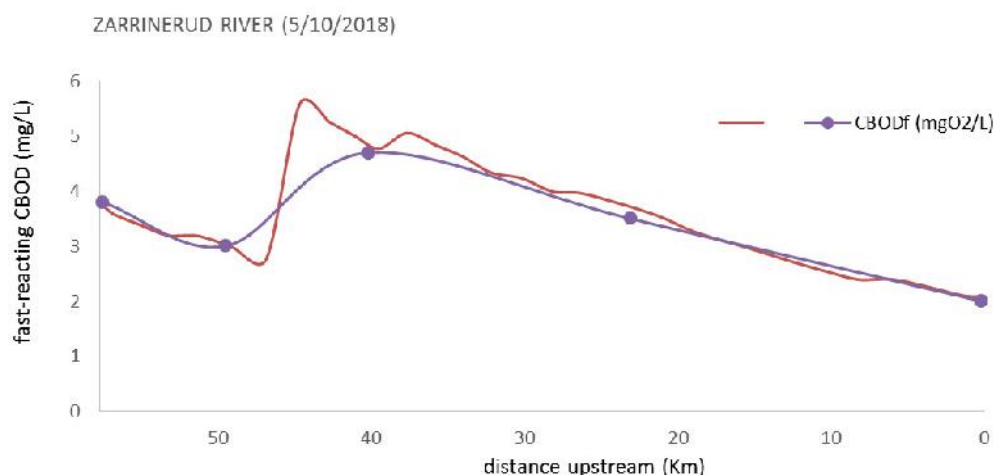
میان‌دو آب، مقدار BOD افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد (شکل ۴). بطوری‌که مقدار آن بطور ناگهانی به  $5/6 \text{ mg/l}$  رسیده است. در ادامه مسیر رودخانه با وجود ورود آلاینده‌های متعدد همچون فاضلاب‌های خام روستاهای حاشیه رودخانه، به دلیل اکسیژن‌گیری مجدد<sup>۱</sup> بسیار مناسب رودخانه و قدرت خودپالایی بالا شاهد کاهش همراه با افت و خیز BOD در رودخانه هستیم بطوری‌که مقدار آن در انتها به  $2 \text{ mg/l}$  رسیده است.

<sup>۱</sup> Rearation

نمودار حاصل از شبیه‌سازی پارامتر BOD و نمودار داده‌های مشاهداتی در فصل بهار (اردیبهشت ماه) در شکل ۴ ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد انطباق مناسبی بین نمودار داده‌های مشاهداتی و نمودار شبیه‌سازی مدل وجود دارد مقدار BOD در سرآب رودخانه  $3/8 \text{ mg/l}$  است. در ادامه مسیر تا کیلومتر ۴۶ به دلیل عدم وجود منبع آلاینده خاصی که بتواند در افزایش میزان BOD رودخانه تأثیرگذار باشد در اثر وجود خودپالایی رودخانه و اکسیداسیون مواد آلی مقدار این پارامتر کاهش یافته است. از کیلومتر ۴۶ به دلیل تخلیه فاضلاب کارخانه قند، کشتارگاه دام، فاضلاب شهری



شکل ۳. روند تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه زرينه‌رود



شکل ۴. روند تغییرات BOD در طول رودخانه زرینه رود

## بحث

مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری به عنوان یک ابزار قدرتمند در تحلیل، پیش‌بینی کیفیت منابع آب و تعیین نقاط بحرانی با هدف مدیریت کیفی منابع آب سطحی کاربرد دارند. تاکنون مدل‌های مختلفی جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها ابداع گردیده است ولی با توجه به قابلیت‌های زیاد مدل QUAL2K در شبیه‌سازی کیفی منابع آب در این تحقیق استفاده شده است.

نتایج حاصل از واسنجی (کالیبراسیون) مدل با استفاده از تصحیح ضرایب اکسیژن‌گیری مجدد رودخانه و ضرایب اکسیداسیون BOD نشان داد که نتیجه مدل شبیه‌سازی و داده‌های مشاهداتی در محدوده خروجی سد تنظیمی نوروزلو تا دریاچه ارومیه از انطباق مناسبی برخوردار بوده و ضرایب مورد استفاده از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار هستند. ژانک و همکاران (۱۷) در بررسی انتخاب برنامه بهبود کیفیت آب در حوضه آبخیز دریاچه تایهو در چین با استفاده از QUAL2K مشخص نمود که مدل مذکور می‌تواند به عنوان یک ابزار موثر در برنامه‌های بهبود کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی بیلان شدت جریان و همچنین نمودار شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه زرینه‌رود نشان

می‌دهد که در طول رودخانه برداشت‌های غیرمجاز با استفاده از موتور پمپ برای آبیاری زمین‌های زراعی وجود داشته که موجب شده داده‌های مشاهداتی شدت جریان با مدل شبیه‌سازی مطابقت نداشته باشد.

بررسی نتایج شبیه‌سازی برای پارامترهای DO در طول رودخانه زرینه نشان داد که رودخانه دارای ظرفیت هوادهی مناسبی است و با وجود اینکه منابع آلاینده زیادی همچون کارخانه قند میاندوآب، کشتارگاه دام، پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری میاندوآب، فاضلاب روستاهای حاشیه رودخانه و زهاب تخلیه شده از زهکش‌های دشت میاندوآب به آن تخلیه می‌گردد، لیکن هوادهی مجدد رودخانه سبب شده تا میزان اکسیژن در حد بالایی حفظ گردد. به طور کلی رودخانه زرینه‌رود دارای توان هوادهی مجدد بالایی بوده و اکسیژن محلول آن در وضعیت خوبی قرار دارد. لذا نتایج نشان‌دهنده توان هوادهی مجدد بالای رودخانه زرینه‌رود بوده و اکسیژن محلول آن در وضعیت خوبی قرار دارد. میری هم در بررسی توان پذیرش آلودگی رودخانه قره آقاج با استفاده از نرم افزار QUAL2K به این نتیجه رسید که به طور کلی میزان اکسیژن رودخانه مورد مطالعه با توجه به شبیه‌سازی و نتایج واقعی در حد استاندارد

در این مطالعه به دلیل محدودیت در داده‌های کیفی رودخانه سایر پارامترهای کیفی، خصوصاً جلبک، فیتوپلانکتون و همچنین پارامترهای تاثیرگذار در مدل از جمله رسوب بستر رودخانه مورد بررسی قرار نگرفت که پیشنهاد می‌گردد جهت به‌دست‌آوردن نتایجی که شرایط کیفی این رودخانه را بهتر نشان دهد از سایر پارامترها نیز استفاده گردد.

### نتیجه گیری

با توجه به اینکه علل عمده آلودگی رودخانه زرینه‌رود تخلیه فاضلاب‌های خام شهری و روستایی، فاضلاب کشتارگاه دام، فاضلاب کارخانه قند و همچنین زهاب کشاورزی دشت میاندوآب از طریق زهکش‌ها، راهکارهای پیشنهادی که می‌توان جهت بهبود وضعیت کیفی رودخانه زرینه‌رود ارائه داد به شرح ذیل می‌باشد:

- احداث تصفیه‌خانه فاضلاب برای روستاهای حاشیه رودخانه زرینه‌رود در پایین دست دشت میاندوآب؛
- تخلیه پساب استاندارد از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری میاندوآب توسط شرکت آب و فاضلاب شهری استان؛
- رعایت مصرف کود و سموم کشاورزی مطابق با استانداردهای موجود در حوضه آبریز زرینه‌رود و با نظارت سازمان جهاد کشاورزی استان؛
- احداث تصفیه‌خانه برای تصفیه فاضلاب کارخانه قند و کشتارگاه دام میاندوآب و تخلیه آن در حد استاندارد سازمان محیط زیست به رودخانه.

نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققین حاکی از آن بود که کیفیت آب رودخانه در فصل تابستان و زمستان از نظر برخی پارامترهای کیفی شبیه‌سازی شده از جمله  $\text{NO}_3$ ، BOD و نیتروژن آمونیاکی دارای شرایط بدتری نسبت به فصول دیگر است (۲۳). به طور کلی کیفیت رودخانه در سرآب خوب بوده ولی در امتداد مسیر به دلیل ورود منابع آلاینده از قبیل زهاب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های مراکز جمعیتی شهری و روستایی کیفیت آن تنزل

می‌باشد، که این موضوع نشان‌دهنده توان مناسب خود پالائی رودخانه بود (۱۸)، ولی نجفی و همکاران در بررسی کیفیت رودخانه قره سو در کرمانشاه با استفاده از QUAL2K به این نتیجه رسیدند که مقدار اکسیرن محلول بطور کلی از مقادیر مجاز ۵ میلی گرم در لیتر کمتر بوده و بحرانی‌ترین نقطه بعد از شهر کرمانشاه در اثر ورود پساب و فاضلاب این شهر به رودخانه قره سو می‌باشد (۱۹).

نتایج شبیه‌سازی کیفی رودخانه زرینه‌رود برای پارامتر BOD نشان داد که مقدار این پارامتر با وجود تخلیه فاضلاب کاهشی است ولی در محل تخلیه پساب شهری مقدار آن به‌طور ناگهانی از ۲/۸ به ۴/۴ میلی گرم بر لیتر افزایش یافته است. از این نقطه به بعد مجدداً به دلیل ضریب بالای هوادهی مجدد رودخانه روند کاهشی به خود گرفته است. به طور کلی مقدار BOD رودخانه زرینه‌رود در حد مناسبی است.

نتیجه بررسی کیفی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل شبیه‌سازی کیفی QUAL2K نشان می‌دهد که کیفیت آب این رودخانه در بازه مورد مطالعه به دلیل ورود منابع آلاینده از قبیل زهاب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های مراکز جمعیتی شهری و روستایی باعث تنزل کیفیت آن می‌گردد. همان طور که چانگ (۲۰) و کارنی (۲۱) اشاره کرده اند، در اینجا نیز افزایش فعالیت‌های انسانی موجب افزایش سهیم زیرحوضه‌ها از بار آلودگی خروجی رودخانه شده است، ولی رودخانه به دلیل شدت جریان زیاد، قدرت خودپالایی بالا تحت تاثیر هوادهی مجدد و کاهش عمق آب در امتداد طول رودخانه که باعث افزایش سرعت خودپالایی می‌گردد، ورود این منابع آلاینده نمی‌تواند باعث کاهش بیش از حد کیفیت آن شود. نتایج به دست آمده با نتایج به دست آمده توسط هاشمی (۲۲) در زمینه تاثیر کاربری‌های مسکونی و کشاورزی و دامداری بر کیفیت آب رودخانه کرج همخوانی دارد.

**تشکر و قدردانی**

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری عمران آب، مصوبه شورای پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی تهران جنوب به شماره ۹۸۰۲۲۳/۹۳ می‌باشد. از کلیه افرادی که در این پژوهش همکاری داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

داشته است که این مورد در بررسی این حوضه نیز صادق بود. لیکن به دلیل قدرت خودپالایی بالای رودخانه زربینه‌رود، منابع آلاینده به جز در برخی موارد نتوانسته است باعث کاهش بیش از حد کیفیت آب آن گردد.

**References**

- 1- Hakimpour, K. 2005, A Study of Practical Methods and Strategies for Prevention and Control of Water Resources Pollution and Restoration of Their Lost Capacity, Iran Water Resources Management Company, Applied Research Project, Volume 1, Final Report.
- 2- Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H. (2008). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and User's Manual.
- 3- Tajrishi, A. 2001, Zoning of River Pollution by Fuzzy Classification Technique, Iran Water Resources Management Company, Applied research project, Final report.
- 4- B. Oliveira, J. Bola, P. Quinteiro, H. Nadais, L. Arroja (2013). Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management: Cértima River as a case study, Environmental Monitoring and Assessment October 2012, Volume 184, Issue 10, pp 6197-6210.
- 5- Moghimi Nezaad, S. Ebrahimi, K. Kerachian, R. Investigation of Seasonal Self-purification Variations of Karun River, Amirkabir Civil Engineering Journal, Volume 49, Number 4, 2017, pp. 621-634.
- 6- N.Ebadati, (2017). Statistical analysis of Dez river water quality, South west of Iran, Journal of Anthropogenic Pollution. Volume 1, Issue1, Pages 46-60.
- 7- Y.C.Lai Y.T.Tu C.P.Yang, (2013). Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended oil loading evaluation" Journal of Hydrology. Volume 478, 25 January 2013, Pages 89-101.
- 8- Kartigha Devi, (2017). Self-purification capacity of Bhavani River. Research Journal of Engineering Science. Vol. 6 (3), 1-4, March 2017.
- 9- C.V.Privette, J.Smink (2017). Assessing the potential impacts of WWTP effluent reductions within the Reedy River watershed, Ecological Engineering, Volume 98, January 2017, Pages 11-16.
- 10-Jinliang Huang, Pei Zhou, Zengrong Zhou and Yaling Huang."Assessing the Influence of Land Use and Land Cover Datasets with Different Points in Time and Levels of Detail on Watershed Modeling in the North River Watershed, China". Int. J. Environ. Res. Public Health 2013, 10, 144-157; doi: 10.3390/ijerph10010144.
- 11-Ingyu Lee, HyundongHwang, JungwooLee, NayoungYu, JinhuckYun, HyunookKim. (2017). "Modeling approach to evaluation of environmental impacts on river water quality: A case study with Galing River, Kuantan, Pahang, Malaysia" Ecological Modelling Volume 353, 10 June 2017, Pages 167-173
- 12- B. Oliveira, J. Bola, P. Quinteiro, H. Nadais, L. Arroja (2012). Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management: Cértima River as a case study, Environmental Monitoring and Assessment October 2012, Volume 184, Issue 10, pp 6197-6210
- 13-Sh. Tian, Z. Wang, H. Shang, (2011). Study on the Self-purification of Juma River, Procedia Environmental Sciences 11 (2011) 1328 – 133.
- 14- Kerachian, R., 2012, Study of Seasonal Changes in Self-Purification of Karun River, Amirkabir Civil Engineering Journal, Volume 49, Number 4, 2017, Pages 621-634.
- 15- General Meteorological Department of West Azerbaijan Province, meteorological statistics of Mahabad synoptic station

- 16- Lar Consulting Engineers Company, Final Report on Quality Monitoring of Zarrinerood River and Bukan Dam Reservoir (2018).
- 17-Zhang, R., X. Qian, H. Li, X. Yuan, and R. Ye. 2012. Selection of optimal river water quality improvement programs using QUAL2K: A case study of Taihu Lake Basin, China. *Sci. Total Environ.* 431: 278-285.
- 18-Miri, M. 2010. Ghareh Aghaj River quality simulation using QUAL2K model, Master of Science Thesis (Unpublished), University of Tehran.
- 19- Najafi, H. Mahmoudpour, T., 2012, Qualitative Modeling of Qarasu River Using QUAL2K Model, First National Conference on Flow and Water Pollution, Tehran, University of Tehran, Water Institute.
- 20-Chang, H. 2004. Water quality impacts of climate and land use changes on Southeastern Pennsylvania. *The professional Geographer*. vol. 56. pp. 240-257.
- 21-Carney, E. 2009. Relative influence of lake age and watershed land use on trophic state and water quality of artificial lakes in Kansas. *J. Lake Res. Manage.* vol. 25. pp. 199-207.
- 22- Hashemi, S. 2009. Investigation of the Effect of Land use on River Water Quality, Case Study of Karaj River. Project report, Shahid Beheshti University.
- 23- Abdilzadeh, M., 2015, Application of Computer Models in Qualitative Simulation of Rivers (Case Study: Godarchay river), 10th International Seminar on River Engineering, Tehran, Iran.