Journal of Iranian Water Engineering Research

Research Article, P. 1-13
https://doi.org/10.22034/ijwer.2022.307191.1006

Two-dimensional unsteady modeling of the Bamdej wetland hydrodynamic and quality

K. Shahverdi[1*], M. Mazaheri[2], M. Nasseri[3], M. J. Monem[4]

[1] Assistant Professor, Water Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran,
[2] Associate Professor, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Civil Engineering Department, Paradise of Technical Colleges, University of Tehran, Tehran, Iran
[4] Professor, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[*]**Corresponding Author: k.shahverdi@basu.ac.ir**

Received: **30 Sep. 2021**
Accepted: **23 Feb. 2022**

Homepage: **ijwer.uoz.ac.ir**

Abstract: In recent decades, the application of quantitative and qualitative mathematical models for evaluation of Water Bodies hydrodynamic phenomena was taken spread. In this research, a two-dimensional hydrodynamic model was developed for quality evaluation of Bamdej wetlands from Shavour dam in upstream to the Tavana channel intersection in the downstreem, using Mike 21 software. For this aim, the hydrodynamic parameters of water depth and quality parameters including temperature, solution oxygen, biochemical oxygen, Nitrate, Ammonia, Phitchial Coliform and Total Coliform were applied duraring a year. The hydrodynamic and quality parameters measured in the field. The Manning rough coefficient for the bed and flood plains, respectively, estimated at 0.04 and 0.06. Furthermore, the results showed the developed model had a fairly appropriate accuracy and it can accurately calculate the parameters of the flow as well as the wetland area.

Keywords: Bamdej, Pattern Identification, Manning's Roughness, Mike 21

Introduction: One of the most important issues in modeling wetland basins is estimating water balance by simulating its hydrological components, For which, a various software were developed. DYRESM model was applied to indicate the water quality conditions of the Torogh Dam reservoir (Khayami et al., 2009) and Fifteen-Khordad dam reservoir (Etemad Shahidi et al., 2009) by examining the temporal changes of temperature, salinity, wind speed and dissolved oxygen parameters. Using MIKE SHE model, water balance in Paya Indah Wetlands (PIW) watershed in Malaysian was estimated (Rahim et al., 2012). CE-QUAL-W2 2D model was used for thermal and oxygen modeling in Sefidrood dam reservoir (Taheri et al., 2014). Modeling of water level changes due to breakwaters in Anzali International Wetland was investigated using MIKE 21 numerical model (Juston and Kadlec, 2019).

In this research, a qualitative and quantitative two-dimensional model of Bamdej wetland is developed using MIKE 21 software to operate and manage the wetland for the first time. The model is calibrated and validated using measured data over a one-year period. Finally, changes in hydrodynamic parameters of water depth and velocity in x and y directions and qualitative parameters such as temperature, dissolved oxygen, nitrate, ammonia are analyzed.

Material and Methods: Bamdej wetland is located between 48˚ 33' to 48 ˚ 39' longitude and between 31˚ 41' to 31˚ 47' latitude in Khuzestan province which is far from northwestern Ahvaz city about 40 kilometers.

The two-dimensional model, conducted on Bamdej wetland using the MIKE 21 model, is an unsteady model which applies laterally averaged depth-(in X- and Y-direction), revealed by equations 4-1. The hydrodynamic and quality parameters used in this study were shown in Table 1. Using field surveying data initial values of Manning's roughness for the river bed and the flood plain of the wetland were chosen. Fig. 3 shows the points at which flow and pollution resources were considered. Then, the model results were validated by changing the initial values of the roughness. Finally, boundary conditions, Table 4, were applied and run. The parameters related to determining the time step of the calculations were considered according to Table 5.

Results and Discussion: Taking into account different values of Manning coefficient, the final values of Manning roughness coefficient are equal to 0.04 for the riverbed and 0.06 for the right and left floodplains. Due to the limited data available in the hydrodynamic model, only the roughness coefficient and the pollutant transfer model, only the scattering coefficient parameter (as the most important parameters) were calibrated. For calibrating the roughness coefficient, the most agreement was made between the computational and observational zones of the wetland.

The model outputs include the mentioned hydrodynamic and qualitative parameters during one year of simulation time with 2.5 hours. Run times for a year take about 36 hours, and since wet and dry seasons are experienced during the year, an acceptable methodology can be enumerated. We applied ArcGIS software for analysis and zoning of variables. the results are presented only for a limited time in Fig. 4 to 11.

The amount of water depth in Bamdej wetland is mostly less than one meter, although it reaches about 2 meters and even up to 2.6 meters in some places. The average depth velocity varies between 0.05 to 0.2 m / s in Bamadj wetland (Fig. 3 and 4). Comparing depth magnitudes (Fig. 4) and the amounts of water quality parameters (Fig. 5 to 11) throughout Bamdej wetland revealed that where the depth is greater the values of quality parameters are higher, consistent with the results of previous research.

The high concentration of dissolved oxygen in the lagoon reaches up to 5 mg / l, but high levels occur in the main bed. The same is true of biochemical oxygen demand values. However, the maximum biochemical oxygen concentration (2 mg / l) is less than the dissolved oxygen concentration.

Ammonia concentration varies between 1 and 3; however, the slightest changes and high values observe only in a few points among the qualitative parameters.

In general, the results showed that the simulation accuracy is about one percent, concluded that the prepared two-dimensional and unsteady hydrodynamic model has good accuracy and can calculate the flow parameters and the lagoon area with acceptable accuracy.

Conclusion: Hydrodynamic and quality maps of the wetland procured by two-dimensional modeling of hydrodynamic and quality of Bamdej wetland, developed in this research, shows the proper Manning's roughness coefficients for the river and flood plain are 0.04 and 0.06, respectively. Furthermore, the hydrodynamic and quality model is accurate and could precisely calculate flow parameters and wetland zones.

© 2022 University of Zabol, Zabol, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

نشریه علمی
پژوهش‌های مهندسی آب ایران

مقاله پژوهشی، ص ۱۳-۱
https://doi.org/10.22034/ijwer.2022.307191.1006

مدل‌سازی هیدرودینامیکی و کیفی تالاب (مطالعهٔ موردی: تالاب بامدژ)

کاظم شاهوردی[۱*]، مهدی مظاهری[۲]، محسن ناصری[۳]، محمدجواد منعم[۴]

[۱] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
[۲] دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳] استادیار، گروه عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۴] استاد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[*]پست الکترونیکی نگارندهٔ مسئول: k.shahverdi@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴
وب‌گاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir

چکیده

مدل‌سازی کمی و کیفی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در درک پدیده‌ها و فرایندهای پیچیده هست. در دهه‌های اخیر، کاربرد مدل‌های ریاضی در مدل‌سازی کمی و کیفی پدیده‌های مربوط به هیدرودینامیک و کیفیت پهنه‌های آبی مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، مدل‌سازی دوبعدی هیدرودینامیک و کیفیت تالاب بامدژ از محل سد شاوور در بالادست تا محل تقاطع کانال توانا در پایین‌دست، به‌صورت متوسط عمقی و غیرماندگار با استفاده از ماژول‌های هیدرودینامیک و کیفیت نرم‌افزار MIKE 21 بررسی خواهد شد. در این راستا، پارامترهای هیدرودینامیک عمق آب، سرعت در جهت x و سرعت در جهت y، و پارامترهای کیفی دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، نیترات، آمونیاک، فیکال کلیفرم و توتال کلیفرم برای مدت یک سال شبیه‌سازی شد. جهت تهیهٔ مدل مناسب، از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی استفاده گردید. با استفاده از ماژول هیدرودینامیک ضریب زبری مانینگ برای بستر و سیلاب‌دشت‌ها به ترتیب برابر با ۰/۰۴ و ۰/۰۶ به‌دست آمد. شرایط مرزی بالادست و پائین‌دست به‌ترتیب دبی مشخص و دبی-اشل درنظر گرفته و شبیه‌سازی برای مدت ۳۶۵ روز انجام شد. نتایج نشان داد مدل هیدرودینامیک دوبعدی و غیرماندگار نسبتاً از دقت مناسبی برخوردار است و می‌تواند با دقت قابل قبولی پارامترهای جریان و پهنه تالاب را محاسبه نماید.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، زبری مانینگ، هیدرودینامیک، Mike 21

۱- مقدمه

مدل‌سازی ریاضی همیشه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند، در درک پدیده‌ها و فرایندهای پیچیده نقش مؤثری را ایفا نماید که می‌توان در مدل‌سازی کمی و کیفی تالاب‌ها برای درک مکانیزم و رفتارهای حاکم، نیز از آن بهره جست. یکی از مهم‌ترین موضوعات در مدل‌سازی حوضه تالاب‌ها، برآورد تعادل آبی با شبیه‌سازی اجزاء هیدرولوژیکی آن هست. از اولین تحقیقات در زمینه مطالعه تالاب‌ها با

استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی، مدل‌سازی دوبعدی تالاب جهت مطالعه آلودگی مورد توجه قرار گرفته است (Guardo and Tomasello, 1995; Barrett, 1996). از مدل MIKE SHE برای برآورد تعادل آبی در تالاب پایا در چنین سولار مالزی استفاده شد. نتایج نشان داد که تعادل آبی با تغییرات آب و هوائی تغییر می‌کند و مقدار خطا در برآورد مولفه‌های هیدرولوژیکی در تالاب کمتر از یک درصد بوده به‌طوری‌که برهم‌کنش بین مؤلفه‌ها به‌صورت پایدار می‌باشد. (Rahim et al., 2012) در مقاله‌ای با عنوان بررسی اثر نوسانات سطح آب دریای خزر بر روی میزان انتقال رسوب کرانه‌ای (مطالعه موردی: بندر انزلی)، میزان دبی و علل انتقال رسوب در نوار ساحلی جنوب دریای خزر با هدف بررسی اثر نوسانات سطح آب دریای خزر بر روی میزان انتقال رسوب کرانه‌ای را بررسی کردند. برای مدل‌سازی عددی تغییرات خط ساحلی از مدل عددی لیت‌پک از زیرمجموعه‌های بسته نرم‌افزاری MIKE استفاده شد.

کاربرد مدل DYRESM برای ارزیابی شرایط کیفی آب مخزن سد طرق از جمله بررسی تغییرات زمانی پارامترهای دما، شوری و اکسیژن محلول نشان داد که در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲، روند تغییرات شوری کاملا مشابه روند تغییرات حرارتی آب مخزن هست به‌طوری‌که در فصول بهار و تابستان سال ۱۹۹۸ غلظت میانگین املاح آب در لایه‌های پایین بیش از لایه‌های بالایی مخزن هست این در حالی است که در طول فصول پاییز و زمستان به دلیل اختلاط آب مخزن، لایه‌های عمقی دارای غلظتی یکنواخت در مقدار شوری خواهد بود. مقدار RMSE برای پارامترهای دما، شوری و تراز سطح آب به ترتیب ۱۲٪، ۸٪ و ۷٪ به دست آمد (Khayami et al., 2009). واسنجی و اعتبارسنجی مدل DYRESM، برای لایه‌بندی حرارتی و شوری مخزن سد ۱۵ خرداد براساس دمای جریان ورودی، سرعت باد و متوسط دمای هوا نشان داد که مؤثرترین پارامتر بر روی لایه‌بندی حرارتی، متوسط دمای هوا است (Etemad Shahidi et al., 2009). با استفاده از مدل یک‌بعدی HEC-5Q و در نظر گرفتن داده‌های کیفی مربوط به رودخانه چمخان و با فرض احداث سد چراغ‌ویس بر روی این رودخانه، لایه‌بندی دمایی مخزن سد بررسی و پارامترهای دما، TDS، NO_3، NH_3، PO_4 و DO شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، بیانگر یک چرخه لایه‌بندی دمایی بود که در حدود ۹ ماه از سال ادامه داشت. پارامتر TDS نیز در دوره اختلاط مخزن (فصل زمستان) دارای غلظتی ثابت در عمق و در دوره لایه‌بندی دارای بیشترین غلظت در لایه‌های عمقی مخزن هست (Jafarzadeh Haghighi Far and Banisaeed, 2006). به‌منظور بررسی و مدل‌سازی حرارتی و اکسیژن در مخزن سد سپیدرود از مدل دوبعدی عمقی CE-QUAL-W2 استفاده شد. بررسی عوامل مؤثر بر دمای آب نشان داد که عواملی چون سرعت زیاد باد و زمان‌ماند کوتاه مخزن باعث عدم ایجاد لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد می‌شود (Taheri et al., 2014).

یکی از مهمترین مراحل در مدل‌سازی‌های عددی، واسنجی مدل مورد استفاده می‌باشد. مدل‌سازی تغییرات تراز سطح آب ناشی از موج‌شکن‌ها در تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از مدل عددی MIKE 21 بررسی شد. نتایج نشان داد که تراز سطح آب تالاب انزلی و سرعت جریان‌ها دارای تغییرات اندکی هستند. با این‌حال، این تغییرات اندک تأثیر بسزایی بر روی نرخ رسوب‌گذاری داشته و تبادل آبی تالاب بندر انزلی با دریای خزر کمتر شده است. مطالعه کیفی دینامیک غلظت فسفر با استفاده از سری‌های زمانی روزانه ماهانه با توسعه یک مدل دینامیکی نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Juston and Kadlec, 2019).

شبیه‌سازی عددی هیدرودینامیک و کیفیت تالاب‌ها جهت بررسی اثر تر و خشک شدن متوالی تالاب ناشی از جزر و مد آب‌های کم عمق سطحی در برزیل مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از مدل توسعه یافته، الگوی هیدرودینامیکی حاکم بر تالاب شناسایی شده است (Barros et al., 2020). به منظور بهره‌برداری و مدیریت یک تالاب در فلوریدا، مدل‌سازی هیدرودینایک و کیفی تالاب انجام شده است که در آن از داده‌های ۲ سال آماری برای واسنجی مدل سه‌بعدی استفاده شده است. در نهایت با استفاده از مدل توسعه یافته، روش‌های مدیریتی در جهت بهبود پارامترهای کیفی و کمی بحرانی ارائه شده است (Ji and Jin, 2020).

تالاب‌ها از نمونه‌های منحصر به فرد منابع آبی هستند که مطالعه و ارزیابی هر کدام از آنها به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی و بهره‌برداری، که نمونه‌ای از تحقیقات اخیر انجام شده در جهان برای تالاب‌های مختلف در پاراگراف‌های فوق ارائه شده است، مستقلا دارای ارزش می‌باشد. در همین راستا هدف اصلی این تحقیق، استفاده از مدل ریاضی و نشان دادن توانایی آن در مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده هیدرودینامیک، انتقال آلاینده و اندرکنش‌های آنها (جابه‌جایی، پراکندگی، واکنش، جذب و ...) برای حالت دوبعدی و غیرماندگار برای یکی از پهنه‌های آبی کشور (تالاب بامدژ) می‌باشد. توسعه مدل دوبعدی کیفی و کمی تالاب بامدژ برای بهره‌برداری و مدیریت آن که برای اولین بار انجام می‌شود، واسنجی و اعتبارسنجی مدل توسعه‌یافته با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، بررسی مشخصات سه‌بعدی و تغییرات پارامترهای مختلف کیفی و کمی یعنی پارامترهای هیدرودینامیک عمق آب، سرعت در جهت x و y و پارامترهای کیفی دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، نیترات، آمونیاک، فیکال کلیفرم و توتال کلیفرم. برای این منظور از نرم‌افزار MIKE 21 استفاده شده است. یکی از شاخصه‌های بارز این تحقیق برخلاف مطالعات قبلی این است که از داده‌های بسیار کمی برای مدل‌سازی به‌صورت متوسط عمقی و غیرماندگار، استفاده شده است. با استفاده از مدل تهیه شده می‌توان تغییرت کیفی و کمی تالاب را در زمان‌های مختلف بررسی و ارزیابی کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تالاب بامدژ در محدوده جغرافیایی ′۳۳ ° ۴۸ تا ′۳۹ ° ۴۸ طول شرقی و ′۴۱ ° ۳۱ تا ′۴۷ ° ۳۱ عرض شمالی در محدوده استان خوزستان در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهر اهواز قرار دارد. از نظر هیدرولوژیکی، این تالاب در بخشی از بستر پائین دست رودخانه شاوور واقع است. سرچشمه این رودخانه در نزدیکی شمال دزفول و شهر اندیمشک واقع بوده و در مسیر حرکت خود در حدفاصل رودخانه‌های کرخه و دز تا کانال توانا امتداد دارد. حوضه آبریز تالاب بامدژ از نظر تقسیم‌بندی حوضه‌های کلی کشور درون حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان واقع شده است. سطح حوضه آبریز تالاب بامدژ در محل کانال توانا ۹۷۶/۴ کیلومترمربع برآورد شده است. به علت عدم رعایت ساکنین اطراف بستر و حاشیه، رودخانه شاوور یکی از رودخانه‌های آلوده منطقه می‌باشد. سرازیر شدن فاضلاب اهالی ۴۰ روستای واقع در حاشیه آن، این رودخانه و اهالی را از نظر بیماری‌های انگلی در معرض خطر قرار داده است زیرا اهالی محل مستقیماً آب آشامیدنی موردنیاز خود را از این رودخانه تأمین می‌نمایند. این موضوع بر کیفیت آب تالاب بامدژ نیز اثر می‌گذارد.

۲-۲- متغیرهای مدل‌سازی

مدل‌سازی تالاب بامدژ در این تحقیق به‌صورت دوبعدی متوسط عمقی (دوبعدی در جهات افقی x و y) و غیرماندگار انجام می‌شود. مدل‌سازی مذکور مشتمل بر دو بخش هیدرودینامیک و کیفیت می‌باشد. شروع محدودهٔ مکانی مدل‌سازی، سد شاوور و انتهای آن نیز تقاطع کانال توانا می‌باشد. از نظر زمانی نیز مدل‌سازی برای مدت‌زمان یک سال انجام می‌شود. جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده جهت مدل‌سازی در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده جهت مدل‌سازی تالاب بامدژ در مطالعه حاضر

Table 1 Variables used for Bamdej wetland modeling in this study

Hydrodynamic model	Quality model
U Velocity	Temperature
V Velocity	Dissolved Oxygen
Water Surface Elevation	Biochemical Oxygen Demand
Water Depth	Nitrate
	Ammonia
	Faecal Coliform
	Total Coliform

۲-۳- مدل مورد استفاده

مدل مورد استفاده در این تحقیق، مدل MIKE 21 تهیه شده توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک می‌باشد. این مدل یکی از بهترین و قوی‌ترین مدل‌های موجود در زمینه

مدل‌سازی دوبعدی و غیرماندگار جریان‌های آزاد است. مدل MIKE 21 دارای قسمت‌ها و ماژول‌های متفاوتی بوده و می‌تواند برای مدل‌سازی پدیده‌های مختلفی در رابطه با دریاها، دریاچه‌ها، خلیج‌ها، تالاب‌ها، نواحی ساحلی و رودخانه‌ها بکار رود. در این تحقیق، از ماژول‌های شبیه‌سازی هیدرودینامیک و کیفیت بخش مربوط به شبیه‌سازی جریان با شبکه بندی انعطاف پذیر استفاده شد.در ماژول هیدرودینامیک، معادلات دیفرانسیل جزئی دوبعدی و غیرماندگار آب کم‌عمق به‌صورت متوسط عمقی با استفاده از روش عددی حل می‌شوند. این معادلات که شامل معادله پیوستگی، معادله مومنتم است، به ترتیب به‌صورت معادلات (۱) تا (۳) می‌باشند (DHI DHI, 2012).

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial(h\overline{u})}{\partial x}+\frac{\partial(h\overline{v})}{\partial y}=hS \quad (1)$$

$$\frac{\partial(h\overline{u})}{\partial t}+\frac{\partial(h\overline{u}^2)}{\partial x}+\frac{\partial(h\overline{u}\overline{v})}{\partial y}=f\overline{v}h-gh\frac{\partial\eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x}+\frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y}+hu_sS \quad (2)$$

$$\frac{\partial(h\overline{v})}{\partial t}+\frac{\partial(h\overline{u}\overline{v})}{\partial x}+\frac{\partial(h\overline{v}^2)}{\partial y}=-f\overline{u}h-gh\frac{\partial\eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}-\frac{\tau_{by}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial(hT_{yx})}{\partial x}+\frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y}+hv_sS \quad (3)$$

در روابط فوق t زمان، x و y جهت‌های مکانی، h عمق آب، $\overline{u}$ سرعت متوسط عمقی در جهت x، $\overline{v}$ سرعت متوسط عمقی در جهت y، S میزان دبی منبع نقطه‌ای، f پارامتر کوریولیس، η رقوم سطح آب، ρ_0 جرم مخصوص مرجع آب، p_a فشار اتمسفر، g شتاب ثقل، τ_{sx} و τ_{bx} به ترتیب برابر با مؤلفه‌های تنش برشی باد و کف در جهت x، τ_{sy} و τ_{by} به ترتیب برابر با مؤلفه‌های تنش برشی باد و کف در جهت y، s_{xx}، s_{xy}، s_{yx} و s_{yy} برابر با مؤلفه‌های تانسور تنش برشی و T_{xx}، T_{xy}، T_{yx} و T_{yy} برابر با مؤلفه‌های تنش برشی ویسکوز به‌صورت متوسط عمقی می‌باشند. در قسمت ماژول کیفیت، معادله دیفرانسیل جزئی دوبعدی و غیرماندگار انتقال به‌صورت متوسط عمقی با استفاده از روش عددی حل می‌شود. این معادله به‌صورت زیر می‌باشد (MIKE 21, 2012).

$$\frac{\partial(h\overline{C})}{\partial t}+\frac{\partial(h\overline{u}\overline{C})}{\partial x}+\frac{\partial(h\overline{v}\overline{C})}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x\frac{\partial\overline{C}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y\frac{\partial\overline{C}}{\partial y}\right)-hk_p\overline{C}+hC_SS \quad (4)$$

در معادله فوق $\overline{C}$ غلظت متوسط عمقی، D_x ضریب دیسپرژن در جهت x، D_y ضریب دیسپرژن در جهت y، k_p ضریب واکنش درجه اول و C_s غلظت ترم منبع می‌باشد.

روش عددی به‌کار رفته در مدل جریان با شبکه‌بندی انعطاف‌پذیر در نرم‌افزار MIKE 21، روش حجم محدوداست. در این تحقیق، برای شبکه‌بندی از شبکه بی‌ساختار (استفاده ترکیبی از شبکه‌های مثلثی و چهارضلعی)، برای معادلات جریان کم عمق، از حل کننده تقریبی ریمان[1] با الگوی رو[2] همراه با روش TVD[3] برای اجتناب از بوجود آمدن نوسانات عددی در گرادیان‌های شدید، برای انتگرال‌گیری زمانی معادلات از روش صریح رانج-کوتا استفاده شد. برای حصول پایداری، معادلات به صورت مشروط پایدار بوده و شرط CFL[4] در مورد گام زمانی اعمال

[1] Approximate Riemann Solver
[2] Roe's Scheme
[3] Total Variation Diminishing (TVD)
[4] Courant-Friedrich-Levy (CFL)

شد. برای لحاظ کردن تری و خشکی از سه پارامتر عمق خشکی[1]، عمق سیل‌گیری[2] و عمق تری[3] استفاده گردید.

۲-۴- تعیین مرزهای مدل‌سازی تالاب و شبکه‌بندی دامنه

همانطور که اشاره شد در این تحقیق، مدل‌سازی هیدرودینامیک و کیفیت تالاب بامدژ از سد شاوور در بالادست تا تقاطع کانال توانا در پائین‌دست مد نظر می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا مرزهای متفاوتی برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد و در انتها با توجه به حداکثر دبی ورودی به تالاب در طول دوره شبیه‌سازی و مناطق تر شده متناظر با آن، محدوده نقاط داده‌برداری در تالاب و لحاظ کردن ضریب اطمینان، مرزهای مدل‌سازی به‌صورت شکل ۱ در نظر گرفته شد. در مناطقی که تغییرات سرعت جریان چشم‌گیر است (مانند جریان در کانال اصلی نسبت به پهنه‌های سیلابی یا پهنه تالاب)، می‌توان از شبکه‌های ترکیبی استفاده نمود. بدین ترتیب که کانال اصلی رودخانه در جهت اصلی جریان با استفاده از شبکه‌های چهارضلعی و مناطق اطراف با استفاده از شبکه‌های مثلثی پوشانده شود. با استفاده از این روش خطالقعر دامنه حل به نحو مناسب از مناطق اطراف متمایز می‌گردد.

لازم به ذکر است که در مدل‌سازی پهنه‌های آبی دوبعدی، معمولا شبکه چهارضلعی برای مکان‌هایی استفاده می‌شود که در آنها جریان دائمی بوده و جهت آن عمدتاً تغییر نمی‌کند (مانند رودخانه) ولی شبکه مثلثی برای مکان‌هایی بکار می‌رود که عمدتاً تحت تأثیر تر و خشک شدن قرار می‌گیرد (پهنه تالاب). ترکیب حاضر بهترین نتیجه پایداری را برای مدل عددی داشت. علاوه بر این، پهنه یک رودخانه نسبتاً باریک را نمی‌توان به خوبی با شبکه مثلثی پوشاند و در این صورت باید شبکه بسیار ریز استفاده کرد که هزینه محاسباتی را افزایش می‌دهد. برای اندازه شبکه‌ها آنالیز استقلال نتایج مدل از اندازه شبکه انجام شد. بدین ترتیب که اجرای مدل از یک شبکه با اندازه بزرگ شروع می‌شود و به تدریج اندازه شبکه کوچک و کوچک‌تر می‌شود تا دیگر در نتایج مدل تغییر معنی‌داری (با توجه به دقت مورد نیاز) اتفاق نیفتد. شبکه‌بندی نهایی نیز که با استفاده از روش عددی توضیح داده شده در بخش "معرفی مدل مورد استفاده"، انجام شد که ساختار نهایی آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

Fig. 1 Final boundaries used for Bamdej wetland modeling in this study

شکل ۱ مرزهای نهایی مورد استفاده در مدل‌سازی تالاب بامدژ در مطالعه حاضر

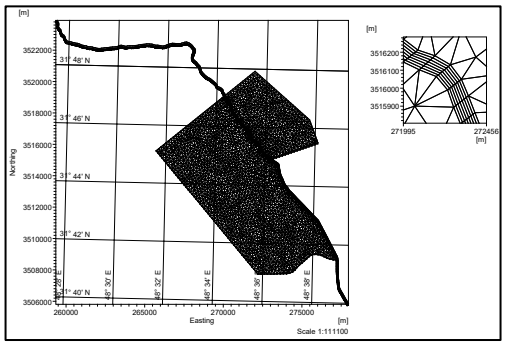

Fig. 2 Final meshing domain in hydrodynamic symulation of Bamdej wetland

شکل ۲ شبکه‌بندی ترکیبی (چهارضلعی و مثلثی) نهایی دامنه حل در شبیه‌سازی هیدرودینامیک تالاب بامدژ

۲-۵- تعیین ضریب زبری

با توجه به اینکه مقاومت جریان، پارامتر عمده افت انرژی در آبراهه‌ها می‌باشد و نقش مؤثری در تراز سطح آب و سرعت جریان در هر مقطع دارد، تعیین مناسب این ضریب که معرف شرایط واقعی آبراهه باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. معمولاً برای تعیین و تخمین مقدار این

[1] Drying Depth
[2] Flooding Depth
[3] Wetting Depth

ضریب در بازه‌ای از آبراهه آن را به سه قسمت اساسی تقسیم می‌کنند: آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت‌های سواحل راست و چپ. در این تحقیق ابتدا با استفاده از نتایج بازدیدهای صحرایی و جداول موجود، ضرایب زبری مانینگ اولیه برای بستر رودخانه (کانال اصلی) و سیلاب‌دشت‌ها انتخاب شد. سپس با استفاده از ضرایب زبری در مرحله قبل، برای شرایط دبی متوسط پهنه تالاب شبیه‌سازی شد و سعی شد که با تغییر ضرایب زبری در نظر گرفته شده، پهنه تالاب شبیه‌سازی‌شده تا حد امکان نزدیک به پهنه مشاهداتی باشد.

۲-۶- شرایط مرزی ماژول هیدرودینامیک

در تحقیق حاضر، دو مرز باز وجود دارد که عبارت‌اند از مرز ورودی بالادست در محل سد شاوور و مرز خروجی پایین‌دست در محل تقاطع کانال توانا. مرز باز مرزی است که جریان از آنجا وارد مدل می‌شود (یا خارج می‌شود). از آنجایی که قسمت عمده دبی در دامنه حل از این مرز وارد می‌شود، باید این مرز را به صورت باز در نظر گرفت تا بالاخره دبی بالادست از محلی وارد مدل شود. سایر مرزهای مدل از نوع مرز بسته می‌باشند. شرایط مرزی در شبیه‌سازی هیدرودینامیک تالاب بامدژ و دوره شبیه‌سازی به ترتیب در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که دبی‌های ثبت شده در محل تقاطع کانال توانا از دبی‌های ثبت شده خروجی از سد شاوور بیشتر می‌باشد. این امر نشان‌دهنده این است که در طول مسیر رودخانه و در پهنه تالاب، اختلاف دبی‌ها به سیستم اضافه می‌شود. با توجه به اینکه برای لحاظ کردن منابع آلاینده نقطه‌ای در ماژول کیفیت، دبی و غلظت منابع آلاینده نقطه‌ای لازم هستند، می‌توان اختلاف دبی‌های فوق را به‌صورت دبی منابع آلاینده (آب بازگشتی به تالاب) در نظر گرفت.دبی و آلاینده نقطه‌ای) در طول زمان شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

۲-۷- شرایط مرزی ماژول کیفیت

مشابه شرایط مرزی ماژول هیدرودینامیک، برای اجرای

جدول ۲ شکل ۳ نقاط اندازه‌گیری شده‌ی (به عنوان منابع شرایط مرزی مدل هیدرودینامیک

Table 2 Boundary conditions in hydrodynamic model

Boundary type in hydrodynamic model	Boundary type
Flow hydrograph	Open boundary in upstream inlet (Shavor dam)
Flow-head	Open boundary in upstream inlet (Shavor dam)
Earth boundary condition (zero vertical velocity)	Closed boundaries

جدول ۳ تاریخ‌های شروع و پایان شبیه‌سازی

Table 3 Starting and ending dates of simulation

Simulation days	Ending date		Starting date	
365 days	Georgian	Solar	Georgian	Solar
	2012.1.29	1390.11.09	2011.1.30	1389.11.10

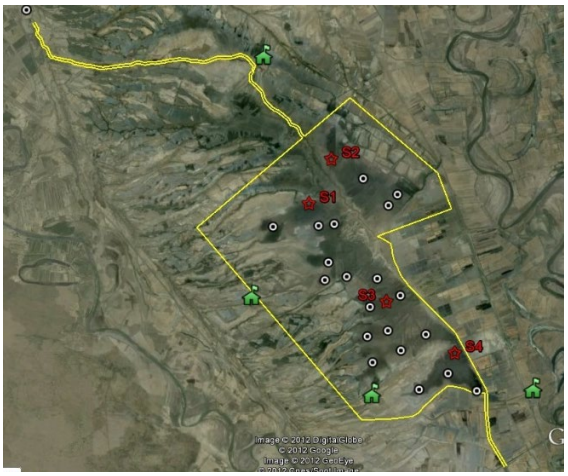

Fig. 3 Measured points as flow and pollution resources
شکل ۳ نقاط اندازه‌گیری به عنوان منابع دبی و آلاینده نقطه‌ای

ماژول کیفیت نیز نیاز است شرایط مرزی در مرزهای مدل اعمال شود. شرایط مرزی ماژول کیفیت در شبیه‌سازی حاضر به‌صورت جدول ۴ در نظر گرفته شد. ضریب دیسپرژن یکی از مهم‌ترین بخش‌های یک مدل در شبیه‌سازی انجام شده در مطالعه حاضر برای مشخص کردن هر منبع آلاینده نقطه‌ای نیاز به دو پارامتر دبی منبع آلاینده و مقادیر پارامترهای کیفی در آن می‌باشد. نحوه به دست آوردن دبی منابع آلاینده در قسمت‌های قبل توضیح داده شد. مقادیر پارامترهای کیفی در منابع آلاینده نقطه‌ای در نظر گرفته شده در پهنه تالاب (شکل ۲) نیز در کل طول زمان

جدول ۴ شرایط مرزی مدل کیفیت.

Table 4 Quality model boundary conditions

Boundary type in hydrodynamic model	Boundary type
Quality parameters variations in time	Open boundary in upstream inlet (Shavor dam)
Zero gradient boundary condition	Open boundary in upstream outlet (Shavor dam)
Earth boundary condition (zero vertical velocity)	Closed boundaries

شبیه‌سازی اندازه‌گیری شده است. شبیه‌سازی کیفیت است. این ارامتر در مواقعی که سرعت جریان کم است به‌طور چشم‌گیری روی پراکندگی آلودگی نقش دارد. ضریب دیسپرژن به مشخصات جریان (سرعت در جهت x و سرعت در جهت y) بستگی دارد. در نتیجه می‌توان آن را به‌صورت تابعی از مشخصات جریان در نظر گرفت. در این مطالعه ضریب دیسپرژن به‌صورت مقیاسی از لزجت گردابه‌ای جریان، برابر با ۱ در نظر گرفته شد.

۲-۸- اجرای مدل

پس از ساختن و اعمال ورودی‌های مدل و شرایط مرزی، نوبت به اجرای آن می‌رسد. پارامترهای مربوط به تعیین گام زمانی محاسبات مطابق با جدول ۵ در نظر گرفته شد. نکته‌ای که در اجرای این مدل‌ها وجود دارد زمان گرم شدن آن‌ها می‌باشد. زمان گرم شدن مدل عبارتست از زمانی که مدل با یک شرایط اولیه فرضی آنقدر اجرا می‌شود تا شرایط پایدار برای شرایط اولیه حاصل شود. بعد از آن، شرایط پایدار مذکور بعنوان شرط اولیه برای حالت غیرماندگار بکار می‌رود که در این تحقیق نیز این زمان، مورد توجه قرار گرفت.

جدول ۵ پارامترهای مربوط به تعیین گام زمانی محاسبات در ماژول هیدرودینامیک

Table 5 Time interval parameters for hydrodynamic module

Value	Parameter
0.8	Courant number
0.01 second	Minimum time interval
45 second	Maximum time interval
2.5 hr	Data saving time interval

۳- نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدت زمان اجرای MIKE 21 جهت شبیه‌سازی تالاب بامدژ برای ۱ سال (۳۶۵ روز)، حدود ۳۶ ساعت طول می‌کشد. نتایج نشان داد که مدل‌های هیدرودینامیک و کیفی تهیه شده قادر هستند که فرایندها و روندهای مربوطه را تا حد زیادی به صورت صحیح پیش‌بینی نمایند. بدین ترتیب می‌توانند به عنوان یک ابزار کارآمد و توانا با لحاظ تقریباً تمام فرایندهای حاکم بر سیستم در اختیار مدیر قرار گرفته تا علاوه بر داشتن دید بهتر از عملکرد سیستم در تصمیم‌گیری‌ها و سناریودهی‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ضریب مانینگ و پس از چندین بار اجرای ماژول هیدرودینامیک نرم‌افزار MIKE 21، مقادیر نهائی ضریب زبری مانینگ برابر با ۰/۰۴ برای بستر رودخانه و ۰/۰۶ برای سیلاب‌دشت‌های سمت راست و چپ به دست آمد. به دلیل محدودیت داده‌های در دسترس در مدل هیدرودینامیک فقط ضریب زبری و در مدل انتقال آلاینده فقط پارامتر ضریب پراکندگی (بعنوان مهم‌ترین پارامترها) واسنجی شدند. بدین صورت که با تغییر ضریب زبری بیشترین تطابق بین پهنه محاسباتی و مشاهداتی تالاب (بعنوان متغیر هدف) صورت گرفت.

خروجی‌های مدل شامل پارامترهای هیدرودینامیکی و کیفی یاد شده در طول یک سال زمان شبیه‌سازی با فواصل زمانی ۲/۵ ساعت است که در مجموع حجم فایل‌های مربوط به آن تقریباً حدود ۳ گیگابایت می‌باشد. واضح است که به دلیل زیاد بودن پارامترها و طولانی بودن مدت‌زمان شبیه‌سازی، امکان ارائه همه آن‌ها وجود ندارد. لازم به ذکر است که هر چه طول دوره مدل‌سازی بیشتر باشد و همچنین داده‌های برداشت شده نیز به تناسب آن بیشتر باشد، می‌توان به نتایج قابل تعمیم و دقیق‌تری دسترسی پیدا کرد. ولی در عین حال باید به محدودیت‌های مدل‌سازی دوبعدی و همچنین چالش‌های اجرای آن نیز توجه داشت. زمان‌های اجرا برای یک سال زمان در واقعیت حدود ۳۶ ساعت به طول انجامیده است و از آنجایی که طی یک سال فصول تر و خشک تجربه می‌شوند، می‌توان

متدولوژی قابل قبولی را احصاء نمود.

تحلیل و پهنه‌بندی متغیرها در نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. به همین دلیل نتایج مدل‌سازی فقط در چند زمان محدود و فقط برای بعضی از پارامترها ارائه می‌شود (شکل‌های ۴ تا ۱۱). مقدار عمق آب در تالاب بامدژ عمدتا کمتر از یک متر است هر چند که در برخی نقاط و بصورت موضعی به حدود ۲ متر و حتی تا ۲/۶ متر نیز می‌رسد. سرعت متوسط عمقی نیز بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ متر بر ثانیه در تالاب بامدژ تغییر می‌کند (شکل ۵).

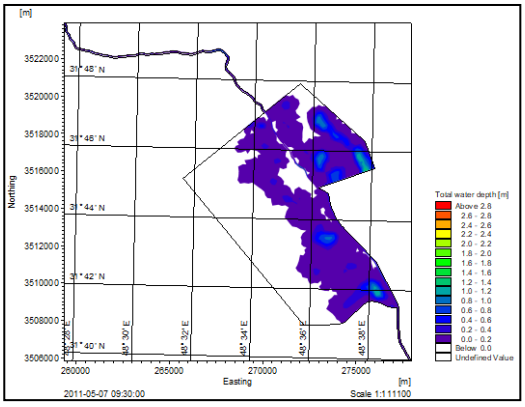

Fig. 4 Water depth variations in hydrodynamic model
شکل ۴ مقادیر عمق خروجی مدل هیدرودینامیک.

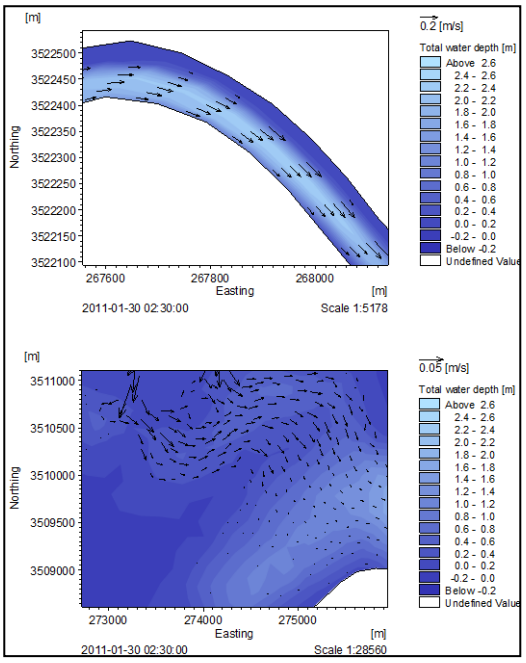

Fig. 5 Velocity vectors in two simulation regions
شکل ۵ بردارهای سرعت در دو منطقه از محدوده شبیه‌سازی

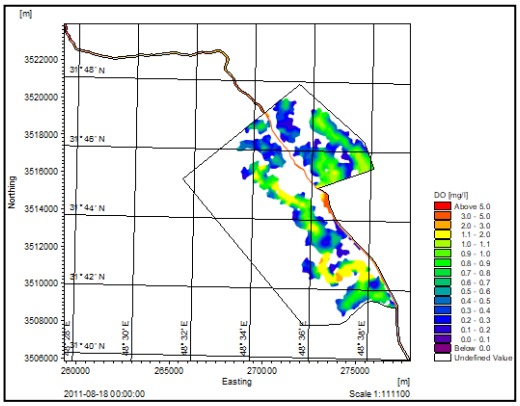

Fig. 6 Values of dissolved oxygen concentration
شکل ۶ مقادیر غلظت اکسیژن محلول

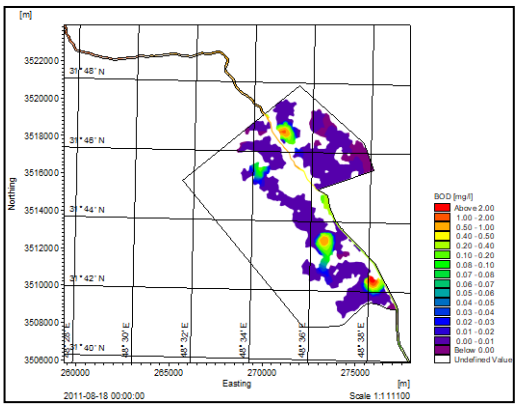

Fig. 7 Values of biochemical oxygen demand
شکل ۷ مقادیر غلظت اکسیژن خواهی بیوشیمیایی

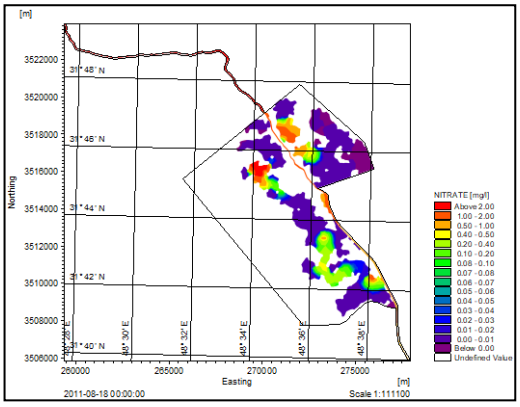

Fig. 8 Values of Nitrate concentration
شکل ۸ مقادیر غلظت نیترات

از مقایسه پراکنش پارامترهای کیفی آب در تالاب بامدژ (شکل‌های ۶ تا ۱۱) با تغییرات عمق در آن، مشاهده می‌شود که در نقاطی که عمق بیشتر است مقادیر پارامترهای کیفی نیز بیشتر می‌باشد که سازگار با نتایج

تحقیقات گذشته است. حد بالای غلظت اکسیژن محلول در تالاب تا ۵ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌رسد اما مقادیر حد بالای آن عمدتا در نزدیکی رودخانه و بویژه در بستر اصلی مشاهده شده است.

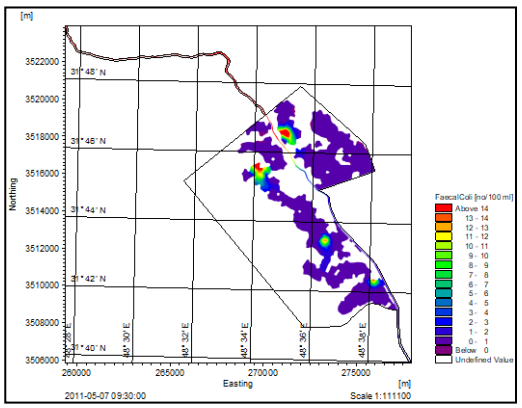

Fig. 9 Values of Fecal Coliform

شکل ۹ مقادیر فیکال کلیفرم

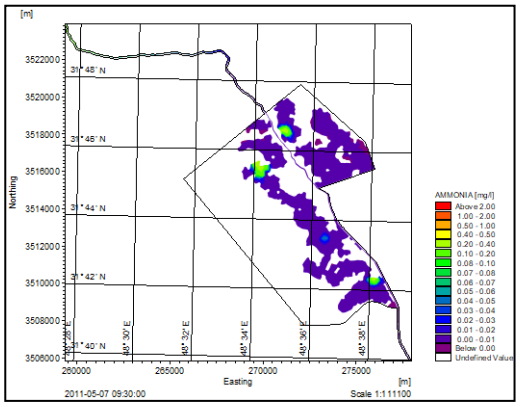

Fig. 10 Values of Ammonia concentration

شکل ۱۰ مقادیر غلظت آمونیاک

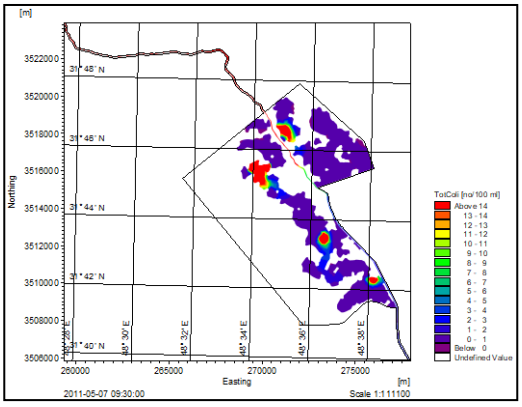

Fig. 11 Values of total Coliform

شکل ۱۱ مقادیر توتال کلیفرم

این بحث در مورد مقادیر غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی نیز صادق است. البته پراکنش مقادیر حدی در غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی نسبت به غلظت اکسیژن محلول کمتر است و در نقاطی که عمق بیشتر است این پراکنش دیده می‌شود. مقدار پارامتر کیفی اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی تا ۲ میلی‌گرم در لیتر نیز رسیده است. در بین پارامترهای کیفی و در مقایسه با سایر پارامترها، تغییرات غلظت آمونیاک کمتر بوده و مقادیر حد بالا فقط در چند محل به صورت نقطه‌ای قابل مشاهده است. در اکثر قسمت‌های تالاب، مقدار این پارامتر بین ۱ تا ۳ تغییر می‌کند. لازم به ذکر است، مدل دوبعدی جامع تهیه شده واسنجی شده است. به دلیل محدودیت‌های بسیار زیاد در تهیه و برداشت داده‌های کیفی، داده‌های لازم برای مقایسه نتایج در دوره‌های بعدی در دسترس نبود. باید به عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌های انتقال آلاینده توجه کافی داشت. به هرحال متدولوژی ارائه شده می‌تواند برای مواردی که داده‌های کافی واقعی در اختیار است، مورد استفاده قرار گیرد.

به طور کلی نتایج نشان داد که دقت شبیه‌سازی در حد یک درصد است که دقت بالایی می‌باشد و با توجه به خروجی‌های نرم‌افزار MIKE 21 (که بخشی از آنها در شکل‌های ۳-۱۰ ارائه شده است) می‌توان نتیجه گرفت که مدل هیدرودینامیک دو بعدی و غیرماندگار تهیه شده از دقت مناسبی برخوردار است و می‌تواند با دقت قابل قبولی پارامترهای جریان و همچنین پهنه تالاب را محاسبه نماید.

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مدل‌سازی دوبعدی هیدرودینامیک و کیفیت تالاب بامدژ از محل سد شاوور در بالادست تا محل تقاطع کانال توانا در پایین‌دست، به‌صورت متوسط عمقی و غیرماندگار به منظور ارائهٔ راهکارهای مدیریتی و بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفت. سرازیر شدن فاضلاب اهالی ۴۰ روستای واقع در حاشیهٔ این تالاب، کیفیت آن را تحت تاثیر قرار داده است. جهت مطالعه هیدرودینامیک و کیفیت تالاب از نرم‌افزار MIKE 21 استفاده شد. در شبیه‌سازی هیدرودینامیک پارامترهای عمق آب، سرعت در جهت x

و سرعت در جهت y و در شبیه‌سازی کیفیت نیز پارامترهای دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، نیترات، آمونیاک، فیکال کلیفرم و توتال کلیفرم برای مدت یک سال مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. جهت تهیه مدل مناسب، از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی استفاده شد.

ابتدا شبکه‌بندی مدل تالاب انجام شد و مرزهای باز بالا و پائین تالاب به مدل برای مدل‌سازی هیدرودینامیک معرفی شد. مرزهای مربوط به مدل‌سازی کیفی، تغییر هر یک از پارامترهای کیفی نسبت به زمان در بالادست به‌عنوان مرز ورودی و شرط گرادیان صفر برای مرز پائین‌دست معرفی شد. در ادامه ضریب زبری برای کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها به ترتیب برابر با ۰/۰۴ و ۰/۰۶ برآورد شد. مطابق با نتایج شبیه‌سازی، تغییرات سرعت متوسط عمقی در الاب بامدژ بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ متر بر ثانیه، حد بالای غلظت برای اکسیژن محلول در تالاب تا ۵ میلی‌گرم، برای اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی تا ۲ میلی‌گرم در لیتر و غلظت آمونیاک نیز بین ۱ تا ۳ به دست آمد. نتایج نشان داد مدل هیدرودینامیک دوبعدی و غیرماندگار تهیه‌شده نسبتاً از دقت مناسبی برخوردار است و می‌تواند با دقت قابل قبولی پارامترهای جریان و همچنین پهنه تالاب را محاسبه نماید و بری اهداف مدیریتی و بهره‌برداری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که متدولوژی حاضر با داده‌های بیشتر تدقیق شود و در صورت وجود داده‌های کیفی مناسب، ضرایب واکنش‌ها و جذب نیز واسنجی شده و عملکرد مدل برای دوره‌های متوالی مورد بررسی قرار گیرد.

۵- فهرست علائم

$\bar{C}$	غلظت متوسط عمقی
C_s	غلظت ترم منبع
D_x	ضریب دیسپرژن در جهت x
D_y	ضریب دیسپرژن در جهت y
f	پارامتر کوریولیس
g	شتاب ثقل
h	عمق آب
k_p	ضریب واکنش درجه اول
p_a	فشار اتمسفر
S	دبی منبع نقطه‌ای
T_{xx}	تانسور تنش برشی
T_{xy}	تانسور تنش برشی
T_{yx}	تانسور تنش برشی
T_{yy}	تانسور تنش برشی
t	زمان (s)
$\bar{u}$	سرعت متوسط عمقی در جهت طولی
$\bar{v}$	سرعت متوسط عمقی در جهت عرضی
x	جهت طولی
ρ_0	جرم مخصوص مرجع آب (kgm^{-3})
τ_{bx}	مولفه تنش برشی

۶- سپاسگزاری

در انتها از شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان که تأمین‌کنندهٔ مالی مطالعات تعیین حد بستر و حریم تالاب بامدژ بوده و مقالهٔ حاضر بخشی از اقدامات انجام‌شده در قالب این پروژه پس از تصویب است، قدردانی می‌شود. ضمناً از مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران که بستر این مطالعات را در اختیار محققین این مقاله قرارداده است، تشکر می‌شود..

منبع‌ها References

Barrett KR. 1996. Two-dimensional modeling of flow and transport in treatment wetlands: development and testing of a new method for wetland design and analysis. Northwestern University,

Barros M, da Silva T, da Cruz A, Rosman P. 2020. Numerical simulation of wetland hydrodynamics and water quality. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 42(8):1-15.

DHI DHI M (2012) Flow Model FM-Hydrodynamic Module. DHI,

Etemad Shahidi A, Afshar A, Alikia H, Moshfeghi H. 2009. Total dissolved solid modeling; Karkheh reservoir case example.

Guardo M, Tomasello RS. 1995. Hydrodynamic simulation of a constucted wetland in southH Florida. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 31(4):687-701.

Jafarzadeh Haghighi Far N, Banisaeed N. 2006. Application of HEC5Q software in predicting

Khayami M, Danesh S, Khodashenas S, Davari K. 2009. Simulation imulation of water quality in dam's basins (Case Study-Torogh dam basin).

Rahim BeE, Yusoff I, Jafri AM, Othman Z, Abdul Ghani A. 2012. Application of MIKE SHE modelling system to set up a detailed water balance computation. Water and Environment Journal, 26(4):490-503.

Taheri H, Hasani A, Ganjidoust H. 2014. Simulation of Water Level and Temperature in the Sepidrood Reservoir. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab, 25(2):129-134 [in persian]

water quality changes in dam reservoirs (Case study of Cheragh-Veis dam). Paper presented at the The first regional conference on exploitation of water resources in Karun and Zayandehrud basins (Opportunities and challenges). , [in Persian].

Ji Z-G, Jin K-R. 2020. Three-Dimensional Modeling of Hydrodynamic and Water-Quality Processes in a Wetland. Journal of Environmental Engineering, 146(11):04020126.

Juston JM, Kadlec RH. 2019. Data-driven modeling of phosphorus (P) dynamics in low-P stormwater wetlands. Environmental Modelling & Software, 118(226-240.