



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Assessing Water Quality Indices and Autopurification Capacity of Balighli-Chai and Ghare-Sou Rivers using QUAL2Kw Model

Gholamreza Rafiee^{1*}, Fateh Moëzzi², Hadi Poorbagher³, Kamran Rezaei Tavabe³ and Mohammad Ali Nematollahi¹

¹Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

²Ph.D. Scholar, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³Assoc. Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Article information

Received: April 04, 2022

Revised: May 19, 2022

Accepted: May 21, 2022

Keywords:

Ardabil Province

Modeling

Total Maximum Daily Load

Water Quality Monitoring

*Corresponding author:

ghrafiee@ut.ac.ir



Abstract

The present study was conducted to assess the water quality of the Balighli-Chai and Ghare-Sou Rivers, the main rivers of Ardabil Province, Iran. The levels of dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), nitrate (NO₃) and phosphate (PO₄) were measured and simulated using the QUAL2Kw model during low- and high-water periods. Also, self-purification capacity and total maximum daily load (TMDL) levels of water quality parameters were calculated. The obtained results indicated considerable differences between the levels simulated by the model from the measured data for both rivers. Most of the river sections had low self-purification capacities. Maximum self-purification capacity (%) were: high water period: DO = -226.61; BOD₅ = 90/30; NO₃ = 99.88; PO₄ = 96.49; low water period: DO = -281.71; BOD₅ = 89.13; NO₃ = 94.74; PO₄ = 90.21. TMDL scores for DO, BOD₅ and NO₃ were higher during the high-water period, but entire sections of both rivers showed high excess loads of PO₄. The results showed that most ranges of both rivers didn't have appropriate water quality conditions. Therefore, it is necessary to make proper decisions to control pollution levels and improve water quality in this basin.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Water quality assessment of rivers and their spatial and temporal fluctuations are essential for appropriately managing these valuable systems. Modeling techniques are practical tools for improving our understanding of the complex behavior of these water bodies regarding their capacity for receiving pollutants. QUAL2Kw model is a simulation framework to model water

quality fluctuations in running waters. The model allows input data for the hydraulic characteristics of different sections with unequal lengths. This model has been used extensively as a practical model in pollution control scenarios to analyze rivers' potential to receive pollutants. The present study investigated water quality and self-purification capacity along Balighli-Chai and Ghare-Sou rivers in Ardabil province, Iran. These rivers are the main water flows in the



Ardabil Plain and have high importance in providing water for different uses. During the last years, they have experienced increased pressure of water usage and received high loads of various pollutants from point and non-point sources; therefore, their water quality condition has deteriorated. Hence, this research aimed to investigate the levels of a set of water quality parameters, including dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD₅), nitrate (NO₃), phosphate (PO₄), and simulating their trends using QUAL2Kw model, as well as estimating self-purification capacity and total maximum daily loads (TMDL) for these parameters.

Material and Methods

Seventeen locations were defined along the Balighli-Chai and Ghare-Sou rivers as sampling points. Water samples were taken at these locations within a year at two-month intervals. Water physicochemical parameters (DO, BOD₅, NO₃, and PO₄) and hydraulic characteristics of water flow at sampling points were measured and analyzed. The obtained data from March (high

water period) and July (low water period) were used to simulate the water quality condition of the rivers by the QUAL2Kw model. Water discharge, temperature, pH, DO, BOD₅, nitrate, phosphate, alkalinity, and total coliform count were considered as model inputs. The data for April (high water period) were used for model calibration. Self-purification capacity (Pc (%)) and TMDLs (kg/day) for the studied parameters in all sections of the rivers were calculated in low and high-water periods. The water quality standards of the Iranian Department of Environment were used as the baseline levels for the studied parameters.

Results

The observed and simulated levels of the studied water quality parameters (DO, CBOD_u, NO₃, and PO₄) are depicted in Fig 1. QUAL2Kw model outputs demonstrated apparent differences between simulated trends and measured data of the studied parameters, probably due to high levels of non-point pollutants entering river flows.

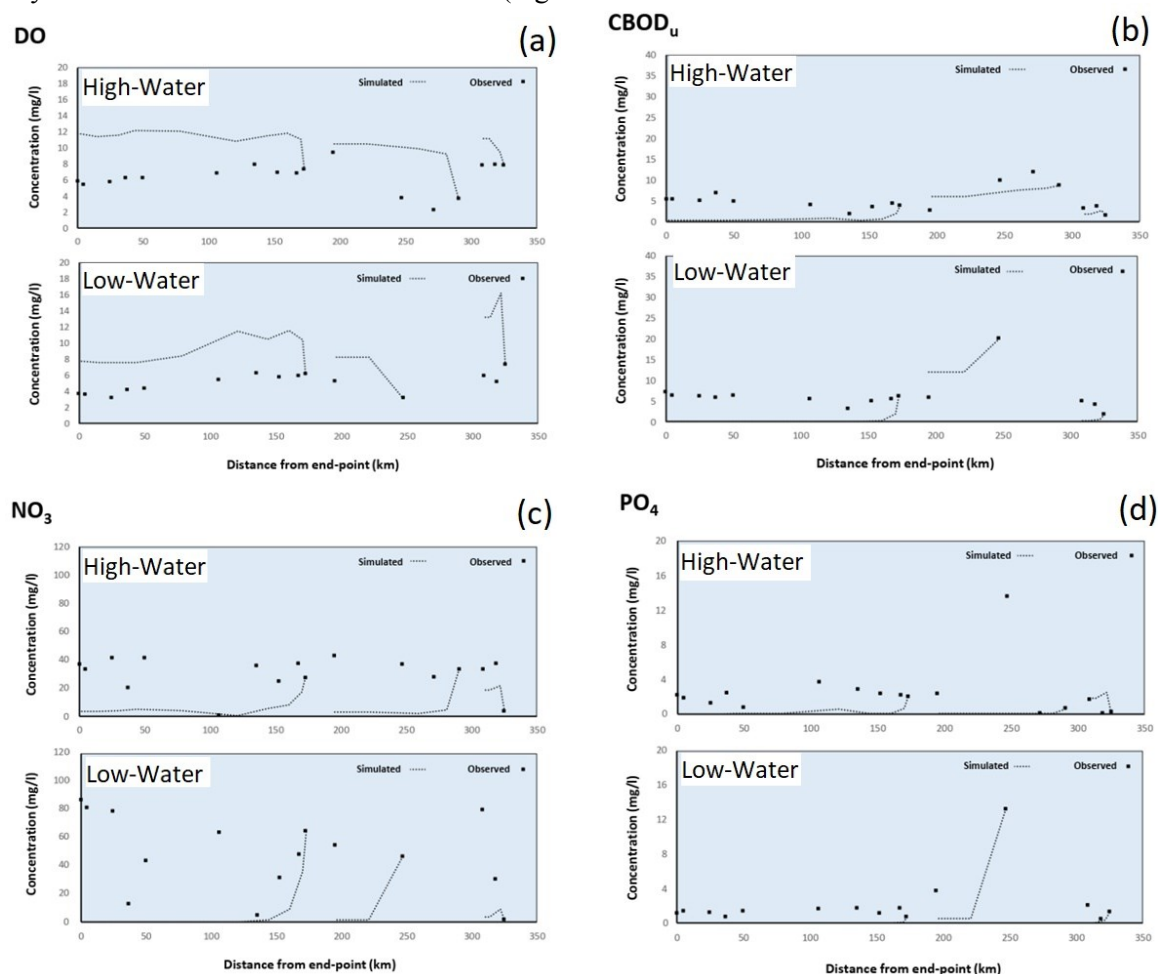


Fig. 1 Simulated results of QUAL2Kw model and field measurements for: a) dissolved oxygen, b) biochemical oxygen demand, c) nitrate, and d) phosphate

Simulated DO concentrations in both low and high-water periods were clearly higher than measured concentrations, indicating the entrance of high inputs of oxygen-consuming pollutants along both rivers sections. Model outputs for CBOD_u showed nearly DO reverse trends that support high BOD contents of water flows, especially in low water periods. The simulated trends of the model for nitrate also showed a significant deviation from the increasing trends in actual observed data, which indicates the high NO₃ input loads to the rivers. For PO₄, the model predicted lower levels in all the sampling points, and their differences from observed data were more elevated in high water time. Self-purification capacity (Pc) scores were calculated based on measured and modelled contents of water quality parameters and showed the limited potential of improving water quality through most rivers sections. There was a considerable difference between Pcs for actual and simulated data, where Pc values calculated from modelled data were higher than those from measured data. High water Pc levels of all river sections were higher. Also, the results indicated much better self-purification conditions along the Ghare-Sou River than Balighli-Chai, over both low and high-water periods.

Calculated TMDLs for water quality parameters showed that most river sections had limited potential to receive pollutants loads. More river sections had negative TMDLs for DO in the low-water period. TMDLs of BOD₅ for both rivers in the high-water period were appropriately higher than in the low water. Only two last sections of the Balighli-Chai River had higher BOD loads than allowable loads. For NO₃, some areas of both rivers had excess loads in low water flow time, while in a high-water period, all of them had a considerably high capacity to receive NO₃. However, excess phosphate loads existed in all

rivers studied points in low and high-water periods. The excess loads were comparably higher in high water flows, indicating much higher entering phosphate loads in high water times.

Conclusion

The present study investigated the water quality condition of the Balighli-Chai and Ghare-Sou rivers during low and high-water periods for water quality parameters of DO, BOD, NO₃, and PO₄. Based on the obtained results, it can be said that both rivers had unfavorable water quality conditions. The water quality of the rivers regarding their DO, BOD₅, and NO₃ concentrations had a better state in the high-water period, while lower levels of PO₄ were obtained in low water conditions. Significant differences existed between measured and QUAL2Kw simulated concentrations of the parameters indicating water pollutant loads through all of the sections of the rivers. Calculated TMDLs for the studied parameters highlights unfavorable water quality condition and limited capacity for receiving pollutant loads for both rivers. Based on the results and regarding low and highly regulated water discharges, there is an urgent need for proper planning to control the entry of pollutants into these rivers and increase their flow to improve their ecological health condition.

Acknowledgment

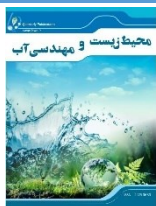
This research was financially supported by the Regional Water Company of Ardabil [grant number 96/4058/900].

Data Availability

The data obtained from the experiments in this study are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص های کیفیت آب و تعیین ظرفیت خودپالایی در رودخانه های بالیقلی چای و قره سو با به کارگیری مدل QUAL2Kw

غلامرضا رفیعی^{۱*}، فاتح معزی^۲، هادی پورباقر^۳، کامران رضایی توابع^۳ و محمدعلی نعمت الهی^۱

^۱استاد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲دانشجوی دکتری، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۱/۱۵]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۲/۲۹]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۲/۳۱]

واژه های کلیدی:

استان اردبیل

پایش کیفیت آب

حداکثر ظرفیت پذیرش روزانه

مدل سازی

*نویسنده مسئول:

ghrafiee@ut.ac.ir



در این پژوهش، کیفیت آب رودخانه های بالیقلی چای و قره سو، به عنوان مهمترین جریان های آبی استان اردبیل مورد سنجش قرار گرفت. چهار پارامتر اکسیژن محلول (DO)، نیاز اکسیژن زیست شیمیایی (BOD_5)، نیترات (NO_3) و فسفات (PO_4) در گستره کامل این رودخانه ها با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد ارزیابی قرار گرفت. توان خودپالایی و حداکثر ظرفیت روزانه آلاینده ها (TMDL) در ارتباط با این پارامترها در دو دوره کم آبی و پرآبی بررسی شد. نتایج نشان دهنده اختلاف سطوح شبیه سازی شده به وسیله مدل از داده های اندازه گیری شده برای هر دو رودخانه بود. بیش تر مقاطع مورد بررسی از رودخانه توان خودپالایی اندکی را نشان دادند. بیش ترین سطوح خودپالایی (٪) به دست آمده عبارت بود از: دوره پرآبی: $DO = 226/61$ ؛ $BOD_5 = 90/30$ ؛ $NO_3 = 99/88$ ؛ $PO_4 = 96/49$ ؛ دوره کم-آبی: $DO = 281/71$ ؛ $BOD_5 = 89/13$ ؛ $NO_3 = 94/74$ ؛ و $PO_4 = 90/21$. سطوح محاسباتی TMDL برای سه پارامتر DO، BOD_5 و NO_3 توان پذیرش بالاتری را در دوره پرآبی نشان دادند. در حالی که برای پارامتر PO_4 ، در هر دو دوره، جریان دارای بار مازاد این ترکیب بود. در مجموع، نتایج به دست آمده نشان گر وضعیت نامطلوب کیفیت آب در بیش تر بازه های مورد بررسی از این رودخانه ها بود.

۱- مقدمه

رودخانه ها به عنوان بخشی از پیکره های آب شیرین درون سرزمینی، علاوه بر تأمین آب مورد نیاز برای بسیاری از مصارف انسانی، به عنوان مخازنی برای دریافت انواع مختلف آلاینده های موجود در پساب های با منشأ مختلف تلقی می شوند. با افزایش جمعیت و سرعت فعالیت های توسعه ای، این منابع آبی بیش از گذشته متحمل تغییرات ساختاری و عملکردی نامطلوب شده اند (Khalili et al. 2020). توان خودپالایی این بوم سازگان های آبی، این تصور را ایجاد کرده است که تا نهایت ممکن از ظرفیت آن ها جهت تخلیه انواع فاضلاب ها و پساب ها استفاده شود. با این حال، در بسیاری

رودخانه ها به عنوان بخشی از پیکره های آب شیرین درون سرزمینی، علاوه بر تأمین آب مورد نیاز برای بسیاری از مصارف انسانی، به عنوان مخازنی برای دریافت انواع مختلف آلاینده های موجود در پساب های با منشأ مختلف تلقی می شوند. با افزایش جمعیت و سرعت فعالیت های توسعه ای، این



موارد، فشار وارده خارج از ظرفیت برد این سامانه‌های اکولوژیک بوده و پیامدهای نامطلوب برگشت‌ناپذیری در وضعیت آن‌ها به وقوع می‌پیوندد. از این‌رو، شناخت کافی از وضعیت کیفی آب رودخانه‌ها و تغییرات آن‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف جهت حفظ و بهره‌برداری مناسب از این منابع ارزشمند مورد نیاز است (Maghsoudi et al. 2021).

مدل‌سازی کیفی یکی از ابزارهای کارآمد و کم‌هزینه در شناخت وضعیت کیفی رودخانه‌ها و ارزیابی مشکلات آن‌ها و دستیابی به راه‌حل‌های مناسب در جهت بهبود وضعیت بوم-شناختی این بوم‌سازگان‌های آبی به حساب می‌آیند. انواع مختلفی از مدل‌ها در طول دهه‌های گذشته توسعه پیدا کرده‌اند. تعیین عوامل اثرگذار بر فرآیند خودپالایی رودخانه‌ها با استفاده از این مدل‌های کیفی، با توجه به محدودیت‌های زمانی و مکانی جمع‌آوری داده از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از جامع‌ترین مدل‌های توسعه‌یافته در این زمینه، مدل QUAL2Kw است که یک مدل یک‌بعدی است و نسخه‌های مختلف آن برای شرایط جریان ثابت و غیریکنواخت ارائه شده است (Pelletier and Chapra 2008). این مدل قادر است تا تعداد قابل‌توجهی از اجزای کیفی آب شبیه‌سازی نماید. از مزیت‌های این مدل، کالیبراسیون خودکار آن بر مبنای الگوریتم ژنتیک است که ترکیبی بهینه از ضرایب و نرخ‌های سینتیک و بیولوژیک را به شکلی که مقادیر شبیه‌سازی‌شده بیشترین همخوانی را با سطوح مشاهداتی داشته باشند، بیابد (Pelletier and Chapra 2008). مدل QUAL2Kw در مطالعات متعدد جهت بررسی تدقیق رفتار رودخانه در پاسخ به دریافت آلاینده‌ها و همچنین سناریوهای مختلف کنترل آلودگی مورد استفاده قرار گرفته است. (Shokri et al. 2015) شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه گرگر را بر اساس سطوح آمونیوم و نیترات و به‌کارگیری مدل QUAL2Kw انجام دادند. در این مطالعه، تطابق بالای خروجی مدل با شرایط واقعی گزارش شده است. (Heidarpour and Jamshidi 2019) مدل QUAL2Kw را به‌منظور شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه تجن و برآوردی از تخصیص بار آلودگی و غلظت مجاز پارامترهای کلیدی کیفیت آب مورد استفاده قرار دادند. (Hoseini 2019) در پژوهشی کارایی مدل QUAL2Kw را در بررسی خودپالایی رودخانه قره‌سو مورد بررسی قرار داد که در آن عملکرد مدل در شبیه‌سازی رفتار پارامترهای

NO₃، BOD، DO، pH و دما در دو دوره زمانی از سال ارزیابی شد. بر اساس نتایج این مطالعه، سطوح مختلفی از توان پیش‌بینی مدل با توجه به پارامترهای موردبررسی و همچنین داده‌های ورودی مدل به دست آمده است. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، (Nikakhtar et al. 2020) جهت شبیه‌سازی کیفیت آب سطحی رودخانه ارداک از مدل QUAL2Kw استفاده کردند و بر اساس نتایج، این مدل عملکرد قابل‌توجهی را در برآورد پارامترهای کیفی اکسیژن محلول (DO)، pH، اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD)،^۱ و نیترات (NO₃) نشان داده است. (Areeyaeinejad et al. 2019) نیز در مطالعه‌ای، کیفیت آب رودخانه شاهرود را با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد ارزیابی قرار دادند و بر اساس نتایج آن‌ها، دقت شبیه‌سازی مدل برای هر پارامتر با توجه به میزان نوسانات آن در طول رودخانه متغیر بوده است. (Babamiri et al. 2020) نیز مدل QUAL2Kw را جهت بررسی خودپالایی و مدل‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در رودخانه دز مورد استفاده قرار دادند. (Maghsoudi et al. 2021) در پژوهشی به بررسی و شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه بهشت‌آباد با استفاده از مدل QUAL2Kw پرداختند. در پژوهش آن‌ها، پارامترهای کیفی شبیه‌سازی‌شده عبارت بودند از دما، هدایت الکتریکی (EC)،^۲ جامدات کل (TS)،^۳ DO، اکسیژن موردنیاز زیست-شیمیایی (BOD)،^۴ COD، pH، NO₃، اورتوفسفات، آمونیوم (NH₃) و کلیفرم مدفوعی که در دو سناریوی دارای دبی متفاوت شبیه‌سازی شدند.

رودخانه‌های بالیقلی‌چای و قره‌سو مهم‌ترین جریان‌های رودخانه‌ای استان اردبیل هستند که حوزه آبخیز آن‌ها بخش وسیعی از گستره این استان را به خود اختصاص می‌دهد. رودخانه قره‌سو از رشته‌کوه‌های تالش سرچشمه گرفته و در امتداد مسیر خود، با پیوستن جریان رودخانه بالیقلی‌چای به آن، بخش زیادی از دشت اردبیل را پوشش داده و در نهایت به رودخانه ارس می‌ریزد (Hoseini 2019). احداث سد‌های متعدد در مسیر این رودخانه‌ها، برداشت قابل‌توجه از آب آن‌ها با اهداف شرب و کشاورزی، و همچنین ورود پساب‌های شهری و رواناب‌های کشاورزی همراه با کاهش بارش‌های

¹Dissolved Oxygen²Chemical Oxygen Demand³Electrical Conductivity⁴Total Solids⁵Biochemical Oxygen Demand

همچنین، برآورد توان خودپالایی در بازه‌های مختلف این رودخانه‌ها و در نهایت محاسبه حداکثر ظرفیت پذیرش روزانه برای پارامترهای مورد اشاره است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

تعداد ۱۷ نقطه مکانی به‌عنوان ایستگاه‌های نمونه‌برداری در امتداد رودخانه‌های بالیقلی چای در ۷ ایستگاه و قره‌سو در ۱۰ ایستگاه تعیین شد (جدول ۱). پس از انجام نمونه‌برداری‌هایی با فواصل دوماهه در یک دوره یک‌ساله ۱۳۹۸-۱۳۹۷، داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های هیدرولیکی و فیزیکوشیمیایی جریان آب در این نقاط، در ماه‌های اسفند (دوره پرآب) و تیر (دوره کم‌آب) به‌منظور ارزیابی وضعیت کیفی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

جوی در سال‌های اخیر سبب افت شرایط کیفی آب این رودخانه‌ها شده است. در برخی از مطالعات انجام شده، ورود پساب‌های صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی و همچنین شرایط نامناسب کیفی این رودخانه‌ها گزارش شده است (Hoseini 2015; Mohammadi et al. 2019). در چنین شرایطی، با توجه به اهمیت این جریان‌های آبی از جهات متعدد، شناخت بهتر وضعیت کیفی این رودخانه‌ها از نظر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، سطوح خودپالایی و همچنین توان پذیرندگی آلاینده‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و می‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی مناسب در بهره‌برداری از این سامانه‌های آبی مؤثر باشد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی وضعیت کیفی آب رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو بر مبنای پارامترهای DO ، BOD_5 ، NO_3 و PO_4 و برآوردی از وضعیت ورودی آلاینده‌ها بر اساس تفاوت داده‌های واقعی و روندهای شبیه‌سازی شده حاصل از مدل QUAL2Kw و

جدول ۱- ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو

Table 1 Sampling stations of the Balighli-chai and Ghareh-Sou Rivers

River	Sampling site	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Balighli-Chai	1 Ilanjigh	37° 59' 01.10" N	47° 55' 11.75" E	1754
	2 Borjlou	38° 00' 39.97" N	47° 57' 11.75" E	1621
	3 Yamchi	38° 02' 01.38" N	48° 02' 21.58" E	1564
	4 Almas	38° 09' 30.65" N	48° 11' 37.94" E	1417
	5 Aghbolagh Aghajan	38° 15' 53.79" N	48° 19' 27.89" E	1333
	6 Dolat Abad	38° 22' 02.10" N	48° 19' 11.61" E	1300
	7 Arbabkandi	38° 30' 13.27" N	48° 01' 50.50" E	1125
Ghareh-Sou	8 Kangarlou	38° 35' 06.19" N	47° 47' 49.08" E	964
	9 Ghara-Ghie	38° 34' 35.17" N	47° 45' 23.26" E	946
	10 Aghdaragh	38° 31' 45.59" N	47° 39' 37.75" E	896
	11 Doostbeiglou	38° 32' 58.80" N	47° 32' 28.53" E	778
	12 Moshiran	38° 42' 53.40" N	47° 31' 28.62" E	665
	13 Abesh Ahmad	39° 04' 08.88" N	47° 31' 27.10" E	356
	14 Agha Mohammad Beiglou	39° 10' 12.81" N	47° 32' 28.59" E	296
	15 Gol tappeh	39° 15' 15.35" N	47° 31' 44.91" E	247
	16 Eivazlou	39° 24' 42.00" N	47° 26' 11.06" E	164
	17 Aslandooz	39° 24' 42.00" N	47° 26' 11.06" E	140

هر ایستگاه انجام شد. به‌منظور محاسبه سرعت میانگین جریان از رابطه (۱) استفاده شد.

$$V_m = v_s \times c \quad (1)$$

که، V_m : سرعت متوسط (m/s) ، V_s : سرعت سطحی (m/s) و c : ضریب ناهمواری بستر بود. مقادیر این ضریب برای بستر شنی و هموار معادل ۰/۹، برای بستر ترکیبی شنی و قله‌سنگی ۰/۸۵ و برای بسترهای قله‌سنگی- صخره‌ای معادل ۰/۸ در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری دبی جریان از رابطه (۲) استفاده شد (Lotfi 2012).

$$Q = w \times d \times V_m \quad (2)$$

۲-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی و

فیزیکوشیمیایی

ارتفاع از سطح دریا در نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS دستی (Germin Trex 30) تعیین شد. عمق آب در هر ایستگاه با استفاده از یک تیرک چوبی مدرج در فواصل یک متری در طول مقطع عرضی رودخانه اندازه‌گیری و سپس میانگین آن به‌عنوان عمق رودخانه در نظر گرفته شد (Lotfi 2012). میانگین عرض رودخانه با استفاده از یک متر نواری فلزی در ابتدا، میانه و انتهای ایستگاه به‌عنوان عرض رودخانه محاسبه شد. اندازه‌گیری سرعت جریان از روش جسم شناور (Lotfi 2012) در سه مقطع موازی با جریان در

که، Q : دبی جریان (m^3/s)، W : پهنای رودخانه (m)، d : عمق متوسط (m) و V_m : سرعت متوسط جریان (m/s) است. مقادیر محاسبه شده برای پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. برداشت نمونه‌های

جدول ۲- خصوصیات هیدرولیکی جریان رودخانه‌ها

Table 2 Hydraulic characteristics of rivers' flow

Sampling site	Low water period				High water period			
	Width (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Discharge (m^3/s)	Width (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Discharge (m^3/s)
1 Ilanjigh	4	0.6	0.135	0.324	4	0.7	0.135	0.378
2 Borjlou	7	0.2	0.213	0.3	8	0.35	0.595	1.67
3 Yamchi	8	0.3	0.27	0.65	16	0.6	0.72	6.91
4 Almas	1.5	0.2	0.09	0.03	3	0.5	0.09	0.135
5 Aghbolagh Aghajan	-	-	-	-	6	0.1	0.26	0.16
6 Dolat Abad	8	0.3	0.14	0.34	10	0.3	0.36	1.1
7 Arbabkandi	3	0.1	0.43	0.13	17	0.4	0.6	4.1
8 Kangarlou	6	0.4	0.14	0.37	5	0.25	0.18	0.23
9 Ghara-Ghieh	4	0.4	0.18	0.3	4	0.45	0.18	0.32
10 Aghdaragh	4	0.2	0.12	0.09	8	0.3	0.24	0.58
11 Doostbeiglou	5	0.4	0.23	0.46	5	0.6	0.36	1.1
12 Moshiran	8	0.45	0.17	0.61	15	0.5	0.6	4.5
13 Abesh Ahmad Agha	6	0.2	0.09	0.11	20	0.8	0.51	8.2
14 Mohammad Beiglou	2	0.1	0.09	0.02	15	1.1	0.68	11.22
15 Gol tappeh	2	0.1	0.09	0.02	20	0.4	0.5	4.0
16 Eivazlou	3	0.1	0.09	0.03	13	0.45	0.45	2.63
17 Aslandooz	3	0.1	0.09	0.03	15	0.8	0.43	5.16

و خصوصیات جریان، تعداد ۱۴ مقطع از فواصل بین ایستگاه‌های نمونه برداری به منظور استفاده در فرآیند شبیه سازی پارامترهای کیفی آب و همچنین تعیین ظرفیت خودپالایی در نظر گرفته شد. شکل (۱) مقطع بندی رودخانه‌ها را در امتداد مسیر آن‌ها نشان می‌دهد.

۲-۳-۳- داده‌های ورودی

در هر ایستگاه داده‌های مربوط به سرعت و عمق متوسط اندازه گیری شده بر اساس دستورالعمل مربوط به تعیین خصوصیات هیدرولیکی در راهنمای مدل در قسمت مربوط به rating curves در نظر گرفته شدند به طوری که نماهای مربوط به سرعت و عمق معادل صفر قرار داده شد و مقادیر سرعت و عمق نیز در قسمت ضرایب به کار گرفته شدند. از میان پارامترهای ورودی مربوط به کیفیت آب در ایستگاه‌های نمونه برداری، پارامترهای دبی، دما، pH، DO، BOD_5 ، NO_3 ، فسفات (فسفر معدنی)، قلیائیت و محتوای کلیرفرم کل به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شدند. از آنجایی که $CBOD_u$ پارامتر متناسب مورد استفاده در مدل در ارتباط با BOD_5 اندازه گیری شده بود، لذا مقادیر $CBOD_u$ با استفاده

۲-۳-۲- شبیه سازی کیفیت آب

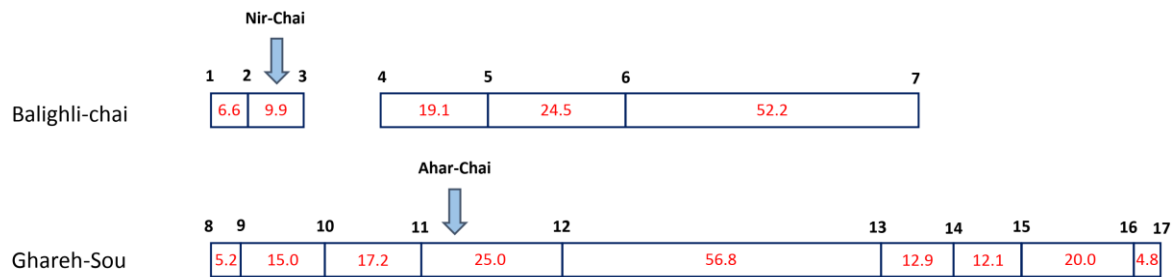
۲-۳-۲-۱- توصیف مدل

در پژوهش حاضر از مدل QUAL2Kw جهت شبیه سازی پارامترهای کیفی آب شامل DO، BOD_5 ، NO_3 و PO_4 استفاده شد. مدل QUAL2Kw یک چهارچوب مدل سازی جهت شبیه سازی یک- بعدی کیفیت آب رودخانه‌ها و نه‌رها است که توسط Chapra et al. (2008) توسعه یافته است. امکان بهینه یابی ضرایب سینتیکی به کمک الگوریتم ژنتیک در این مدل فراهم شده است که امکان واسنجی خودکار مدل را فراهم می‌سازد. در این مدل امکان تفکیک سیستم به کرانه‌های با اندازه متفاوت وجود دارد و امکان در نظر گرفتن ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد برای هر یک از آن‌ها فراهم شده است. توصیف کامل تئوری مدل در راهنمای استفاده از آن شرح داده شده است (Chapra et al. 2008). در این پژوهش نسخه ۵/۱ از این مدل مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۳-۲-۲- مقطع بندی رودخانه‌ها

بر اساس پراکنش ایستگاه‌ها و موقعیت قرارگیری آن‌ها در طول رودخانه‌ها و همچنین ویژگی‌های طولی فواصل بینایی

از رابطه (۳) محاسبه و در مدل به کار گرفته شد (Meftah 2009, Halghi).



شکل ۱- مقاطع رودخانه‌های بالیقلی چای و قره‌سو. اعداد قرمز رنگ بیانگر طول هر مقطع (km) است. اسامی ایستگاه‌ها در جدول (۲) ذکر شده است

Fig. 1 Sections of Balighli-Chai and Ghareh-Sou rivers. Red numbers indicate the length of each section. The names of the stations are presented in Table (2)

$$CBOD_u = 1.46 \times BOD_5 \quad (3)$$

دمای هوا بر اساس مقادیر ارائه شده در سایت بین‌المللی هواشناسی (<http://www.wunderground.com>) در روزها و زمان‌های نمونه‌برداری، برداشت شده و در مدل مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۳).

با توجه به وجود پوشش‌های جلبکی در بستر رودخانه در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری، نیاز اکسیژنی رسوبات و جلبک‌های بنتیک معادل ۵۰٪ در نظر گرفته شد. پارامترهای هواشناسی شامل سرعت باد، نقطه شبنم، درصد پوشش ابر و

جدول ۳- پارامترهای هواشناسی ورودی مدل QUAL2Kw.

Table 3 Meteorological parameters of QUAL2Kw.

	T (°C)	Wind speed (m/s)	Dew point (°C)	Cloud cover (%)
Low water period	20.8 ± 5.6	2.23 – 8.04	0.9	20 – 60
High water period	12.3 ± 4.2	2.23 – 11.6	12.3	30 – 80

ابتدای هر یک از مقاطع رودخانه‌ها تا محل نقطه پایانی آن‌ها که به عبارتی نقطه کنترل تلقی می‌شود، بر اساس رابطه (۴) محاسبه شد (Azimi et al. 2010).

$$Pc = (L_i - L_o) / L_i \times 100 \quad (4)$$

که، P_c میزان خودپالایی (٪) و L_i و L_o به ترتیب میزان بار ورودی و خروجی کل هستند. واحد میزان بار ورودی و خروجی برای پارامترهای مورد بررسی معادل kg/day بود. مقدار بار ورودی (L_i) در هر مقطع از رابطه (۵) (Azimi et al. 2010) قابل محاسبه است.

$$L_i = (Q_h \times C_h) + (Q_p \times C_p) + (Q_{n,p} \times C_{n,p}) \quad (5)$$

که، Q و C به ترتیب بیانگر دبی (m^3/s) و غلظت (kg/m^3) می‌باشند. زیرنویس‌های h ، p و $n.p$ به ترتیب اشاره به سراب، منابع نقطه‌ای و منابع غیرنقطه‌ای دارند. مقدار بار خروجی (L_o) نیز از طریق رابطه (۶) محاسبه شد.

$$L_o = Q_{cp} \times C_{cp} \quad (6)$$

در پژوهش حاضر به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات مربوط به میزان و پروفیل فیزیکوشیمیایی ورودی‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای مقاطع مختلف رودخانه‌ها، در شبیه‌سازی و همچنین تعیین ظرفیت خودپالایی تنها از داده‌های واقعی و اندازه‌گیری‌شده در محل ایستگاه‌ها به عنوان ورودی مدل استفاده شد.

۲-۳-۴- پارامترهای مدل

علاوه بر تعیین ضرایب بهینه مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک موجود در ساختار آن، داده‌های دوره پرآبی (اسفندماه) به منظور واسنجی مدل استفاده شد و مجموع ضرایب بهینه به دست آمده برای بازه‌های مختلف، جهت شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب در دوره کم‌آبی (تیرماه) به کار گرفته شد.

۲-۴- ظرفیت خودپالایی

ظرفیت خودپالایی بر اساس داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی‌شده به وسیله مدل برای مقاطع مختلف به صورت مجزا و در دو دوره پرآبی و کم‌آبی محاسبه گردید. ظرفیت خودپالایی بر اساس بار ورودی کل و بار خروجی کل از

پذیرش جریان آب (L_p)، در بازه های مورد بررسی از رودخانه-ها، از تفاضل بار موجود و ظرفیت مجاز محاسبه شد (رابطه (۱۱)).

$$L_P = L_R - L_L \quad (11)$$

مقادیر مثبت L_P نشان دهنده آن است که بار موجود برای عامل مورد نظر بیشتر از مقدار مجاز بوده و مقادیر منفی نیز بیانگر کمتر بودن بار موجود در جریان آب نسبت به سطوح مجاز محاسبه شده بر اساس استانداردهاست و در این حالت جریان آب قابلیت پذیرندگی عامل مورد نظر تا رسیدن به حدود مجاز را دارا می باشد. لازم به ذکر است این مورد در رابطه با پارامتر DO به صورت عکس صادق است.

۳- یافته ها و بحث

۳-۱- شبیه سازی پارامترهای کیفی

مقادیر پارامترهای کیفی آب در جدول (۴) و خروجی مدل QUAL2Kw برای شبیه سازی سطوح پارامترهای DO, CBOD_u, NO₃ و PO₄ به همراه داده های اندازه گیری شده این پارامترها در امتداد بازه های مورد بررسی از رودخانه ها در شکل (۲) ارائه شده است. مقادیر شبیه سازی شده DO در طول هر دو دوره کم آبی و پر آبی به شکل مشخصی بیشتر از سطوح واقعی اندازه گیری شده بود که نشان دهنده ورود بار قابل توجه آلاینده های مصرف کننده اکسیژن می باشد. با این حال، در فاصله ایستگاه های سوم و چهارم بازه دوم بالیقلی-چای (دولت آباد تا ارباب کندی) بهبود قابل ملاحظه ای از نظر سطح اکسیژنی آب اتفاق افتاده است. روند تقریباً همسو از نظر غلظت اکسیژن در مقاطع بعد از ایستگاه سوم (آقدرق) از رودخانه قره سو بیانگر آن است که ورود بار بالای آلاینده ها در سه ایستگاه آغازین این رودخانه وجود داشته و در ادامه وضعیت هیدرولیکی جریان شرایطی نسبتاً ثابت را تا انتهای مسیر فراهم ساخته است. خروجی های به دست آمده مدل و داده های واقعی برای پارامتر CBOD_u نیز تا حد زیادی روندهای عکس DO را نمایان ساخته است. شکل (۲) نشان می دهد وضعیت BOD₅ در ایستگاه های بازه اول رودخانه بالیقلی چای و همچنین فاصله ایستگاه های الماس تا آقبلاغ-آقاجان از بازه دوم این رودخانه روندی افزایشی داشته است، اما در ادامه کاهش این پارامتر رخ داده که حکایت از بار آلاینده کمتر در این قسمت دارد. مقدار DO و BOD₅ اصلی ترین شاخص های سلامت جریان رودخانه ها به شمار

که، $Q_{c,p}$ و $C_{c,p}$ به ترتیب معادل دبی (m^3/s) و غلظت (kg/m^3) در نقطه پایان (یا کنترل) می باشد.

۲-۵- ظرفیت حداکثر بار کل روزانه

جهت برآورد بار موجود آلاینده ها در بازه های مورد بررسی از رودخانه ها و اختلاف آن ها با سطوح بار مجاز و در نهایت محاسبه میزان ظرفیت حداکثر بار کل روزانه برای پارامترهای مورد بررسی، بر مبنای روش های ارائه شده در مطالعات صورت گرفته (Abedi-Koupai et al. 2011; Akbarzadeh et al. 2013; Babamiri et al. 2020) عمل شد. در ابتدا برای هر یک از بازه های رودخانه ها میزان دبی متوسط از رابطه (۷) به دست آمد.

$$Q_A = (Q_h + Q_{cp})/2 \quad (7)$$

که، Q_A مقدار دبی متوسط و Q_h و Q_{cp} به ترتیب عبارتند از دبی جریان در نقاط آغازین (سراب) و پایانی (کنترل) هر بازه بر حسب m^3/day . سپس، میزان غلظت متوسط هر یک از پارامترها بر اساس رابطه (۸) به دست آمد.

$$C_A = (C_h + C_{cp})/2 \quad (8)$$

که، C_A مقدار غلظت متوسط و C_h و C_{cp} به ترتیب عبارتند از غلظت در نقاط آغازین (سراب) و پایانی (کنترل) هر بازه بر حسب kg/m^3 . سپس میزان بار موجود هر یک از پارامترهای فوق، از رابطه (۹) به دست آمد.

$$L_R = Q_A \times C_A \quad (9)$$

که، L_R مقدار بار موجود در بازه بر حسب kg/day است. میزان ظرفیت مجاز (L_L) هر پارامتر نیز از طریق رابطه (۱۰) محاسبه شد.

$$L_L = Q_A \times C_P \quad (10)$$

که، C_P : غلظت استاندارد پارامترها می باشد. برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی، سطوح استاندارد پارامترهای کیفی آب سازمان حفاظت محیط زیست به عنوان سطوح مجاز استفاده شد (Department of Environment 2016): مقدار DO: حداقل استاندارد حفاظتی قابل قبول معادل $5 mg/l$; BOD₅: حداکثر قابل قبول استاندارد حفاظتی معادل $6 mg/l$; NO₃: حداکثر قابل قبول از نظر استاندارد آب شرب معادل $50 mg/l$; PO₄: حداکثر قابل قبول استاندارد حفاظتی معادل $0.13 mg/l$ ؛ در نهایت میزان ظرفیت روزانه

ای مرتبط دانسته شده است (Rafiee et al. 2017) که می-تواند دلیل اصلی مقادیر زیاد BOD_5 در بازه‌های مربوط به رودخانه بالیقلی‌چای بوده باشد. با این حال، وجود اراضی کشاورزی پیرامونی رودخانه قره‌سو و رواناب‌های حاصل از آبیاری آن‌ها و همچنین ورود مواد آلی فضولات حیوانی حاصل از فعالیت‌های دامپروری گسترده احتمالاً دلیل اصلی سطوح بالای BOD_5 در مقاطع رودخانه قره‌سو بوده که در پژوهش (Hoseini 2019) نیز مورد اشاره قرار گرفته است.

می‌روند (Yuceer and Coskun 2016). شرایط اکسیژنی مناسب‌تر برای رودخانه قره‌سو در دوره‌های پرآبی نسبت به دوره‌های کم‌آبی توسط (Hoseini 2019) گزارش شده به‌طوری‌که در تمامی مراحل این پژوهش سطوح بیش‌تر از 5 mg/l به‌عنوان حد مجاز این پارامتر ثبت شده است. افزایش بار اکسیژنی آب در رودخانه‌ها، سبب کاهش BOD_5 شده و بهبود کیفی آب را به دنبال دارد. افزایش سطوح BOD_5 با تخلیه فاضلاب‌های شهری به جریان‌های رودخانه-

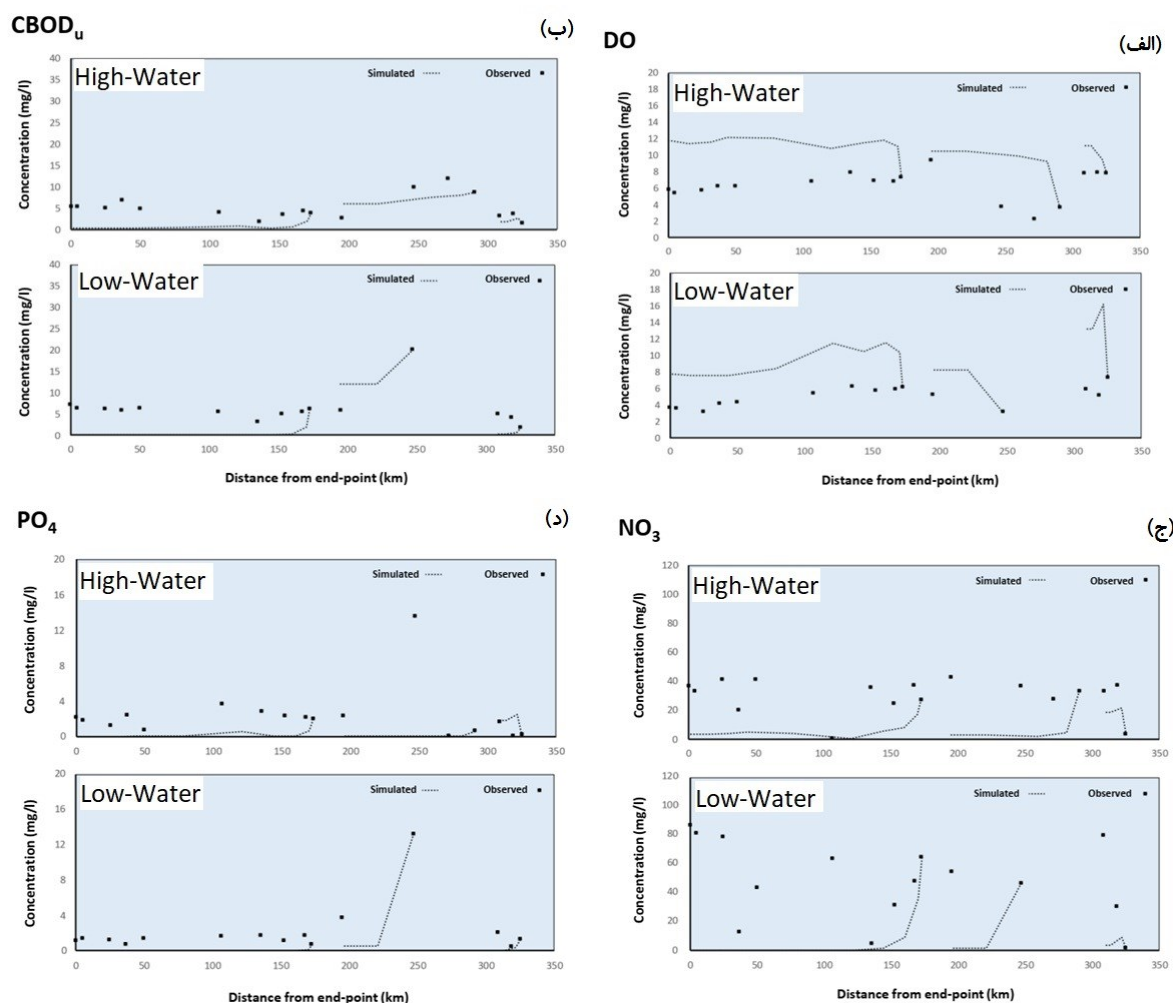
جدول ۴- خصوصیات فیزیکوشیمیایی جریان رودخانه‌ها

Table 4 Physiochemical characteristics of rivers' flow

Sampling site	Low water period					High water period				
	T (°C)	DO (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	PO_4 (mg/l)	T (°C)	DO (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	PO_4 (mg/l)
1 Ilanjigh	6.8	7.3	1.2	1.29	1.25	6.1	7.8	0.9	3.23	0.14
2 Borjlou	19.3	4.34	2.6	75.3	2.65	11.3	5.33	2.8	28.9	3.93
3 Yamchi	20.5	5.9	3.3	79.3	1.98	8.7	7.82	2.1	32.8	1.62
4 Almas	20.8	4.16	4.5	54.4	1.425	10	3.66	5.9	33.4	0.573
5 Aghbolagh Aghajan	-	-	-	-	-	13	2.2	8.1	27.3	-
6 Dolat Abad	18.3	3.1	13.7	46.33	13.2	12.6	3.7	6.7	36.51	13.5
7 Arbabkandi	21.3	5.23	3.9	54.4	3.7	10.1	9.4	1.7	42.6	2.3
8 Kangarlou	21.8	6.1	4.1	64.2	0.7	14.4	7.3	2.6	27.0	1.9
9 Ghara-Ghieh	20.6	5.9	3.7	47.8	1.7	16.6	6.8	2.9	36.8	2.1
10 Aghdaragh	21.7	5.4	2.9	44.3	1.8	16.9	6.5	1.7	39.5	2.9
11 Doostbeiglou	19.9	6.2	2.1	4.7	1.7	15.1	7.9	1.2	35.5	2.8
12 Moshiran	22.9	5.33	3.7	63.2	1.6	15.5	6.8	2.7	0.3	3.6
13 Abesh Ahmad	24.7	4.3	4.2	43.2	1.3	11.8	6.2	3.1	40.8	0.7
14 Agha Mohammad Beiglou	26.7	4.1	3.9	12.5	0.7	13.3	6.2	4.6	19.6	2.4
15 Gol tappeh	29.3	3.1	4.2	78.4	1.2	13.5	5.7	3.4	40.6	1.2
16 Eivazlou	29.8	3.6	4.8	86.8	1.1	15.9	5.8	3.6	36.1	2.1
17 Aslandooz	29.4	3.3	4.6	72.4	1.3	15.7	5.7	3.5	39.2	1.8

توجه به جریان کمتر رودخانه، بیش‌تر بوده است. ترکیبات نیتروژن‌دار و به‌طور خاص NO_3 از مهمترین شاخص‌های اثرگذار در تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها معرفی شده‌اند. در برخی از مطالعات نیز به ورود مستقیم پساب صنایع و فاضلاب‌های شهری به‌عنوان عامل افزایش ناگهانی غلظت نترات اشاره شده است (Maghsoudi et al. 2021). این مورد در ارتباط با سطوح NO_3 در رودخانه بالیقلی‌چای قابل تأمل است؛ زیرا تمرکز نواحی شهری در اطراف مقاطع این رودخانه بیش‌تر بوده است. همچنین، افزایش سطح NO_3 با ورود فضولات انسانی و حیوانی از نواحی مجاور رودخانه مرتبط دانسته شده است (Merchán et al. 2020). همچنین، فعالیت‌های دامپروری گسترده در اراضی و مراتع کنار رودخانه‌ها و وضعیت نامناسب سامانه‌های مخازن سپتیک ساکنان روستاهای همجوار به‌عنوان یک دلیل اصلی دیگر نشت NO_3 به جریان آب رودخانه ذکر شده است (Khalili et al. 2020).

نتایج مربوط به NO_3 (شکل ۲) نشان داد که این ترکیب در تمامی مقاطع رودخانه‌ها از سطوحی بیش‌تر از سطوح برآوردشده به وسیله مدل برخوردار بوده است. این اختلاف در دوره پرآبی کم‌تر بوده به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت‌های NO_3 در این دوره نزدیک به 45 mg/l اندازه‌گیری شد در حالی که در دوره کم‌آبی سطوح نزدیک به 90 mg/l نیز ثبت گردید. مقادیر NO_3 در رودخانه بالیقلی‌چای، علی‌رغم روند کاهشی پیش‌بینی‌شده به وسیله مدل، افزایشی یا نسبتاً ثابت بوده که نشان از ورودی بالای این ترکیب در طول مسیر این رودخانه است. در امتداد بازه مربوط به رودخانه قره‌سو، روند نوسانی نامنظمی برای داده‌های اندازه‌گیری‌شده به‌دست آمد در حالی که مدل کاهش قابل‌توجه غلظت را در ایستگاه‌های آغازین پیش‌بینی کرده بود. در این مورد نیز می‌توان وجود ورودی‌های پیوسته این ترکیب در امتداد کل مسیر این رودخانه را دلیل چنین وضعیتی دانست به‌طوری‌که شدت بار ورودی در دوره کم‌آبی و تأثیر آن بر غلظت این ترکیب با



شکل ۲- نتایج شبیه سازی شده خروجی مدل QUAL2Kw و داده های واقعی پارامترهای: الف- DO، ب- $CBOD_u$ ، ج- NO_3 و د- PO_4

Fig. 2 Simulated results of QUAL2Kw model and field measurements for: a) DO, b) $CBOD_u$, c) NO_3 and d) PO_4

شده برای این پارامتر نیز نشان دهنده ورود بار قابل ملاحظه PO_4 به رودخانه ها و به طور خاص در طول رودخانه قره سو بوده به طوری که سطح آلاینده در دوره پربابی به مراتب بیشتر بوده است. این سطوح بالاتر می تواند منتج از ورود حجم های بیشتر رواناب های برخاسته از اراضی کشاورزی رودکناری در این دوره بوده باشد. همچنین، با حجم بالای فضولات حیوانی حاصل از فعالیت های دامپروری در این منطقه و ورودی بالای آن ها در دوره پربابی در اثر شستشوی اراضی، افزایش مقادیر فسفات را در توده آبی قره سو به دنبال داشته است (Mohammadi et al. 2015).

۳-۲- خودپالایی

سطوح خودپالایی محاسبه شده برای پارامترهای DO، BOD_5 ، NO_3 و PO_4 به ترتیب در شکل های (۳) و (۴) نشان داده شده است. از آنجا که این کمیت، سطوح

بر اساس مشاهدات میدانی، فعالیت های گسترده دامپروری و نیز تعدد روستاهای واقع در امتداد مسیر رودخانه های مورد مطالعه می تواند از دلایل اصلی افزایش سطوح NO_3 به ویژه در طول دوره کم آبی در مقاطع متعلق به رودخانه قره سو بوده باشد که در پژوهش (Mohammadi et al. 2015) نیز سهم این عامل در مقایسه با اثر منابع نقطه ای از جمله پساب صنایع بیشتر دانسته شده است. استفاده از کودهای ازته در کشت گسترده سبب زمینی در اراضی مجاور رودخانه قره سو به عنوان یکی از علل افزایش بار NO_3 ورودی به این رودخانه گزارش شده است (Hoseini 2019).

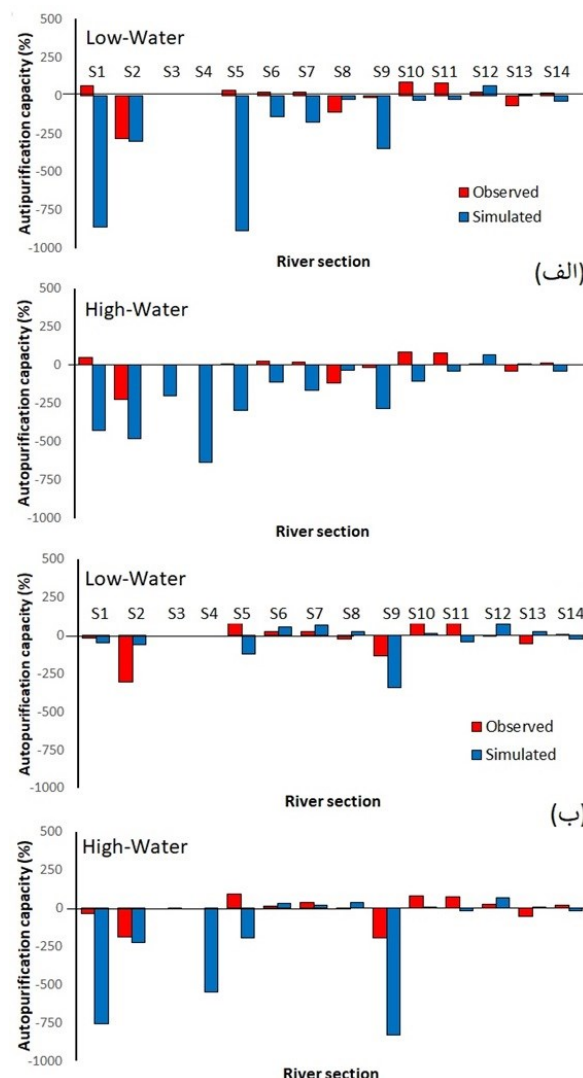
اندازه گیری های مربوط به PO_4 نشان دهنده غلظت های کمتر از 5 mg/l در بیش تر ایستگاه های هر دو رودخانه در هر دو دوره آبی بود به استثنای بازه دوم رودخانه بالیقلی چای که سطوح غلظتی 14 mg/l را در ایستگاه دولت آباد شامل می شد. تفاوت فاحش پیش بینی های مدل از سطوح اندازه گیری-

مقاطع است. با این حال، در برخی از مقاطع (بازه دوم بالیقلی چای و مقاطع ۸، ۹ و ۱۳ قره‌سو) مقادیر منفی خودپالایی برای اکسیژن در هر دو دوره تا حد زیادی نمایانگر شرایط مناسب و قابلیت بالای خودپالایی اکسیژنی جریان است. مقادیر خودپالایی به‌دست‌آمده برای BOD_5 نیز تا حدودی همسو با DO بود (شکل ۳-ب) به‌طوری‌که در بیش‌تر مقاطع، مقادیر مثبت این کمیت (افزایش BOD_5) به دست آمده که نشان‌دهنده قابلیت جریان در کاهش بار BOD_5 است.

نکته قابل‌توجه سطوح منفی خودپالایی در مقاطع دوم بالیقلی چای و مقاطع ۸، ۹ و ۱۳ از قره‌سو بوده است. بر این اساس، علی‌رغم مطلوب‌بودن خودپالایی اکسیژنی در این مقاطع، میزان خودپالایی افزایش BOD_5 را نشان داده که بار ورودی بسیار زیاد مواد آلی را در این بازه‌ها تایید می‌کند. ناهمواری‌های بستر رودخانه و حجم شاخه‌های ورودی از عوامل مهم افزایش توان خودپالایی رودخانه‌ها است (Maghsoudi et al., 2021). با توجه به دبی کم هر دو رودخانه و سطوح نسبتاً هموار در بیشتر مقاطع آن‌ها، و همچنین حجم پایین جریان شاخه‌های فرعی ورودی در مقایسه با بار آلاینده‌گی آن‌ها، مقادیر پایین خودپالایی اکسیژنی و BOD_5 به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد.

مقادیر خودپالایی منفی برای NO_3 (شکل ۴-الف) در مقاطع آغازین رودخانه بالیقلی چای به‌دست آمد. در حالی‌که در ادامه مسیر این رودخانه و نیز در مقاطع رودخانه قره‌سو سطوح خودپالایی مثبت بود. درعین‌حال، برخی مقادیر منفی خودپالایی در بازه‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ قره‌سو نشان‌دهنده ورودی بالای این ترکیب و عدم توانایی جریان در کاهش سطوح آن در آب بوده است. خودپالایی محاسبه‌شده برای PO_4 (شکل ۴-ب) نشان داد که در برخی از مقاطع از جمله بازه دوم بالیقلی چای و مقاطع ۸، ۹ و سیزدهم از قره‌سو برای هر دو دوره، سطوحی منفی (افزایش PO_4) در جریان آب اتفاق افتاده است.

خودپالایی را نسبت به غلظت آغازین هر مقطع به صورت $(\%)$ نشان می‌دهد، برای بازه‌های مختلف قابل مقایسه نیست و شاخصی از توان خودپالایی بر اساس شرایط هیدرولیکی هر مقطع است. برای پارامتر DO (شکل ۳-الف)،



شکل ۳- سطوح ظرفیت خودپالایی (P_c) محاسبه شده برای: الف- DO و ب- $CBOD_5$

Fig. 3 Calculated autoperification capacity (P_c) for: a) DO and b) $CBOD_5$

ظرفیت خودپالایی محاسبه شده با داده‌های واقعی در هر دو دوره کم‌آبی و پرآبی ناچیز بوده که اختلاف قابل‌توجهی را با سطوح خودپالایی حاصل از داده‌های مدل در هر دو دوره نشان داد به‌طوری‌که بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی‌شده می‌بایست ظرفیت خودپالایی بالایی وجود داشته باشد. این وضعیت حکایت از مصرف بالای اکسیژن خارج از توان حمل جریان آب دارد که ناشی از بار بالای آلاینده‌های آلی در این

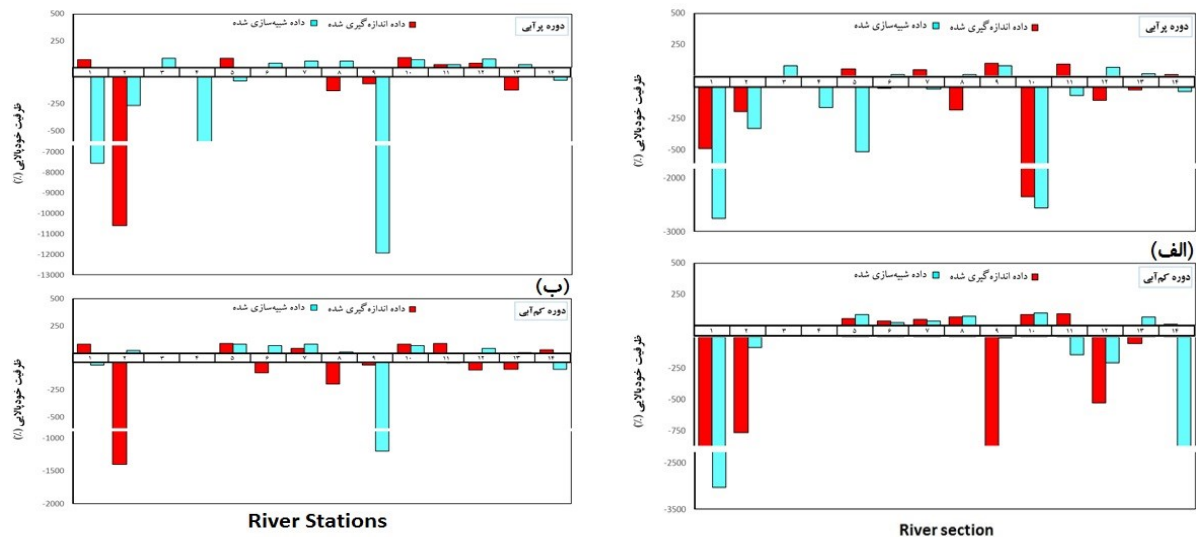

 شکل ۴- سطوح ظرفیت خودپالایی محاسبه شده برای: الف- NO_3 و ب- PO_4

 Fig. 4 Calculated autopurification capacity for: a) NO_3 and b) PO_4

 جدول ۵- مقادیر بار موجود (L_R), بار مجاز (L_L) و حداکثر ظرفیت روزانه (L_P) برای پارامترهای DO و BOD_5

 Table 5 The levels of existing load (L_R), allowable load (L_L) and maximum daily load (L_P) for DO and BOD_5

River section	Low water period			High water period		
	L_R (kg/day)	L_L (kg/day)	L_P (kg/day)	EL (kg/day)	AL (kg/day)	AC (kg/day)
Dissolved Oxygen (DO)						
1 Ilanjigh - Borjlou	185.05	158.97	26.07	224.05	170.64	53.41
2 Borjlou - Yamchi	234.89	229.39	5.50	2079.74	1581.55	498.18
3 Almas - Aghbolagh Aghajan	10.78	12.96	-2.17	37.33	63.72	-26.38
4 Aghbolagh Aghajan - Dolat Abad	91.07	146.88	-55.81	160.57	272.16	-111.58
5 Dolat Abad - Arbabkandi	84.57	101.52	-16.95	147.14	112.32	348.19
6 Kangarlou - Ghara-Ghieh	173.66	144.72	28.94	167.50	118.80	48.71
7 Ghara-Ghieh - Aghdaragh	101.93	842.4	17.69	305.20	194.40	110.81
8 Aghdaragh - Doostbeiglou	147.31	118.8	28.51	609.64	362.88	246.76
9 Doostbeiglou - Moshiran	266.48	231.12	35.36	1778.11	1209.6	568.51
10 Moshiran - Abesh Ahmad	149.76	155.52	-5.75	3566.16	2743.2	822.96
11 Abesh Ahmad - Agha Mohammad Beiglou	23.58	28.08	-4.49	5201.45	4149.72	1006.73
12 Agha Mohammad Beiglou - Gol tappeh	6.22	8.64	-2.42	3912.14	3287.52	624.63
13 Gol tappeh - Eivazlou	5.53	8.64	-3.11	2017.01	1753.92	263.08
14 Eivazlou - Aslandooz	7.45	10.8	-3.35	2325.19	2004.48	320.72
Biochemical oxygen demand (BOD_5)						
1 Ilanjigh - Borjlou	60.41	222.56	-162.15	63.14	238.89	-175.75
2 Borjlou - Yamchi	135.34	321.15	-185.8	774.96	2214.17	-1439.21
3 Almas - Aghbolagh Aghajan	11.66	181.44	-6.48	892.08	892.08	0
4 Aghbolagh Aghajan - Dolat Abad	402.45	205.63	196.82	402.79	381.02	21.77
5 Dolat Abad - Arbabkandi	178.67	142.13	36.54	963.49	1572.48	-628.99
6 Kangarlou - Ghara-Ghieh	112.88	202.61	-89.73	65.34	166.32	-100.98
7 Ghara-Ghieh - Aghdaragh	60.65	117.94	-57.28	81.65	272.16	-190.51
8 Aghdaragh - Doostbeiglou	66.52	166.32	-99.79	90.72	508.03	-417.31
9 Doostbeiglou - Moshiran	134.05	323.57	-189.52	471.74	1693.44	-1221.69
10 Moshiran - Abesh Ahmad	122.86	217.73	-94.87	1591.05	3840.48	-2249.42
11 Abesh Ahmad - Agha Mohammad Beiglou	22.74	393.12	-16.57	3223.99	5872.61	-2642.67
12 Agha Mohammad Beiglou - Gol tappeh	6.91	120.96	-5.18	2630.01	4602.52	-1972.51
13 Gol tappeh - Eivazlou	7.43	120.96	-4.66	1227.74	2455.48	-1227.74
14 Eivazlou - Aslandooz	10.40	15.120	-5.07	1443.23	2806.27	-1363.04

 اعداد پررنگ نشان‌دهنده کمبود DO و مازاد بار BOD_5 هستند.

اختلاف ظرفیت خودپالایی محاسباتی حاصل از خروجی مدل
و داده‌های واقعی، در دوره پیرایی به‌مراتب بیشتر بوده که بر
اساس آن، اختلاف عملکرد واقعی جریان از شرایط موردانتظار
از آن بر اساس خروجی مدل، مربوط به شرایط هیدرولیکی و

غلظت‌های بالای فسفات در آن مناطق است. در مجموع می‌توان گفت افزایش زهکش‌های ورودی از نواحی رودکناری در فصل زمستان (دوره پربابی) در مقایسه با تابستان (دوره‌های کم‌آبی) از طرفی افزایش دبی جریان را به دنبال داشته که مطلوب بوده و در مقابل سبب افزایش بار ورودی آلاینده‌ها از

جمله ترکیبات آلی، نترات و فسفات به جریان آبی اصلی شده که تا حدودی نامطلوب بوده است. این مورد در پژوهش (Nooshadi and Hatamizadeh 2011) مورد اشاره قرار گرفته است.

جدول ۶- مقادیر بار موجود (L_R)، بار مجاز (L_L) و حداکثر ظرفیت روزانه (L_P) برای پارامترهای NO_3 و PO_4

Table 6 The levels of existing load (L_R), allowable load (L_L) and maximum daily load (L_P) NO_3 and PO_4

River section	Low water period			High water period		
	L_R (kg/day)	L_L (kg/day)	L_P (kg/day)	EL (kg/day)	AL (kg/day)	AC (kg/day)
Nitrate (NO_3)						
1 Ilanjigh – Borjlou	1217.59	1589.76	-372.16	548.26	1706.40	-1158.13
2 Borjlou - Yamchi	3546.40	2293.92	-1252.48	9758.17	15815.52	-6057.34
3 Almas - Aghbolagh Aghajan	140.74	129.60	11.15	384.48	637.20	-252.71
4 Aghbolagh Aghajan - Dolat Abad	1360.99	1468.80	-107.81	1736.65	2721.60	-984.94
5 Dolat Abad - Arbabkandi	1021.59	1015.20	6.39	8885.63	11232.00	-2346.36
6 Kangarlou - Ghara-Ghieh	1620.86	1447.20	173.66	757.94	1188.00	-430.05
7 Ghara-Ghieh - Aghdaragh	424.57	842.40	-417.83	736.77	1944.00	-1207.22
8 Aghdaragh - Doostbeiglou	86.72	1188.00	-1101.27	1328.14	3628.80	-2300.65
9 Doostbeiglou - Moshiran	1569.30	2311.20	-741.89	4330.36	12096.00	-7765.63
10 Moshiran - Abesh Ahmad	1654.70	1555.20	99.53	11274.55	27432.00	-16157.45
11 Abesh Ahmad - Agha Mohammad Beiglou	156.41	280.80	-124.39	25336.11	41947.20	-16611.09
12 Agha Mohammad Beiglou - Gol tappeh	78.52	86.40	-7.86	19790.87	32875.20	-13084.33
13 Gol tappeh – Eivazlou	136.43	86.40	50.02	13820.89	17539.20	-3718.31
14 Eivazlou - Aslandooz	179.60	108.00	71.60	14893.28	20044.80	-5151.51
Phosphate (PO_4)						
1 Ilanjigh - Borjlou	62.0	4.13	57.87	69.45	4.43	65.01
2 Borjlou - Yamchi	106.21	5.96	100.24	877.76	41.12	836.64
3 Almas - Aghbolagh Aghajan	3.69	0.33	3.36	3.65	1.65	1.99
4 Aghbolagh Aghajan - Dolat Abad	387.76	3.82	383.94	367.42	7.07	360.33
5 Dolat Abad - Arbabkandi	171.57	2.64	168.93	1774.65	29.20	1745.45
6 Kangarlou - Ghara-Ghieh	24.73	3.76	30.97	47.52	3.08	43.43
7 Ghara-Ghieh - Aghdaragh	2434.53	2.19	2432.34	101.08	5.05	96.03
8 Aghdaragh - Doostbeiglou	3433.32	3.08	3430.23	214.09	9.43	204.66
9 Doostbeiglou - Moshiran	76.27	6.01	70.26	774.14	31.44	742.69
10 Moshiran - Abesh Ahmad	45.1	4.04	41.05	1179.57	71.32	1108.25
11 Abesh Ahmad - Agha Mohammad Beiglou	5.62	0.73	4.88	1300.36	109.06	1191.30
12 Agha Mohammad Beiglou - Gol tappeh	1.64	0.22	1.41	1183.51	85.47	1098.03
13 Gol tappeh – Eivazlou	2.16	0.22	1.93	526.17	45.60	480.57
14 Eivazlou - Aslandooz	2.59	0.28	2.31	781.74	52.12	729.63

Bold numbers indicate excess loads for NO_3 and PO_4

اعداد پررنگ نشان‌دهنده مازاد بار NO_3 و PO_4 هستند

۳-۳- حداکثر بار کل روزانه

ایستگاه‌های الماس تا ارباب‌کندی از رودخانه بالیقلی‌چای و فاصله ایستگاه مشیران تا ایستگاه پایانی رودخانه قره‌سو) دارای ظرفیت پذیرش منفی بودند. این درحالی‌است که در دوره پربابی تنها ۲ مقطع از رودخانه بالیقلی‌چای (فاصله ایستگاه الماس تا ایستگاه دولت‌آباد) ظرفیت پذیرش منفی داشتند. بر این اساس، با توجه به شرایط هیدرولیک جریان، در دوره پربابی وضعیت مناسب‌تری از نظر اکسیژنی در این رودخانه‌ها برقرار بوده است. سطوح محاسباتی ظرفیت پذیرش برای BOD_5 نیز در فصل کم‌آبی تنها در فاصله ایستگاه‌های آقبلاغ‌آقاجان تا ارباب‌کندی و در فصل پربابی در

بار موجود، ظرفیت مجاز و ظرفیت حداکثر بار کل روزانه محاسبه‌شده برای پارامترهای DO و BOD_5 ، NO_3 و PO_4 در هر دو دوره کم‌آبی و پربابی برای رودخانه‌ها در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است. این سطوح بر مبنای مقادیر اندازه‌گیری‌شده غلظت و شرایط جریان با در نظر گرفتن حدود استاندارد محیط‌زیستی برای پارامترها برآورد شده‌اند و برای بازه‌های رودخانه‌ها قابل مقایسه هستند. از نظر پارامتر DO ، در دوره کم‌آبی تعداد زیادی از مقاطع رودخانه‌ها (فاصله بین

ارزیابی قرار گرفت. در جمع بندی نتایج به دست آمده می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. وضعیت کیفی آب رودخانه ها از نظر مقادیر پارامترهای DO, BOD₅ و NO₃ در دوره پرآب جریان بهتر از دوره کم-آب بوده است، در صورتی که عکس این وضعیت برای پارامتر PO₄ مشاهده شد. به طوری که سطوح بالاتری از این ترکیب در دوره با جریان بیش تر به دست آمد.

۲. اختلاف قابل توجهی بین داده های اندازه گیری شده پارامترهای مورد بررسی و سطوح شبیه سازی شده به وسیله مدل QUAL2Kw وجود داشت که نشانگر ورود بار زیاد آلاینده ها در وضعیتی خارج از توان و ظرفیت خودپالایی در امتداد مسیر هر دو رودخانه است.

۳. سطوح ظرفیت پذیرش محاسبه شده برای پارامترهای مختلف به وضوح نمایانگر وضعیت نامناسب کیفی آب و عدم توان پذیرش آلاینده های مرتبط با این پارامترها در بیشتر مقاطع رودخانه ها و به طور خاص برای ترکیب فسفات است.

بر مبنای نتایج، اتخاذ و اعمال استراتژی های مدیریتی مناسب جهت شناسایی منابع آلاینده ورودی به ویژه منابع غیر نقطه ای و طرح ریزی پلان های مناسب انجام فعالیت های کشاورزی و دامپروری و کنترل پیامدهای نامطلوب آنها به منظور حفظ حیات و بهره برداری پایدار از این جریان های آبی به وسیله نهادهای مدیریتی ضروری به نظر می رسد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب منطقه ای اردبیل موضوع قرارداد تحقیقاتی شماره ۹۶/۴۰۵۸/۹۰۰ انجام شده است.

دسترسی به داده ها

داده های حاصل از انجام آزمایش ها در این پژوهش، در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارد که هیچ گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارد.

References

Abedi-Koupai, J., Nasri, Z., Talebi, Kh. Mamanpoush, A., & Mousavi, S.F. (2011). Investigation of Zayandehrud water pollution by diazinon and its assimilative capacity. *J.*

بازه آقبلاغ آقاجان تا دولت آباد، نشان دهنده وجود سطوح مازاد بوده، هر چند وضعیت ظرفیت پذیرش این پارامتر در دوره پرآبی در دیگر مقاطع بسیار مناسب تر بوده است.

مقادیر ظرفیت پذیرش NO₃ به دست آمده نشان داد که در چندین مقطع از رودخانه های بالیقلی چای (مقاطع ۳ و ۵) و قره سو (۶، ۱۰، ۱۳ و ۱۴) مازاد بار NO₃ در جریان وجود داشته و این مقادیر در مقاطع ۶ و ۱۰ به مراتب بیش تر بوده است، در حالی که در دوره پرآبی، ظرفیت پذیرش NO₃ در مقایسه با سطوح استاندارد مورد نظر در بیش تر ایستگاه ها قابل توجه بوده است. نتایج به دست آمده برای PO₄ نیز نمایانگر وضعیت بسیار نامطلوب از نظر ظرفیت پذیرش این ترکیب بوده به طوری که در هر دو دوره، بار مازاد نسبت به ظرفیت مجاز این ترکیب در تمامی ایستگاه ها وجود داشته است. نکته قابل توجه در این رابطه بیش تر بودن ظرفیت پذیرش در دوره پرآبی در مقایسه با دوره کم آبی در اکثر مقاطع است. این وضعیت مجدداً حکایت از آن دارد که بار ورودی بسیار زیادی از این ترکیب در نتیجه وقوع بارش ها و افزایش رواناب های ورودی از نواحی کشاورزی رودکناری در دوره پرآبی به جریان اضافه شده است. در مجموع، از نظر ظرفیت پذیرش پارامترهای مورد بررسی، می توان گفت بیشتر مقاطع رودخانه ها فاقد توان ظرفیت پذیرش بالا برای پارامترهای مورد مطالعه بوده اند و این شرایط به طور خاص در رابطه با فسفات، بحرانی بوده که تا حد زیادی حاصل ورود منابع آلاینده غیر نقطه ای از جمله زه آب های کشاورزی، رواناب های برخاسته از نواحی رودکناری حاوی حجم بالای فضولات حیوانی و نیز کودهای کشاورزی بوده است؛ وضعیتی که در مطالعه Hoseini (2019) نیز به طور خاص برای رودخانه قره سو بیان شده است.

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، وضعیت کیفی آب رودخانه های بالیقلی-چای و قره سو در دو دوره کم آبی و پرآب جریان آنها برای شاخص های DO, BOD₅, NO₃ و PO₄ بر مبنای شبیه سازی عملکرد رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw، سطوح خودپالایی نسبی و در نهایت تعیین TMDL مورد

Water Soil Sci., 15(56),1-20. [In Persian]. DOI: [20.1001.1.24763594.1390.15.56.1.1](https://doi.org/10.1001.1.24763594.1390.15.56.1.1)

Akbarzadeh, A., Mirbagheri, S. A., Bashiri, S., & Mousakhani, M. (2013). Calculating total

- maximum daily load (TMDL) of nutrients in Anzali Wetland basin. Proc. 2013, The first national conference on water reuse. Iran, Tehran [In Persian].
- APHA. (2005). Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, DC. DOI: [10.1016/0048-9697\(94\)90332-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90332-8)
- Areeyaeinejad, R., Sarai Tabrizi, M., & Babazadeh, H. (2019). Modeling water quality of rivers using QUAL2Kw model (Case Study: Shahrud River). *J. Environ. Sci. Technol.*, 21(7), 1-13. [In Persian] DOI: [10.22034/JEST.2018.30267.3894](https://doi.org/10.22034/JEST.2018.30267.3894).
- Azimi, M. M., Ghavasieh, A. R., Hashemi, S. H., Barakatain, S., & Jafari Gol, F. (2010). Assessment of river selfpurification using the results of qualitative simulation (case study: Sefidrood River). Proc. 2010, Water national conference with clean water approach. Tehran [In Persian].
- Babamiri, O., Marofi, S., & Azari, A. (2020). An investigation into self-purification and modeling of changes in nitrogen and phosphor along Dez River (The distance between Dez Dam and Band Ghir Bridge). *J. Environ. Sci. Technol.*, 22(3), 301-315. [In Persian] DOI: [10.22034/JEST.2020.31130.3948](https://doi.org/10.22034/JEST.2020.31130.3948).
- Chapra S., Pelletier G., & Tao H. (2008). QUAL2K: A modelling framework for simulating river and stream water quality, Version 2.11. Documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford.
- Department of Environment (2016). Water quality standards. Tehran. P14. [In Persian]
- Heidarpour, M., & Jamshidi, S. (2019). Determining total allowable pollution and waste load allocation in rivers regarding seasonal variations, a framework for local multi-parameter water quality standardization and monitoring. *J. Environ. Stud.*, 44(3), 519-531 [In Persian] DOI: [20.1001.1.10258620.1397.44.3.9.8](https://doi.org/10.1001.1.10258620.1397.44.3.9.8).
- Hoseini Y. (2019) Study the selfpurification capacity and water quality of Qarahoo River using Qual2kw and NSFQI models. *Wetland Ecobiol.*, 11(3), 41-60 [In Persian].
- Khalili R., Parvinnia M., & Motaghi H. (2020). Evaluation of Bashar River water quality using CCME water quality index. *J. Environ. Sci. Stud.*, 5(3), 2807-2814 [In Persian]
- Lotfi, A. (2012). Guideline on rapid assessment of environmental features of rivers. Ghalam Azin Chap. 1st edition. Tehran. 120 pp. [in Persian]
- Maghsoudi R., Abedi Koupai J., & Mir Abbasi Najafabadi R. (2021) Investigation of the effects of Beheshtabad river water abstraction on downstream water quality. *Iran. J. Soil Water Res.*, 52(9), 2485-2499 [In Persian] DOI: [10.22059/IJSWR.2021.327872.669036](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2021.327872.669036).
- Meftah Halghi, M. (2009). Estimating of maximum allowable pollutant in Gorganrood River. *J. Water Soil Conserv.*, 16(1), 19-34 [In Persian].
- Merchán, D., Sanz, L., Alfaro, A., Pérez, I., Goñi, M., Solsona, F., & Casali, J. (2020). Irrigation implementation promotes increases in salinity and nitrate concentration in the lower reaches of the Cidacos River (Navarre, Spain). *Sci Total Environ.*, 706, 135701. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.135701](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135701)
- Mohammadi, B., Zeinolabedini, N., Fataei, A., & Naderi, W. (2015). Assessment of Gharasoo River water quality regarding river selfpurification capacity. Proc. 2015, The first national conference on environmental science and management. Iran, Ardabil. [in Persian]
- Nikakhtar, M., Rahmani, S. H., & Massah Bovani, A. R. (2020) Simulating water quality of Ardak River (Khorasan Razavi) using QUAL2KW. *J. Environ. Sci. Technol.*, 21(11), 93-105 [In Persian] DOI: [10.22034/JEST.2020.29264.3781](https://doi.org/10.22034/JEST.2020.29264.3781).
- Nooshadi, M., & Hatamizadeh, M. R. (2011). Determination and simulation of water quality in the Kor River using QUAL2k model. *Iran. J. Irrig. Drain.*, 3(4), 338-349 [In Persian].
- Pelletier, G. J., & Chapra, S. C. (2008). Qual2kw-theory and documentation (Version 5.1) A modeling framework for simulating river and stream quality. Washington Department of Ecology-Washington State.
- Rafiee, M., Akhond Ali, A. M., Moazed H., & Steve W. L. (2017). A case study of water quality modeling of the Gargar River. *J. Iran.*

- Water Sci.*, 35, 25-36 [In Persian]. DOI: [10.22055/JHS.2014.10533](https://doi.org/10.22055/JHS.2014.10533)
- Shokri, S., Hoshmand, A. and Moazed, H. (2015) Ammonium and nitrate quality simulation in GarGar rivers using QUAL2KW model. *Wetland Ecobiol.*, 7(1), 57-68 [In Persian].
- Yuceer, M., & Coskun, M. (2016). Modeling water quality in rivers: a case study of Beylerderesi River in Turkey. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 4(1), 383-395.

How to cite this paper:

Rafiee, G., Moëzzi, F., Poorbagher, H., Rezaei Tavabe, K. and Nematollahi, M. A. (2023). Assessing water quality indices and self-purification capacity of Balighli-Chai and Ghare-Sou Rivers using QUAL2Kw model. *Environ. Water Eng.*, 9(3), 335-351. DOI: [10.22034/jewe.2022.336023.1756](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.336023.1756)
