Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 2, Summer 2020

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Modeling of Flow Hydrodynamics and Biological Oxygen Demand Changes in the Wetlands (Case Study: The GoleNilofar Wetland, Babol, Iran)

Document Type
Research Paper

Received
January 28, 2020

Accepted
April 16, 2020

Parand Bamdadi, Ozeair Abessi*, Hasan Amini-Rad

Department of Environmental Engineering, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol , Iran

DOI: 10.22059/JES.2021.308980.1008065

Abstract

Due to particular ecological proprties and high resistance time, wetlands are able to refine surface waters by their natural purification potential, hence, they are often referred to as “Earth’s kidneys”. In the current study, to investigate the purification function of the wetlands an ecological model has developed using MIKE3 and the ECOLab madual of DHI for the Babol Golenilofar watland. The computer model of wetland has developed using the field data of meteorological records and the quantitative and qualitative data of inflow. In the end, a senario of the real case has been developed for the season of spring. Based on our modeling results for this season, the wetland could absorve the pollutants and clean it up partially, where the influx of BOD (5.5 mg/l) has droped to 4.7 and 3 mg/l in the outflows for pond 1 and 2 as a result of 18 to 24 days of resistance and the biochemical processes of the wetland. The prediction of the model found to be close enough to our field observations.

Keywords: Biological oxygen demand, Hydrodynamic of flow, Natural treatment, Wetland

* Corresponding author Email: oabessi@nit.ac.ir

Extended abstract

Introduction

Among surface water resources, wetlands have special importance in providing habitat for various plant and animal species due to their ecological roles. Wetlands are swampy areas, reservoirs, and natural and man-made ponds that have static or flowing water, fresh or saline, permanent or temporary. One of the most important but little known traits of wetlands is to improve surface water quality. These systems can provide effective treatment for a variety of contaminants in the water, hence they are known as "natural water purifiers". Removal of pollutants occurs by the effect of simultaneous operation of physical, chemical, and biological processes including deposition, filtration, chemical reduction, adsorption, biodegradation, photo-oxidation, consumption by animals and plants, etc. The mechanisms and interdependencies between the ecological components of the wetland are complex and many of them are not yet fully understood.

With the development of technology and the use of computers in engineering processes, the use of computer models to simulate ecological processes in natural ecosystems has become very common during the last years. Therefore, making an appropriate hydrodynamic model of the water body with the ability to simulate the affecting processes for the fate and transmission of the pollutant, has become a technical necessity.

So far, several field studies and computer simulations have been reported to evaluate the efficiency of the wetlands to improve water quality under the predicted load of pollution entering the wetlands. The experience of using mathematical models for the simulation of the wetlands has shown the high ability of these models for the simulation of the complex ecological processes. So, the computer models have seriously been considered as a modern tool for the management of wetlands and improving its purification efficiency.

Materials and Methods

In the current study, the experiences of Babol city in the province of Mazandaran for the planning of a city wetland i.e. GoleNilofar wetland, to the common space is reported. The hydraulic retention times in wetland different basins are about 20 to 60 days. The inflow to the wetland is not changing along the seasons and was measured about 0.153 m^3/s in spring, 0.157 m^3/s in summer, 0.273 in fall and 0.217 m^3/s in winter

In this study, the computer model of the GoleNilofar wetland is developed using Hydrodynamic and ECOLab modules of the MIKE3 software. The FM hydrodynamic model is a basic numerical model for the flow simulation in MIKE3 that can be used in all water bodies i.e. the wetlands, rivers, bays, coastal waters, and open oceans. This model can simulate the flow unsteady three-dimensional features in the conditions of density changes in the environment. The model can simulate the impacts of external forces including meteorological and tidal parameters. The EcoLab module of MIKE software was developed as a modeling tool to investigate the effects of natural aeration, sunlight photooxidation, and sedimentation together with the plants and bacterial uptakes on the fate of organic matter and purification capability of the different water bodies. In the simulations, only BOD (Biochemical Oxygen Demand) time variations and spatial changes in the wetland were investigated. The amount of oxygen needed by microorganisms for the oxidation of degradable materials within 5 days is called BOD_5 i.e. 5-day biological oxygen demand. Biological oxygen demand is one of the most important indicators of water pollution. Water contamination is caused by external material in a suspended or dissolved form that changes the physical, chemical, and biological properties of water.

Discussion of results

The BOD of the inflow was measured by sampling the incoming current in different seasons along 1398 (2019-2020). The BOD together with the discharge flow rate, temperature, and density of the water are modeling inputs that are required for the simulation. Here in this paper, the results of the

wetland ecological simulations have been reported for the season of the spring. This season is selected as it is the beginning of a growing season in the wetland. To better investigate the distribution of pollutants and the changes in the flow properties, the water body of the wetland is assumed to be stationary and the concentration of BOD is considered equal to zero at the beginning of the simulation. So, the inflow to the wetland (to the pond 1) was measured 0.153 m^3/s and the BOD of incoming water was measured 5.5 mg/l, both of which did not change significantly during the spring. The time interval of 3 hours and the number of steps of 735, equivalent to one whole season is introduced to the model. Finally, the simulation results at the end of spring were compared with the observed values from the field sampling at the beginning of summer.

As a result of hydrodynamic modeling when the wind speed is at its maximum during the season, i.e. 9 m/s, the flow velocity in the wetland is also at its maximum. For wind speeds of 9 m/s, the velocity of the surface flow was above 0.37 m/s, which due to the closed boundaries of the environment, lead to deep current and material conduction to water depth. Ecological modeling exhibited that due to the chemical and biological processes, as well as the long retention time of the pollution in the wetland, distancing from the entrance, the BOD decreases clearly. According to the discharge flow rate and volume of each pond, the retention time in the first pond is about 18 days, in the second pond 24 days, and the third pond 73 days. The results also showed that the amount of BOD entering the wetland (5.5 mg/l) at the end of spring and early summer reaches 4.7 mg/l at output 1 and about 3 mg/l at output 2. The field measurements of BOD at the beginning of summer in both outlets showed the values of 4 and 3.4 mg/l, respectively. Comparison of the modeling results with our field observation at the end of this season exhibited that the model can predict the BOD concentration with 80% accuracy without adjusting the coefficients and only using the values reported for similar conditions in previous studies.

Conclusions

In this work, an ecological model has developed using the ECOLab module of MIKE3 for the Gole-Niloufar wetland which is an urban wetland in the city of Babol, north of Iran. The cpability of the wetland to improve the quality of incoming water has been discussed. This waterbody is a valuable natural resource in the region in terms of entertainment and recreation and has been used to supply water to rice farms downstream. In the developed model, the wetland is simulated during the spring for 93 days with 735 of 3-hour time steps in which the actual data of the inflow and BOD have been utilized. The BOD parameter was selected as an indicator of contamination to the organic matters and the process of transfer, diffusion, and decomposition were investigated by hydrodynamics modeling of the flow and the simulation of the BOD degradation in the wetland. The calculated values were compared with the field measurements at the end of the season and the accuracy of the model was investigated. A comparative study of the results with the field data exhibited that the model can predict the degradation of BOD concentration in the ponds. The results of this study showed that due to the high retention time, low flow rate, and the natural rehabilitation and purification, this wetland can reduce pollution to a desirable level. It has also been observed that the water quality of the wetland depends on the physical, chemical, and biological processes of wetland beside the properties of the incoming water. So, improving the wetland performances from this perspective can ensure the safe use of water downstream.

محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحهٔ ۳۹۱-۴۱۲

مدل‌سازی هیدرودینامیک جریان و تغییرات اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) در تالاب– مطالعهٔ موردی تالاب گل نیلوفر بابل

پرند بامدادی، عزیز عابسی*، حسن امینی‌راد

گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۸

چکیده

تالاب‌ها به دلیل مشخصات اکولوژیکی خاص خود و زمان ماند بالای آب، می‌توانند تا حد زیادی به تصفیه طبیعی و کاهش آلودگی آب‌های سطحی کمک کنند، از این رو تالاب‌ها را کلیه‌های زمین می‌دانند. در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر تالاب در تصفیهٔ طبیعی آلودگی‌های ورودی نسبت به مدل‌سازی اکولوژیکی یکی از بزرگ‌ترین تالاب‌های شهری کشور، تالاب گل نیلوفر بابل، توسط مدل سه‌بعدی MIKE3 و ماژول آزمایشگاه اکولوژیک (ECOlab) اقدام شده است. برای این منظور با استفاده از داده‌های برداشت میدانی، اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و مشخصات کمی و کیفی جریان ورودی، مدل کامپیوتری تالاب ساخته و سناریوهای جریان در شرایطی واقعی بررسی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل‌سازی تالاب در فصل بهار، مشاهده شد تالاب در طول این مدت تا حد خوبی به تصفیه آب ورودی کمک کرده و توانسته است تا میزان مشخصی از شدت آلودگی آن بکاهد به‌نحوی‌که BOD ورودی به تالاب (۵/۵ mg/l) با توجه به زمان ماند ۱۸ تا ۲۴ روزه در حوضچه‌های اول و دوم تالاب در نهایت در انتهای فصل، در خروجی‌ها به میزان ۴/۷ و ۳ mg/l دست یافت که به طور مطلوبی نزدیک به‌اندازه‌گیری‌های میدانی است.

کلیدواژه ها: تالاب، تصفیه طبیعی، غلظت اکسیژن بیولوژیکی، هیدرودینامیک جریان.

سرآغاز

طی دهه‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، اجتماعی و صنعتی، نیاز بشر به آب به‌عنوان یکی از عوامل شکل‌گیری و بقای جوامع شهری به شدت افزایش یافته است. به موازات این رشد رقابت بین بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب نیز شدت یافته است (عابسی و همکاران، ۱۳۹۰). از این‌رو حفظ، صیانت و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، امروزه به مسئله‌ای جهانی و چالش فراگیر بشری تبدیل شده است (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به نقش کلیدی آب در بحث توسعهٔ پایدار، تأکید جامعه جهانی همواره بر حفظ کمیت و کیفیت منابع سرشار آب استوار بوده است. در سال‌های اخیر علاوه بر افزایش مصرف سرانه آب، کیفیت آب‌های سطحی نیز به شدت تنزیل پیدا کرده است. آب‌های سطحی اعم از رودخانه‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، مخازن سطحی و تالاب‌ها بیشتر از همه در معرض آلودگی‌های

* نویسنده مسئول: Email: oabessi@nit.ac.ir

DOI: 10.22059/JES.2021.308980.1008065
Dor: 20.1001.1.10258620.1399.46.2.9.0

ناشی از فعالیت‌های بشر بوده‌اند. این آلودگی‌ها شامل ورود پاتوژن‌ها، مواد مغذی، فلزات سنگین و زه آب اسیدی فعالیت‌های معدنی، مواد سمی، آفت‌کش‌ها، هیدروکربن‌ها، کدورت و حتی افزایش مواد مغذی به آب است (سعادت‌پور، ۱۳۹۱). در بین منابع آب سطحی داخل خشکی‌ها، تالاب‌ها به دلیل نقش اکولوژیکی خود در حوضه‌های آبریز، اهمیت ویژه‌ای در تأمین زیستگاه گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری دارند (احمدی، ۱۳۹۵). سکونت تاریخی انسان در نزدیکی تالاب‌ها و رشد جمعیت آثار سویی بر اکوسیستم‌های تالابی داشته و علاوه بر تخریب و خشکانیدن این مناطق با ارزش، باعث ورود انواع فاضلاب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی به این زیست بوم‌های بسیار حساس شده است. امروزه در جوامع مختلف به دلیل منافع بی‌شمار تالاب، بالأخص تالاب‌های شهری، به طور روز افزونی به احیا و نگهداری از آن‌ها توجه می‌شود. با توجه به نقش مهم تالاب‌ها و عدم برگشت‌پذیری خسارات وارده، ارزش‌گذاری این موهبت طبیعی در سیاست‌گذاری‌های توسعه شهری کاری بسیار دشوار بوده و این موضوع توجه ویژه به نقش تالاب‌ها در بهبود شرایط محیط‌زیستی منطقه را طلب می‌کند (منتظرحجت و منصوری، ۱۳۹۵).

تالاب‌ها، مناطقی مردابی، آبگیر و برکه‌های طبیعی و مصنوعی هستند که دارای آب ساکن یا جاری، شیرین، لب‌شور یا شور دائمی یا موقت هستند. یکی از مهم‌ترین ولی کم شناخته‌شده‌ترین وظایف تالاب‌ها، بهبود کیفیت آب‌های سطحی است. این سیستم‌ها می‌توانند تصفیه مؤثری برای انواع آلودگی‌های در آب ارائه دهند از این‌رو «تصفیه‌کننده‌های طبیعی آب» شناخته می‌شوند. ظرفیت بالای تالاب‌ها برای کاهش مؤثر یا حذف آلاینده‌ها از جمله مواد آلی معلق، مواد جامد، مواد مغذی، پاتوژن‌ها، فلزات و سایر میکروآلودگی‌ها از منابع نقطه‌ای (فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی) و غیرنقطه‌ای (مثل زه آب‌های معدنی، کشاورزی و شهری) سالیان درازی است که مورد توجه محققان قرار دارد. حذف آلاینده‌ها با اثر عملکرد توأمان فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اعم از رسوب‌گذاری، فیلتراسیون، کاهش شیمیایی، جذب سطحی، تجزیه زیستی، فتواکسیداسیون، مصرف توسط جانوران و گیاهان و ... اتفاق می‌افتد. وابستگی‌های متقابل میان مؤلفه‌های اکولوژیکی تالاب (آب، بستر، جانداران و زیستگاه) پیچیده بوده و بسیاری از آن هنوز کاملاً درک نشده‌اند. هیدرولوژی تالاب‌ها و روابط بین خاک و زیست‌بوم (گیاهان و میکروارگانیسم‌های ساکن) معمولاً اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب در تالاب‌ها شناخته می‌شوند (National Research council, 1995). کارکرد توأمان این عوامل به مهار گسترده انواع آلودگی‌های در تالاب منجر شده و تصفیه طبیعی آن‌ها را به دنبال خواهد داشت.

در اکوسیستم پویای تالاب، ترکیبات آلی در مجاورت سطح توسط اکسیژن هوا تجزیه شده، براثر نور خورشید فتواکسیده شده یا در بستر محیط رسوب می‌کنند. به دلیل فرایند دی نیتریفیکاسیون، نیترات در حضور باکتری‌های بی‌هوازی تثبیت شده و به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود. همچنین فسفر موجود می‌تواند با ته‌نشینی مواد در بستر یا جذب توسط گیاهان کاهش یابد. اگرچه تالاب‌ها میزان بسیار زیادی از کربن را به طور خاص در خاک خود و در گیاهان ساکن ذخیره می‌کنند، اما می‌توانند موجب انتشار سالیانه بیش از ۱۰درصد گاز گلخانه‌ای متان شده و تحت شرایط خاص، منبعی برای تولید دی‌اکسید کربن باشند. اینکه زمین‌های تالابی منبع ایجاد گازهای گلخانه‌ای باشند یا راهکاری برای کاهش آن‌ها به وضعیت فیزیکی خاک، فرایندهای میکروبی و نوع گیاهان موجود در تالاب بستگی دارد (Zedler and Kercher, 2005).

تعیین عملکرد اکولوژیکی تالاب و میزان اثربخشی آن در بهبود کیفیت آب می‌تواند به روش‌های مختلف انجام گیرد. تاکنون مطالعات آزمایشگاهی و میدانی زیادی در این زمینه گزارش شده است (Zedler and Kercher, 2005;

(Panda et al., 2015). با توسعه فناوری و استفاده از کامپیوتر در فرایندهای مهندسی، امروزه استفاده از مدل‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی فرایندهای اکولوژیکی در زیست بوم‌های طبیعی، متداول گشته است (Sato et al., 2007). مدل‌های کامپیوتری، با شبیه‌سازی ریاضی فرایندهای درگیر امکان پیش‌بینی فرایندهای طبیعی و همچنین بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محیط را فراهم می‌سازند. امروزه از مدل‌های کامپیوتری در سطح گسترده‌ای برای سنجش اثر آلاینده‌های تخلیه شده به پیکره‌های آبی در سناریوهای مختلف آب و هوایی و هیدرولوژیکی و ... استفاده می‌شود. به این ترتیب مدل‌های شبیه ساز، قادر به ارزیابی پاسخ پیکره‌های آبی به تغییرات اعمال شده بوده و می‌توانند میزان اثربخشی تصمیمات اخذ شده را به دقت مطلوبی پیش‌بینی نمایند. استفاده از مدل‌های کامپیوتری البته می‌بایست توأم با برنامه‌های پایش آلودگی و شناخت تغییرات هیدرولوژی و هیدرودینامیک پیکره‌های آبی باشد. ازاین‌رو توسعه یک مدل شبیه‌ساز متناسب با خصوصیات هیدرودینامیکی پیکره آبی که توانایی شبیه‌سازی فرایندهای مؤثر بر سرنوشت و انتقال و انتشار آلودگی در محیط را داشته باشد ضروری است (Chapra, 1997).

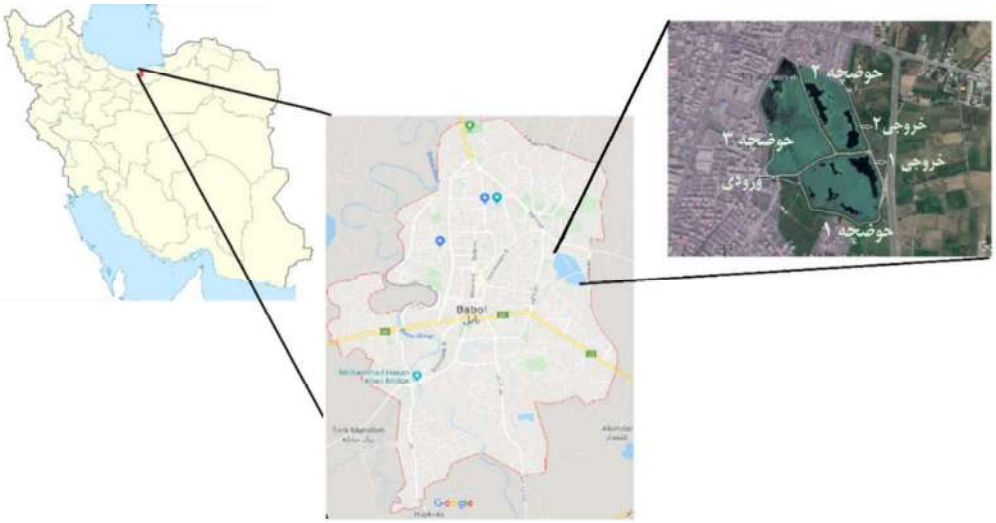
در سال‌های اخیر پژوهش‌های میدانی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری بسیاری برای پیش‌بینی و کنترل میزان آلودگی‌های ورودی به تالاب‌ها و ارزیابی کارایی آن‌ها در بهبود کیفیت آب‌های سطحی، گزارش شده است. با توجه به پیچیدگی‌های حاکم، مدل‌های کامپیوتری ابزاری مفید برای ایده‌پردازی در شرایط مختلف بارگذاری و محیط ایجاد می‌کنند. در این زمینه بوستانی و همکاران (۲۰۰۳) اقدام به مدل‌سازی رفتار دوبعدی توزیع شوری در تالاب انزلی را با استفاده از مدل عددی MIKE21 کردند. در فرایند مدل‌سازی، عوامل مختلفی نظیر تغییرات تراز آب دریای خزر، ورودی رودخانه‌ها و باد در نظر گرفته شده است. وایت و همکاران (۲۰۰۵) از مدلی مبتنی بر GIS برای پیش‌بینی پایداری تالاب استفاده کردند. این مدل ابزاری مفید برای تعیین توانمندی‌های خودترمیمی تالاب به روش سه بعدی در اختیار قرار داده است. طاهر شمسی و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی وضعیت هیدرودینامیک و غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در تالاب انزلی پرداختند. در این پژوهش به‌منظور بررسی کیفیت آب در تالاب انزلی، از مدل عددی دوبعدی MIKE21 استفاده شده است. در این مطالعه هیدرودینامیک جریان شبیه‌سازی شده و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) به‌عنوان شاخص آلودگی‌های آلی در تالاب انزلی، بررسی شده است. سبک‌روحیه و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر هیدرولیک تالاب (شکل تالاب و چگالی گیاهان) بر تصفیهٔ طبیعی فاضلاب را با استفاده از مدل عددی متوسط دو بعدی مطالعه کردند. کرباسی و همکاران (۲۰۱۷) با بهره‌گیری از ماژول هیدرودینامیک FM و آزمایشگاه اکولوژیک ECO Lab نرم‌افزار MIKE 3، پراکندگی و انتقال سلول‌های جلبکی مضر در محیط‌های آبی را مطالعه کردند. ایشان با شبیه‌سازی هیدرودینامیک و کیفیت آب، توزیع کلروفیل a در سواحل جنوب شرقی ایران را بررسی کردند. همچنین با توسعهٔ مدلی عددی به بررسی و مطالعهٔ نقش و عملکرد تالاب‌های مصنوعی زیرسطحی در ارتقای کیفیت آب ورودی پرداختند (Yuan et al., 2020). در همین سال هیدرولیک داخلی و اثر باد در جریان سطحی یک تالاب دست ساز مطالعه شد که از زه آب‌های کشاورزی تغذیه می‌شود (Pugliese et al., 2020). نتایج بررسی‌های ایشان نشان می‌دهد که در مناطق کم عمق، وزش باد در جهت مخالف با جریان، باعث اختلاط بیشتر و چرخش بهتر آب در تالاب می‌شود. در این مطالعات با تأکید بر نقش اکوسیستمی تالاب در محیط‌های طبیعی و انسان ساخت، توانایی آن‌ها در ارتقای کیفیت آب‌های سطحی مورد تأکید قرار گرفته است. در مطالعات آزمایشگاهی و میدانی انجام شده، تأثیر شکل و هیدرودینامیک تالاب در انتقال و پخش آلاینده‌ها به طور مبسوط مطالعه شده است. در سال‌های اخیر استفاده از روابط ریاضی برای شبیه‌سازی هیدرودینامیک و رفتار اکولوژیکی تالاب از طریق مدل‌سازی کامپیوتری

فرایندهای درگیر، مورد توجه قرار گرفته است. تجربیات محدود موجود، توانایی بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده را به خوبی نشان داده و امکان استفاده از آن‌ها به‌عنوان ابزاری مدرن برای مدیریت و ارتقای عملکرد تالاب‌ها را مورد تأکید قرار داده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب گل نیلوفر در استان مازندران در منطقهٔ حیدرکلا واقع در کمربندی شرقی شهر بابل واقع شده است. این تالاب در حریم قانونی شهر قرار داشته و قسمتی از ناحیهٔ اطراف آن مسکونی و سایر نواحی دربرگیرنده زمین‌های کشاورزی و بایر است. مساحت کل تالاب در حدود ۳۵ هکتار بوده که دارای مالکیت مشاع است و کشاورزان روستاهای حیدرکلا، حاجی کلا و حمزه کلا در پایین دست از حقابه آن برای کشت برنج استفاده می‌کنند. عمق تالاب بین ۲–۵ متر بوده و در وضعیت فعلی از سال ۱۳۵۲ به همت روستاییان منطقه حیدرکلا، با روش آبگیری ثقلی از رودخانه بابلرود از طریق نهر دست ساز آقارود، احداث شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. تالاب دارای پوشش گیاهی متنوع اعم از ملج و گالی و لاله مردابی، نی و علف هفت بند، عدسک آبی، لویی و قمیش و انواع پرندگان بومی و مهاجر و ماهیان و جانوران آبزی اعم از تیلخص و اردک ماهی و کپور زرد و کپور علف‌خوار و لاکپشت خزری در پیرامون و داخل خود است. نخست تالاب تنها توسط کشاورزان و برای آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف و پرورش ماهی استفاده می‌شد. اما از سال ۱۳۹۶ با مسئولیت مدیریت فرهنگی و بعد سازمان سیما و منظر شهرداری بابل به‌عنوان یک تفریحگاه شهری اختصاص یافته و بازپیرایی شده است (بامدادی و همکاران، ۱۳۹۹). شکل ۱ موقعیت شهر بابل و تالاب گل نیلوفر در این شهر را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت تالاب گل نیلوفر روی نقشهٔ شهرستان بابل (بامدادی و همکاران، ۱۳۹۹)

این تالاب از نظر فیزیکی از ۳ حوضچه تشکیل شده است که از زیر به هم متصل هستند. سطح تالاب در فصل رشد از گل لاله مردابی (لوتوس[1]) پوشیده شده است و در کناره حوضچه‌ها گیاهان نی روییده که به طور متناوب اصلاح می‌شوند. به دلیل وسعت بالا و موقعیت اکولوژیکی تالاب و تا حدودی دست نخورده ماندن آن، پرندگان زیادی در این محدوده زندگی می‌کنند. تالاب دارای ۱ ورودی برای ورود آب نهر آقارود به داخل آن و دارای ۸ لوله خروجی است که در فصل کشت تعدادی از این خروجی‌ها برای ورود آب به زمین‌های کشاورزی حاشیه باز می‌شوند. قطر خروجی‌ها و لوله‌های اتصال دهنده حوضچه‌ها به هم ۵۰ سانتیمتر است. در محل ورود جریان به تالاب میزان دبی

جریان توسط سرریز و دریچه کنترل می‌شود. با کنترل جریان، دبی آب ورودی در فصول مختلف –غیر از شرایط خاص سیلابی یا قطع جریان از بالادست– خیلی متغیر نبوده و مقدار آن در فصل بهار ۰/۱۵۳ مترمکعب بر ثانیه، در تابستان ۰/۱۵۷، در پاییز ۰/۲۷۳، در فصل زمستان ۰/۲۱۷ مترمکعب بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. میزان تقریباً مشابهی با دبی ورودی طی فصل بهار برای آبیاری زمین‌های کشاورزی حاشیه از تالاب تخلیه می‌شود و سطح آب در طول این فصل براساس مشاهدات انجام شده تقریباً ثابت است. در کنار نقش اکوسیستمی تالاب در بهبود شرایط زیست‌مندان حاشیه، این تالاب همواره نقش مهمی در تصفیه و بهبود کیفیت آب ورودی از رودخانه آقارود داشته است. این رودخانه که متأسفانه در سال‌های اخیر به زهکش اصلی فاضلاب خانگی محلات طول مسیر خود تبدیل شده است، به طور پیوسته حجم بالایی از انواع فاضلاب‌های خانگی (آب خاکستری و سیاه) را به داخل تالاب هدایت می‌کند. از سال ۱۳۹۶ با تبدیل این تالاب به یک منطقه تفریحی و گردشگری، تأسیسات و آلاچیق‌هایی در حاشیه آن برای استفاده عموم احداث شده است. در حوضچه۱، پدالوهایی قرار داده شده است تا مردم با قایق سواری در داخل تالاب از زیبایی‌های آن بهره ببرند. مسیرهایی برای پیاده‌روی در حاشیه آب تعبیه شد و مردم بسیاری بالأخص در فصل گلدهی لاله‌های مردابی هر روزه از این منطقه بازدید می‌کنند. شهرداری سعی کرده با ساخت حداقل تأسیسات برای حفظ محیط طبیعی تالاب از آن برای زیباسازی شهر و توسعهٔ یک منطقه تفریحی و گردشگری شهری استفاده کند (بامدادی و همکاران، ۱۳۹۹).

در برنامه اولیه توسعه منطقه، قبل از ورود آب رودخانه به داخل تالاب، حوضچهٔ آرامشی تعبیه شده است تا مواد معلق سنگین، ته‌نشینی و زباله‌های شناور، فیلتر شده و وارد تالاب نشوند. همان‌طور که اشاره شد، تالاب‌ها با توجه به فرایندهای پیچیده فیزیکی، بیوشیمیایی و بیولوژیکی که در آن‌ها رخ می‌دهد، می‌توانند به‌عنوان تصفیه‌خانهٔ طبیعی برای آلاینده‌های ورودی عمل کنند. تالاب گل نیلوفر نیز در ظاهر توانایی بالایی برای تصفیه و کاهش آلایندگی جریان ورودی از رودخانهٔ آقارود از خود نشان داده است. به دلیل زمان ماند بالای تالاب (حدود ۲۰–۶۰ روز)، فاضلاب ورودی بالأخص در فصول گرم و فعال تالاب تا حدی تصفیه می‌شود به نحوی‌که که آب کدر و خاکستری ورودی در هنگام خروج از تالاب شفاف شده و کشاورزان برنج کار پایین دست از آن استفاده می‌کنند. به این ترتیب نه تنها از این تالاب برای گردشگری بلکه به طور طبیعی برای بهبود کیفیت آب‌های سطحی و تصفیهٔ طبیعی فاضلاب‌های خانگی ورودی نیز استفاده می‌شود. به دلیل وجود گل‌های لاله مردابی که تقریباً سطح یکی از حوضچه‌ها را به‌طور کامل پوشانده‌اند و نیز وجود نیزارها در کناره‌ها، کربن به میزان بالایی در این تالاب تثبیت شده و علاوه بر آن گیاهان شناور بزرگ و کوچک تالاب با رشد و جذب نیترات و فسفات ورودی به‌عنوان مواد غذایی، میزان بالایی از بار آلی ورودی را به خود جذب می‌کنند. بررسی و مدل‌سازی همه این پارامترها عملاً غیرممکن بوده و در این تحقیق تنها به بررسی هیدرودینامیک جریان در تالاب و نحوهٔ تغییرات میزان اکسیژن خواهی بیوشیمیایی آب ناشی از شرایط اکولوژیکی، هواشناسی و هیدرولوژیکی تالاب در طول فصل بهار پرداخته شده است.

تئوری تحقیق

مدل هیدرودینامیک FM در نرم‌افزار MIKE3 مدل عددی پایه برای شبیه‌سازی جریان در تالاب‌ها، رودخانه‌ها، خلیج‌ها و مناطق ساحلی و اقیانوس‌ها است. این مدل قادر به شبیه‌سازی جریان‌های سه بعدی ناپایدار در شرایط تغییرات چگالی در محیط و وجود نیروهای خارجی اعم از پارامترهای هواشناسی و جزر و مد در شرایط هیدروگرافی متفاوت است (DHI, 2014). مدل‌سازی ریاضی در مدل MIKE 3 مبتنی بر حل روابط ناویر–استوکس در سه بعد شامل رابطه بقای جرم و مومنتم به روش میانگین رینولدز با

در نظرگرفتن تأثیر آشفتگی و چگالی متغیر، همراه با حل روابط انتقال شوری و درجه حرارت است. این روابط را می‌توان به صورت کلی زیر بیان کرد:

$$\frac{1}{\rho {C_S}^2}\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{\partial u_j}{\partial x_j}=\mathrm{SS} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}+\frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j}+(\quad (۲)$$

$$2\Omega_{ij}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i}+g_i+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(v_T\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i}+\frac{\partial u_j}{\partial x_j}\right)-\frac{2}{3}\delta_{ij}\right)+ u_i SS$$

$$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}(Su_j)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(D_s\frac{\partial S}{\partial x_j}\right)+SS \quad (۳)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}(Tu_j)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(D_T\frac{\partial T}{\partial x_j}\right)+SS \quad (٤)$$

که ρ در آن چگالی سیال؛ C_s سرعت صدا در آب دریاست. u_i سرعت در راستای x؛ Ω_{ij} تانسورکریولیس؛ P فشار سیال؛ g_i بردار گرانش؛ v_T لزجت گردابه‌ای جریان آشفته[۲]؛ δ دلتای کرونکر[۳]؛ k انرژی جنبشی اغتشاش؛ S و T شوری و دما؛ D_S و D_T ضرایب انتشار و t زمان اختصاص داده شده هستند. SS به ترم‌های ورودی- خروجی مرتبط اشاره دارد، بنابراین از رابطه‌ای به رابطهٔ دیگر متفاوت است (DHI, 2014).

تنش بستر، $\overline{\tau}_b$، از قانون درجه دوم اصطکاک به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{\overline{\tau}_b}{\rho_0}=c_f\overline{u}_b|\overline{u}_b| \quad (۵)$$

که c_f ضریب دراگ، $\overline{u}_b$ سرعت جریان بالای بستر و ρ_0 چگالی آب است. در محاسبهٔ سه‌بعدی، $\overline{u}_b$ سرعت در فاصلهٔ Δz_b بالای بستر و ضریب دراگ با فرض پروفایل لگاریتمی بین بستر و نقطه‌ای در مسافت Δz_b بالای بستر به دست آمده است (DHI, 2014).

$$c_f=\frac{1}{(\frac{1}{k}\ln(\frac{\Delta z_b}{z_0}))^2} \quad (٦)$$

که $k=$ ۰/٤ ثابت فون کارمن[٤] و z_0 مقیاس طول زیری بستر است که در حدود یک سی‌ام (۰/۰۳۳) در نظرگرفته شده است. معمولاً ارتفاع زبری در محدوده ۰/۰۱ – ۰/۳ قرار دارد و طبق تعریف مقدار کم‌تر ارتفاع زبری با مقدار کم‌تر اصطکاک مرتبط است و بالعکس (DHI, 2014).

در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی اکولوژیکی تالاب و بررسی تأثیر عوامل اقلیمی اعم از دما، باد، هوادهی طبیعی و تبخیر، نور خورشید و فرایندهای طبیعی اعم ترسیب و زوال مواد آلی و در نهایت تأثیر جذب باکتری‌ها و گیاهان در کاهش بار آلودگی تالاب از توانایی‌های ماژول ECOLab[۵] در نرم‌افزار Mike استفاده شده است. ماژول آزمایشگاه اکولوژیک فضایی باز برای وارد کردن دستی روابط سینتیک واکنش‌ها فراهم ساخته و در عملکرد همزمان با مدل هیدرودینامک FM قادر به شبیه‌سازی فرایندهای انتقال، پخش و اضمحلال انواع آلاینده‌ها در محیط است. فرایندها، نرخی که یک متغیر در محیط تغییر می‌کند را بیان می‌کنند (DHI, 2014). این تغییر را می‌توان به صورت رابطهٔ (۷) بیان کرد:

$$P_c=\frac{dc}{dt}=\sum_{i=1}^{n} process_i \quad (۷)$$

در این رابطه، c غلظت متغیر حالت در ماژول اکولب و n تعداد فرایندهای درگیر برای یک متغیر حالت خاص است. در مقالهٔ حاضر تنها فرایندهای مرتبط با اضمحلال طبیعی مواد آلی یا به طور خاص اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD[۱]) بررسی شده است، ضرایب فرایندها در زمان ثابت در نظر گرفته شده، درحالی‌که نیروها با زمان تغییر خواهند کرد (DHI, 2014).

مقدار اکسیژن مصرفی میکروارگانیسم‌ها برای اکسیداسیون مواد قابل تجزیه طی ۵ روز را BOD_5 یا همان اکسیژن خواهی بیولوژیکی ۵ روزه می‌گویند. اکسیژن خواهی بیولوژیکی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش آلودگی آب است. آلودگی آب ناشی از مواد خارجی است که وارد آن شده و به صورت معلق یا محلول باعث تغییر مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب می‌شود. بدیهی است هرچه مقدار این مواد در آب بیشتر باشد، بار آلودگی آن نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین اندازه‌گیری مقدار مواد خارجی در آب از طریق شاخص BOD، کلید اصلی در تعیین مقدار آلودگی آب و همچنین کاهش آن را می‌توان شاخصی بر توانایی تالاب در تصفیهٔ طبیعی آلودگی‌ها دانست (American Public Health Association, 2005 ,Federation, Water Environmental, and).

اکسیژن خواهی بیولوژیکی در حالت کلی به سه بخش محلول، معلق و ته‌نشین شده تفکیک می‌شود که هرکدام به‌طور جداگانه محاسبه می‌شوند. لذا رابطهٔ تغییرات BOD در زمان را با یک یا تعداد بیشتری رابطه می‌توان تعریف کرد. در این پژوهش به دلیل دشواری اندازه‌گیری هر بخش به طور جداگانه، در فرمول‌بندی مدل از BOD کل و تجمیع سه BOD در یک رابطه استفاده شده است (DHI, 2014). به این ترتیب با تجمیع سه بخش BOD در یک رابطه، رابطه نرخ تغییرات BOD را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{dBOD}{dt} = -BOD_{decay} \quad (۸)$$

که BOD_{decay} خود با کمک رابطهٔ (۹) تعریف می‌شود:

$$BOD_{\text{decay}} = K_3.BOD.\theta_3^{(T-20)}.\frac{DO}{DO+HS_BOD} \quad (۹)$$

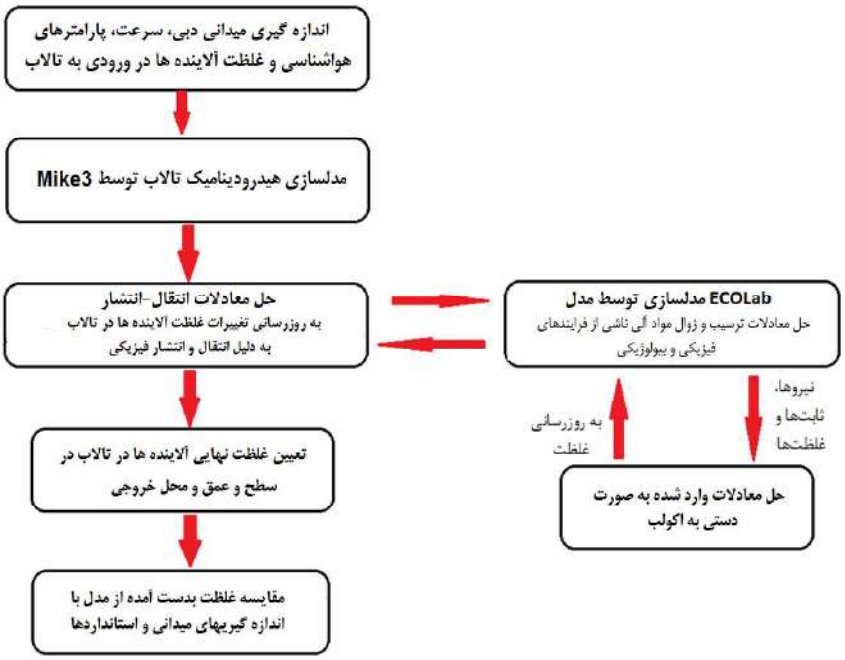
BOD غلظت واقعی اکسیژن خواهی بیولوژیکی بر حسب $\text{mg } O_2/\text{l}$، K_3 ضریب کاهش مواد آلی در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد $(1/\text{day})$، θ_3 ضریب دمایی آرنیوس، DO غلظت واقعی اکسیژن بر حسب $\text{mg } O_2/\text{l}$ و HS_BOD غلظت نیمه اشباع اکسیژن برای BOD $(\text{mg } O_2/\text{l})$ است (DHI, 2014). به طور کلی نرخ زوال BOD با افزایش دسترسی به اکسیژن افزایش می‌یابد اما به دلیل وجود فاکتور اشباع اکسیژن، این افزایش تا مقدار مشخصی از غلظت اکسیژن محلول قابل افزایش است، چراکه اکسیژن در آب تا مقدار مشخصی قابل حل است. ضریب اشباع اکسیژن که مقداری تجربی است به صورت ثابت غلظت نیمه اشباع در نرخ زوال BOD وارد رابطه می‌شود و از سیستمی به سیستم دیگر متفاوت است. ضریب اشباع اکسیژن در آب به شوری، دما و فشار هوا (به دلیل تفاوت در ارتفاع از سطح دریا) بستگی دارد و به طور کلی وقتی شوری و دما زیاد شوند مقدار اکسیژن محلول در آب کمتر می‌شود (Amrizal, 2005). شکل ۲ مراحل شبیه‌سازی در این پژوهش را به صورت گام به گام نشان می‌دهد. در این نرم‌افزار، مدل‌سازی هیدرولیکی در ماژول FM به صورت رفت و برگشتی و همراه با مدل‌سازی اکولوژیکی در مدل ECOLab انجام می‌گیرد. در نتیجه اختلاط و پخشیدگی آلاینده‌ها در محیط همراه با زوال و ترسیب آن ناشی از فرایندهای هوادهی، تبخیر، تأثیر نور خورشید، تجزیه باکتریایی و جذب گیاهی مدل‌سازی می‌شود.

غلظت‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی با مقادیر حاصل از مشاهدات میدانی در محل خروجی مقایسه شده و در نهایت دقت مدل ارزیابی می‌شود. این مقادیر در ادامه با مقادیر استاندارد برای استفاده در کشاورزی و آبیاری و تخلیه به مجاری سطحی مقایسه می‌شود (جدول ۱). بازه‌های ذکر شده برای BOD5 در جدول ۱ برگرفته از استاندارد کیفیت آب‌های ایران و قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران است (شاعری و رحمتی، ۱۳۹۱).

جدول ۱. استانداردهای کیفی آب برای مصرف به‌عنوان منبع آب شرب، کشاورزی و پرورش ماهی (استاندارد کیفیت آب‌های ایران، ۱۳۹۵)

		BOD_5
استاندارد تخلیه به آب‌های سطحی		۳۰
استاندارد کشاورزی و آبیاری		۱۰۰
استاندارد حفاظت محیط‌زیست برای پرورش ماهیان	گروه۱	کم‌تر از ۳
	گروه۲	کم‌تر از ۶
استاندارد کیفیت منبع آب برای کاربری شرب		کم‌تر از ۳

– گروه۱. اکوسیستم‌های مناسب برای ماهیان سردآبی
– گروه۲. اکوسیستم‌های مناسب برای ماهیان گرم آبی



شکل۲. مراحل انجام مدل‌سازی در این تحقیق

نتایج

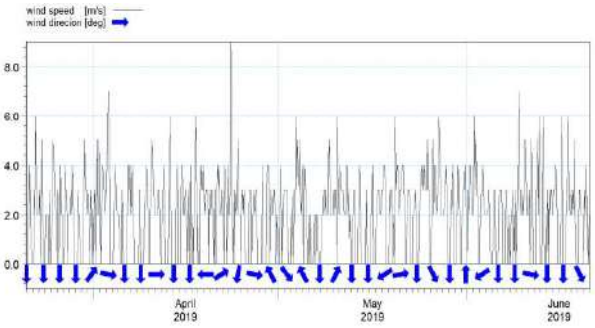
مدل‌سازی هیدرودینامیک تالاب در نرم‌افزار مایک نیازمند به مجموعهٔ گسترده‌ای از اطلاعات میدانی اعم از داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است. برای پیکره‌های آبی بسته، باد مهم‌ترین عامل ایجاد جریانات در سطح و عمق آب محسوب می‌شود. بنابراین مدل‌سازی دقیق این جریانات علاوه بر اطلاعات هندسی پهنه آبی، نیازمند اطلاعات باد با دقت زمانی و مکانی مناسب است. مرجع داده‌های باد در خشکی می‌تواند اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های ثابت و سیار هواشناسی محلی، اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای یا نتایج حاصل از مدل‌های هواشناسی باشد. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک قراخیل برای استخراج داده‌های هواشناسی اعم از میزان تبخیر و بارش منطقه، سرعت و جهت باد و دمای هوا استفاده شده است. این ایستگاه با فاصلهٔ حدوداً ۱۲ کیلومتری از منطقه مورد مطالعه نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به تالاب محسوب می‌شود. داده‌های هیدرولیکی شامل عمق تالاب، دبی و سرعت آب ورودی نیز توسط محققان و به صورت میدانی برداشت شده است. میزان BOD جریان ورودی که برای شروع شبیه‌سازی تالاب مورد نیاز است، با نمونه‌برداری و آزمایش آب ورودی در فصول مختلف سال ۱۳۹۸ اندازه‌گیری و به‌عنوان ورودی به مدل ارائه شد. در این پژوهش شبیه‌سازی اکولوژیکی تالاب در طول فصل بهار انجام گرفته است برای آنکه شروع فصل رشد و فعالیت حداکثری تالاب است. برای بررسی بهتر نحوه انتقال و پخشیدگی آلاینده‌ها، در شروع شبیه‌سازی محیط تالاب ساکن و غلظت BOD صفر در نظر گرفته شده است. دبی جریان ورودی به تالاب (ورودی به حوضچه ۱) m^3/s ۰/۱۵۳ و BOD آب ورودی ۵/۵ mg/l اندازه‌گیری شد که هر دو، در طول فصل بهار تغییرات محسوسی نداشته‌اند. بازه زمانی ۳ ساعت و تعداد گام زمانی ۷۳۵، معادل یک فصل به مدل معرفی شده است. در نهایت نتایج حاصل از شبیه‌سازی در انتهای فصل بهار با مقادیر مشاهداتی حاصل از نمونه‌برداری‌های میدانی ابتدای تابستان مقایسه شده است.

یکی از موارد مهم در توسعهٔ مدل ضرایبی هستند که در

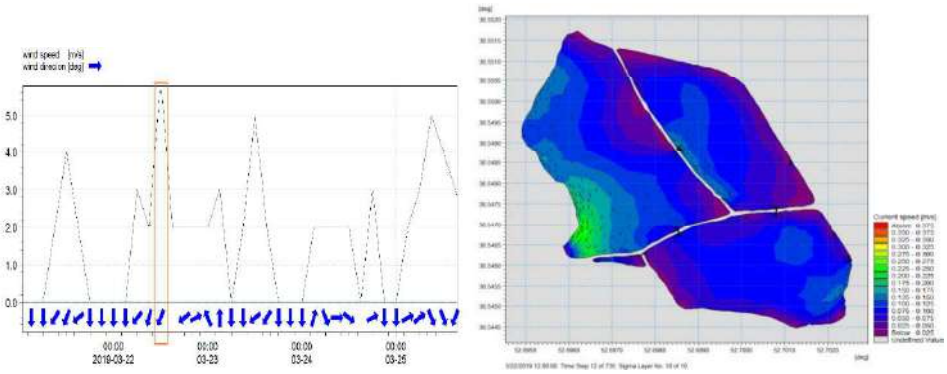
مدل‌سازی استفاده می‌شوند. در این پژوهش طبق تعریف، محدوده پیشنهادی نرم‌افزار و شرایط موجود (جنس خاک) مقدار زبری بستر ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار HS_BOD غلظت نیمه اشباع اکسیژن برایBOD در مخازن و تالاب‌ها براساس مقدار پیشنهادی در مطالعات پیشین در تالاب‌های مشابه ۰/۱۲۸ mg O_2/l در نظر گرفته شده‌است (Banks et al., 2007). K_3 ضریب کاهش مواد آلی در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد در محدودهٔ ۰/۰۵–۰/۵ است که به‌طور میانگین ۰/۱۵ پیشنهاد شده است (Chapra, 1997).

به‌منظور صحت سنجی مدل هیدرودینامیک از رهاسازی جسم شناوری در سطح حوضچه‌های تالاب و ردیابی مسیر حرکت آن در طول روز در چند سناریوی مختلف و مقایسهٔ آن با نتایج شبیه سازی‌ها استفاده شده است. برای کالیبراسیون مدل اکولب نیز به مدت یک ماه به صورت یک روز در میان پارامتر BOD در ورودی تالاب و خروجی ۱ اندازه‌گیری شد. با تغییر ضرایب زوال BOD در بازهٔ پیشنهادی، مدل‌سازی‌های مختلف انجام شده، تا بتوان با یافتن ضریب زوال بهینه پیش‌بینی مدل به مقادیر مشاهده شده در طول نمونه‌برداری نزدیک شود. با اعمال ضرایب مناسب در نهایت تا حدود ۹۵درصد مشابهت در نتایج مدل و اندازه‌گیری‌های میدانی مشاهده شده است. برای آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی، سناریوهای متعددی برای تغییرات غلظت و شکل بار ورودی مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد مدل به تغییرات سرعت و جهت باد حساس بوده و این دو پارامتر در تغییر هیدرودینامیک جریان بسیار مؤثر هستند. در سناریوهای شبیه‌سازی مشاهده شده است که مدل توانسته به خوبی تغییرات در شکل بارگذاری را در نظر بگیرد. شکل ۳ تغییرات باد و جهت آن را در طول ۳ ماه از فصل بهار در ایستگاه قراخیل نشان داده است. برای بررسی هیدرودینامیک جریان و ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی تأثیر جهت باد در ایجاد جریانات سطحی، سرعت باد در ۳ گام زمانی که کمیت آن بیشتر است با جهت حرکت جریان در تالاب در همان زمان مقایسه شده است (شکل ٤). با مقایسهٔ جهت باد از روی نمودار و جهت بردارهای سرعت جریان در سطح تالاب می‌توان دریافت که مدل تغییرات باد را به خوبی در نظر می‌گیرد چراکه تا حدود زیادی جهت این دو یکسان است. در دریاچه‌ها و پهنه‌های آبی بسته همانند تالاب، باد اصلی‌ترین نیرو و عامل شکل‌گیری جریانات در محیط است. مومنتم ناشی از ورودی و خروجی جریان و تغییرات دما و چگالی در سطح و عمق از عوامل دیگر شکل‌گیری جریان در محیط‌های بسته هستند که در تالاب مورد بررسی با توجه به عدم یخزدگی و وجود آب‌شور و نیز حضور حوضچه آرامش و سرعت پایین جریان ورودی، این نیروها، نیروی اصلی تأثیرگذار محسوب نمی‌شوند. با دقت در شکل ٤–ب مشاهده می‌شود زمانی که سرعت باد در حداکثر خود در طول این ۳ ماه یعنی ۹ m/s قرار دارد، سرعت جریان در تالاب نیز در بیش‌ترین مقدار خود قرار می‌گیرد. برای سرعت باد ۹ m/s سرعت جریان سطحی شکل گرفته افزون بر ۰/۳۷ m/s است که این موضوع با توجه به مرزهای بسته محیط بیانگر ضرورت شکل‌گیری جریانات عمقی و انتقال مواد به اعماق بیشتر است.

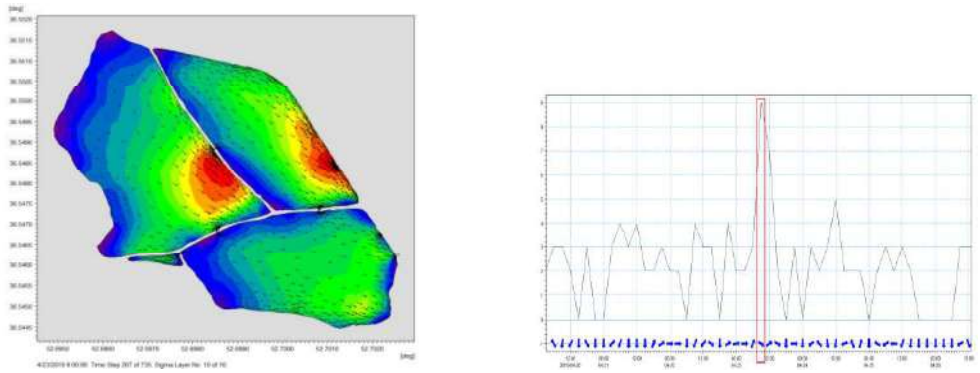
شکل ۵ برای جریان در لایه میانی در عمق حدود ۱/۵را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به دلیل حضور مرزها، جریان سطحی در کناره‌های تالاب در نهایت مجبور به حرکت به سمت پایین شده لذا جریان در این لایه در خلاف جهت جریان سطحی و البته با قدرت کمتر شکل می‌گیرد.



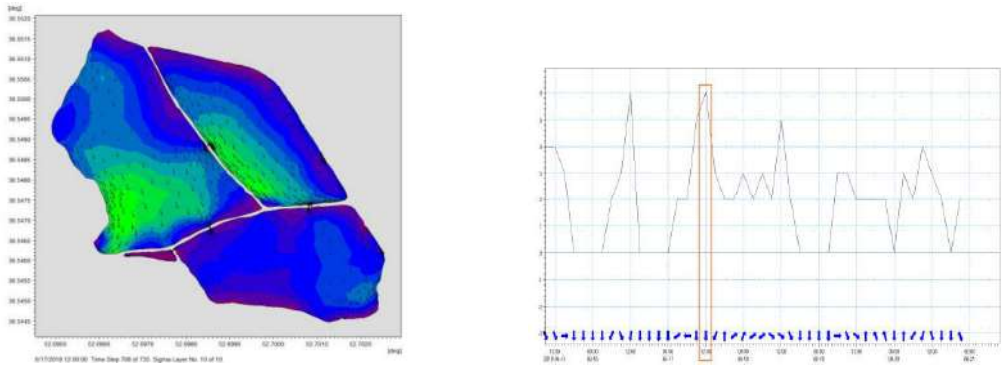
شکل ۳. نتایج مدل در ارتباط با تغییرات کمیت و جهت وزش باد در فصل بهار ۱۳۹۸ در ایستگاه قراخیل



الف) گام زمانی ۱۲: تاریخ ۲۰۱۹/۳/۲۲ ساعت ۱۲

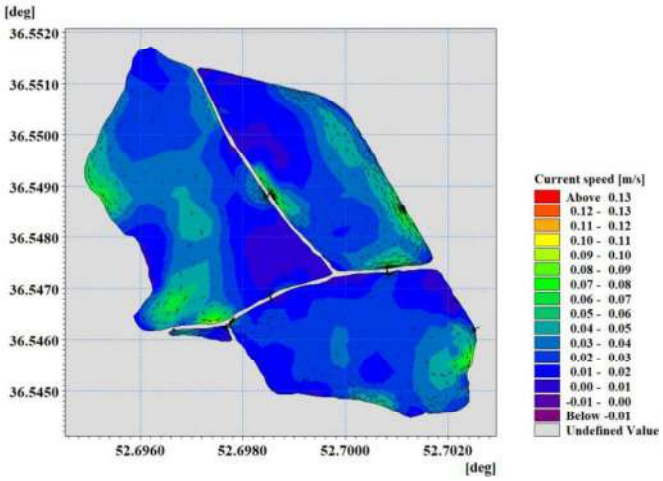


ب) گام زمانی ۲٦۷: تاریخ ۲۰۱۹/٤/۲۳ ساعت ۹

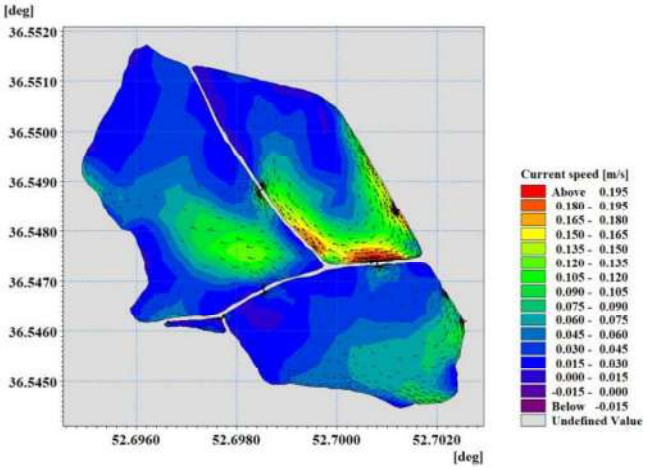


ج) گام زمانی ۷۰۸: تاریخ ۲۰۱۹/٦/۱۷ ساعت ۱۲

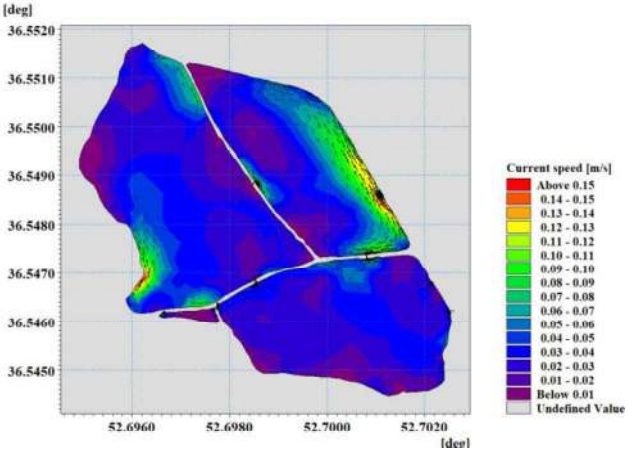
شکل ٤. نتایج مدل در ارتباط با مقایسهٔ جهت و سرعت باد در منطقه و جریان شکل گرفته در سطح آب تالاب



الف) گام زمانی ۱۲: تاریخ ۲۰۱۹/۳/۲۲ ساعت ۱۲



ب) گام زمانی ۲٦۷: تاریخ ۲۰۱۹/٤/۲۳ ساعت ۹

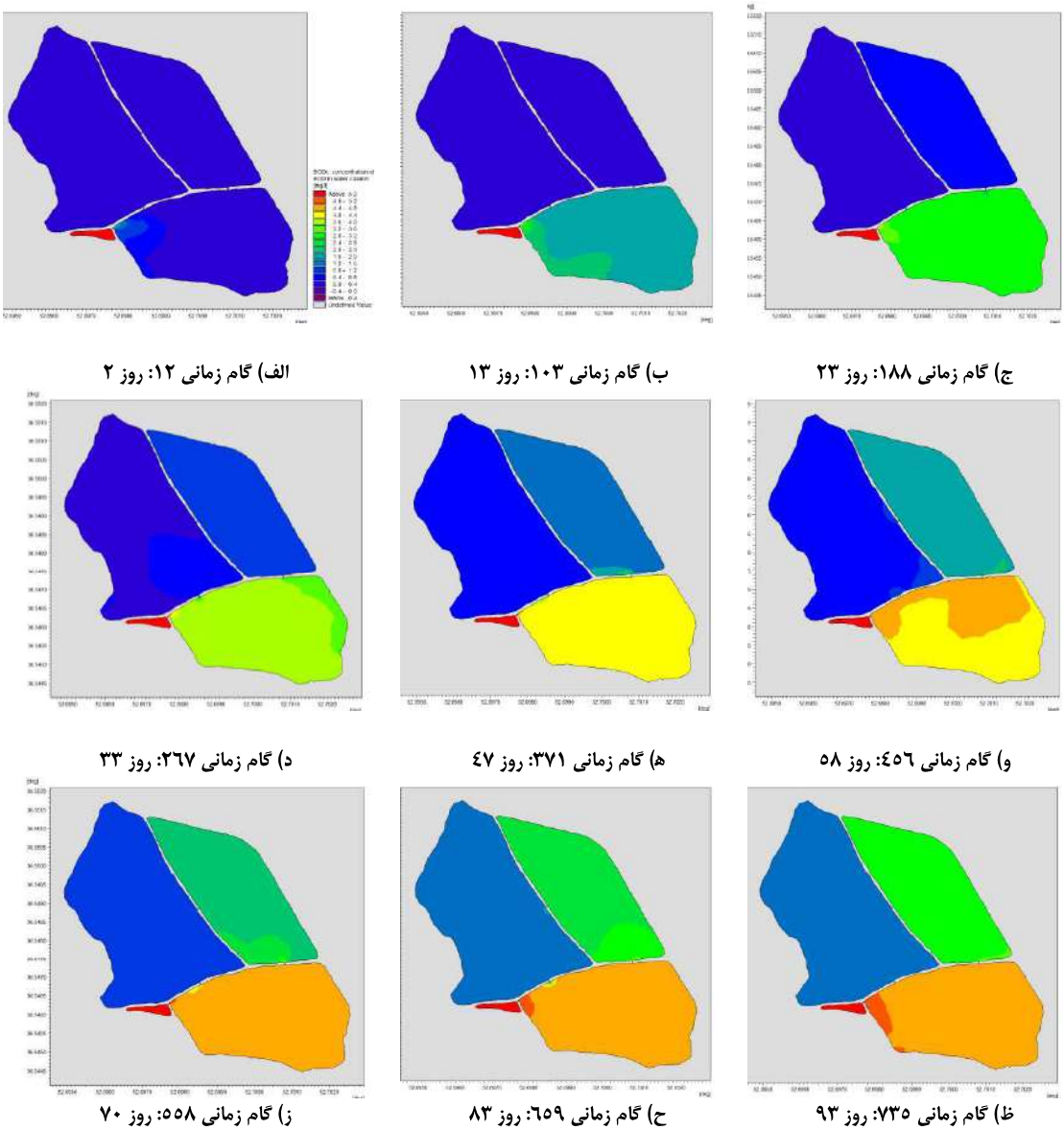


ج) گام زمانی ۷۰۸: تاریخ ۲۰۱۹/۶/۱۷ ساعت ۱۲

شکل ۵. نتایج مدل برای جهت جریان آب در لایه میانی تالاب در عمق ۱/۵ متری در طول بهار ۱۳۹۸

در این مدل، تغییرات BOD در تالاب توسط مدل ECOlab و در عملکرد همزمان با مدل هیدرودینامیک (FM) شبیه‌سازی شده است. در شکل ٦ نتایج مدل در ارتباط با میزان پخش‌شدگی، تجزیه و اضمحلال BOD در طول زمان

در حوضچه‌های مختلف تالاب در گام‌های زمانی متفاوت از فصل بهار آورده شده است. با توجه به دبی ورودی و حجم هریک از حوضچه‌ها، زمان ماند در حوضچهٔ اول ۱۸ روز، در حوضچه دوم ۲٤ روز و در حوضچه سوم ۷۳ روز برآورد شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است به‌دلیل واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی‌ای که در تالاب رخ می‌دهد و همچنین زمان ماند بالای آلودگی در تالاب، هرچه فاصله از ورودی تالاب بیش‌تر شود، مقدار BOD بیشتر کاهش می‌یابد. بدیهی است که هرچه گام زمانی در مدل‌سازی بیش‌تر باشد، مدل تالاب زمان بیش‌تری برای کاهش آلودگی دارد.



الف) گام زمانی ۱۲: روز ۲ — ب) گام زمانی ۱۰۳: روز ۱۳ — ج) گام زمانی ۱۸۸: روز ۲۳

د) گام زمانی ۲٦۷: روز ۳۳ — ه) گام زمانی ۳۷۱: روز ٤۷ — و) گام زمانی ٤٥٦: روز ۵۸

ز) گام زمانی ۵۵۸: روز ۷۰ — ح) گام زمانی ٦۵۹: روز ۸۳ — ظ) گام زمانی ۷۳۵: روز ۹۳

شکل ٦. نتایج مدل در ارتباط با روند پخشیدگی BOD در تالاب در طول فصل بهار

حوضچهٔ اول اصلی‌ترین حوضچهٔ درگیر بوده و بیشترین سهم را در دریافت، انتقال و اضمحلال آلودگی برعهده دارد. با توجه به ارتباط ثانویه حوضچه‌های ۲ و ۳ از طریق لوله‌های ۵۰ سانتیمتری با حوضچهٔ اول و حجم بالای

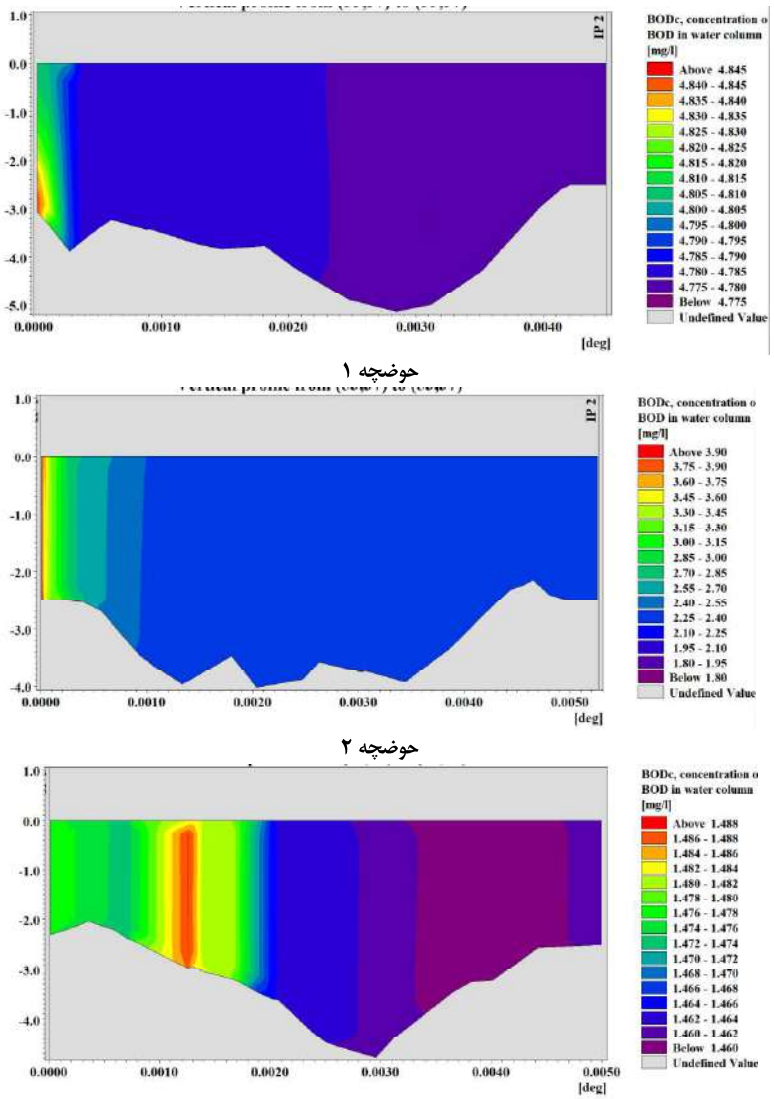
حوضچه اول و سینتیک بالا در تجزیه BOD در تالاب، آلودگی حین انتقال و انتشار در حوضچه اول تجزیه شده و به تدریج از غلظت آن کاسته می‌شود. لذا سهم کمتری از آلودگی به حوضچه‌های دیگر وارد می‌شود. همان‌طور که انتظار می‌رود، حوضچه ۳ که ارتباط کمتری با ورودی دارد، در نهایت میزان بار آلودگی کم‌تری دریافت می‌کند. حوضچه ۳ از یک طرف به حوضچه ۱ و از طرف دیگر به حوضچه ۲ ارتباط دارد و تنها نیمی از حجم آب ورودی به تالاب را دریافت می‌کند. لذا با توجه به حجم زیاد و زمان ماند بالای آن کمتر از سایر حوضچه‌ها از آلودگی ورودی متأثر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود طی روزهای آخر بازه زمانی مدل‌سازی، تغییرات BOD در حوضچه اول به سمت مقدار مشخصی میل کرده و تقریباً ثابت می‌شود.

شکل ۷ تغییرات میزان BOD در راستای عمق در طول هر یک از حوضچه‌های تالاب در انتهای بازه زمانی مدل‌سازی (فصل بهار) را نشان می‌دهد. به طور کلی مشاهده می‌شود که با توجه به عمق کمتر و تأثیر باد و مرزها، روند پخشیدگی جریان سه بعدی بوده و اعماق آب نیز مشابه سطح از ورود آلودگی به تالاب متأثر می‌شود. در این حالت تالاب را می‌توان یک سیستم کاملاً به هم آمیخته متصور شد که آلاینده‌های ورودی از سطح تا عمق آن پخش می‌شوند. نمونه‌برداری‌های میدانی از سطح و عمق تالاب در طول فصل بهار نیز تأییدکننده این موضوع بوده‌اند. در طول تالاب همچنین مشاهده شده است که میزان BOD با فاصله از منبع ورودی آب به تدریج کاهش یافته و از سطح تا عمق تغییرات محسوسی ندارند. در دهانهٔ ورودی آب به حوضچه، طبیعتاً میزان BOD بالاترین مقدار را داشته و با توجه به آنکه در انتهای فصل به یک حالت تقریباً ماندگار می‌رسد تغییرات میزان BOD از نقطه ورود آب تا انتهای تالاب روندی کاهنده را نشان می‌دهد.

شکل ۸ تغییرات BOD در خروجی ۱ (انتهای حوضچه اول) و خروجی ۲ (میانه حوضچه دوم) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که مقدار BOD ورودی به تالاب (۵/۵ mg/l) در انتهای فصل بهار و ابتدای تابستان به ٤/٧ mg/l در خروجی ۱ و ۳ mg/l در خروجی ۲ می‌رسد. داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده از مقدار BOD در ابتدای فصل تابستان در خروجی‌ها به ترتیب مقادیر ٤ و ٣/٤ میلی‌گرم بر لیتر را نشان می‌دهد. مقایسهٔ مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در انتهای فصل نشان می‌دهد که مدل با تنظیم ضرایب براساس مقادیر پیشنهادی و فرایند کالیبراسیون BOD، توانسته است با دقت ۸۰درصد مقدار غلظت در انتهای فصل را پیش‌بینی نماید. دلایلی همچون تعدد کم نمونه‌گیری برای پارامترهای ورودی در طول فصل و همچنین عدم امکان شبیه‌سازی کامل شرایط محیطی بالأخص تغییرات شدت تابش نور در طول روز و همچنین دخالت‌های انسانی، ورود جریان‌ها و آلودگی‌های تصادفی باعث می‌شود تا مدل تنها نزدیک با واقعیت بوده و نه کاملاً منعکس‌کننده عینی شرایطی واقعی باشد. به این ترتیب بر اساس نتایج شبیه‌سازی که با اندازه‌گیرهای میدانی میزان دقت آن ارزیابی شد، می‌توان نسبت به وضعیت کیفی تالاب در سناریوهای آتی شبیه‌سازی اظهار نظر کرد.

در فصل بهار فعالیت‌های بیولوژیکی تالاب آغاز شده ولی عملاً تا کلیماکس اکوسیستم از منظر رشد فیتوپلانکتون‌ها و گیاهان تالابی فاصله دارد. این گیاهان اعم از انواع فیتوپلانکتون‌ها، جلبک‌ها، لاله‌های مردابی و نی که نقشی اساسی در کاهش آلودگی و جذب مواد آلی دارند، در تابستان به حداکثر رشد و فعالیت خود رسیده و پیش‌بینی می‌شود طی این فصل تالاب عملکرد بهتری از منظر تصفیه طبیعی آب از خود نشان دهد. همان‌طور که اشاره شد، خروجی این تالاب به‌ویژه در طول فصل تابستان برای آبیاری زمین‌های کشاورزی پایین دست استفاده می‌شود و کیفیت آب تالاب همواره از منظر کشاورزان که به دلیل کاشت سنتی برنج با دست در معرض تماس مستقیم با آب خروجی هستند مورد توجه قرار دارد. با مقایسهٔ نتایج مشاهده شده با مقادیر ذکر شده در استاندارد کیفیت آب‌های سطحی (جدول ۱) می‌توان نتیجه گرفت که آب تالاب از منظر مقدار اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده BOD در سطح و عمق بیش از حد مجاز برای پرورش ماهیان سردآبی بوده،

اگرچه همچنان در محدودهٔ مجاز برای پرورش ماهیان گرم آبی است. این آب از نظر مقدار BOD برای فعالیت کشاورزی مناسب تشخیص داده شده ولی نمی‌تواند به‌عنوان منبعی برای آب شرب انسان و حتی احشام استفاده شود.



حوضچه ۱

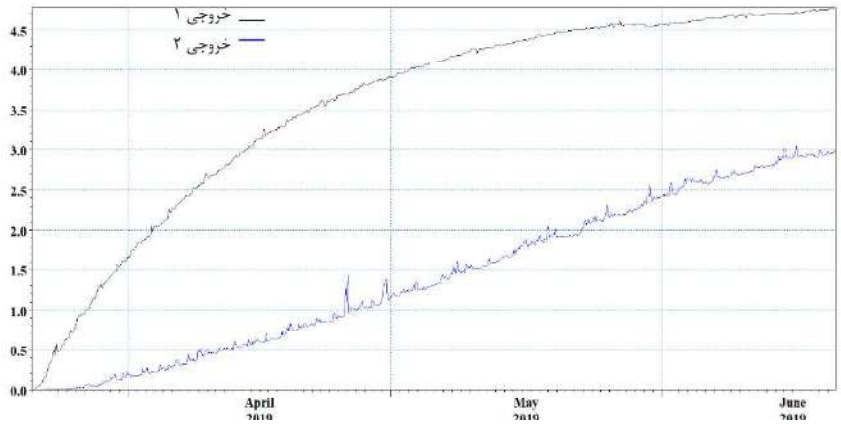
حوضچه ۲

حوضچه ۳

شکل ۷. پروفایل عرضی تغییرات میزان BOD در هر یک از حوضچه‌ها

جدول ۲. دبی جریان ورودی و BOD اندازه‌گیری شده در تالاب گل نیلوفر

	دبی ورودی (m^3/s)	BOD ورودی (mg/l)	BOD خروجی ۱ (mg/l)	BOD خروجی ۲ (mg/l)
ابتدای بهار	۰/۱۵۳	۵/۵	–	–
ابتدای تابستان	۰/۱۵۷	۱۰	۴	۳/۴



شکل ۸. منحنی تغییرات پارامتر BOD در نزدیکی خروجی‌ها در فصل بهار

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش جمعیت، زندگی متراکم شهری، کمبود منابع و بروز آلودگی‌های روزافزون محیط‌زیست، عمده شهرهای بزرگ دنیا علاقه‌مندند که به شهرهایی سبز و دوست‌دار محیط‌زیست تبدیل شوند. برای این منظور در کنار رشد و توسعه شهری، لازم است به منابع طبیعی و اکولوژیکی محیط نیز توجه شود تا شهرها در تعامل با محیط و شرایط طبیعی خود رشد و توسعه یابند. وجود تالاب‌ها در نزدیکی یا داخل شهرها یکی از این منابع (طبیعی) است که علاوه بر تأثیرات اکولوژیکی، می‌تواند در افزایش پویایی اقتصادی، اجتماعی و فرهنگ مردم مداری شهرها نقش بسزایی داشته باشد. وجود تالاب در داخل شهر بالأخص هنگامی‌که از نظر اکولوژیکی در تعامل با اهداف گردشگری و تفرج، توسعهٔ فرهنگی-اجتماعی (بهبود فضای نشاط، تحرک و ورزش در شهرها) و توسعهٔ اقتصاد محلی باشد، می‌تواند مؤلفه‌ای اصلی در رسیدن به تصویر عمومی از یک شهر اکولوژیک و دوست‌دار محیط‌زیست باشد. در این شرایط لازم است مسئولان شهری در کنار عدم خدشه به عملکرد طبیعی تالاب‌های شهری، محیط پیرامون تالاب را به محیطی امن و زیبا برای استفاده شهروندان تبدیل کنند. در تالاب‌های شهری کیفیت آب برای تفریحات مستقیم و غیرمستقیم انسان از آن اهمیت بسیار دارد. اما استفاده از آب تالاب برای کشاورزی، پرورش ماهی و شرب احشام در بسیاری از موارد به دلیل کیفیت پایین آن ناشی از ورودی آلودگی‌های مختلف می‌تواند محدود شود. تالاب‌ها اما توانایی بالایی برای پالایش و تصفیه آلودگی‌های ورودی به خود دارند که بعضاً این توانایی فراتر از واقع برآورد شده و عملاً تالاب را به حد اشباع از آلودگی و خفگی سوق می‌دهد.

در این تحقیق با شبیه‌سازی اکولوژیکی تالاب توسط ماژول ECOLab در مدل Mike3، تأثیر تالاب شهری گل نیلوفر بابل، بر بهبود کیفیت آب ورودی آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. این پهنه آبی منبع ارزشمند طبیعی از منظر سرگرمی و تفرج در منطقه محسوب شده و از گذشته‌های دور برای تأمین آب زمین‌های کشاورزی در پایین دست خود مورد استفاده بوده است. در این پژوهش پارامتر BOD به عنوان شاخصی برای آلودگی‌های با منشأ آلی انتخاب و روند انتقال، انتشار و تجزیه آن با مدل‌سازی هیدرودینامیک جریان و حل رابطه زوال BOD تحت اکسیداسیون هوازی در تالاب بررسی شد. بررسی مقایسه‌ای نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که مدل با دقت مناسبی توانسته است میزان غلظت در محل خروجی را پیش‌بینی کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد آلودگی ورودی با توجه به زمان ماند بالای تالاب، سرعت کم جریان و اثر فرایندهای حاکم بر تصفیه طبیعی آلاینده‌ها، توانسته تا میزان مطلوبی کاهش پیدا کند، اگرچه که حدس اولیه مقدار کاهش

بیشتری در مقدار آلودگی را پیش‌بینی کرده است. به این ترتیب کیفیت آب تالاب علاوه بر کیفیت آب ورودی به فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی داخل تالاب وابسته بوده و ارتقای عملکرد تالاب از این منظر می‌تواند تضمین کنندهٔ کیفیت و بهداشت استفاده از آن در پایین دست باشد. ارزیابی توانمندی تالاب در تصفیهٔ طبیعی آلاینده در طول فصل تابستان که نقطهٔ اوج اکوسیستم تالاب در فعالیت سالانه آن است در ادامه تحقیق حاضر در حال بررسی است. پیش‌بینی می‌شود با توجه به توانمندی مدل ECOLab در شبیه‌سازی رفتار تالاب توانایی بالای آن در تصفیه طبیعی آلودگی‌ها در طول این فصل نیز به اثبات برسد. نهایتاً با توجه به خروجی مدل‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که این تالاب توانسته به طور تقریبی BOD را در خروجی‌ها تا حداکثر ٤٥درصد کاهش دهد.

دستیابی به روندی پایدار در وضعیت سیستم با توجه به تغییرات دبی و BOD جریان ورودی و نیز محدودیت در تعداد نمونه‌برداری‌های میدانی در کنار تغییر شرایطی محیطی و پیچیدگی‌های ذاتی در مدل‌سازی فرایندهای اکولوژیکی، قضاوت در ارتباط با نتایج مدل و دقت پیش‌بینی‌ها را محدود می‌سازد. ازاین‌رو نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی بدون شک بدون نقص نبوده و در این مطالعه تنها سعی شده است تا با برقراری ارتباط بین مدل‌های FM و ECOlab در نرم‌افزار Mike و وارد کردن رابطه زوال BOD به فرایند شبیه‌سازی تالاب و تغییرات آن در شرایط واقعی در طول زمان پیش‌بینی شود. از نواقص اصلی این مطالعه نمونه‌برداری‌های ناکافی از بدنه آبی تالاب و کم بودن اطلاعات به دست آمده از برداشت‌های میدانی در ارتباط با دبی و بار آلودگی ورودی به تالاب و کالیبراسیون نتایج مدل برای پارامترهای کمی و کیفی است. سختی دسترسی به میانه تالاب برای نمونه‌برداری، هزینه بالای انجام اندازه‌گیری‌های میدانی و نبود داده‌های توپوگرافی دیجیتال در سازمان‌های متولی از جمله مشکلات پیش روی این تحقیق بود که در صورت مرتفع شدن می‌تواند توانایی مدل در شبیه‌سازی را ارتقا بخشیده و به دقت آن بیافزاید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل از طریق اعتبار پژوهشی شماره BNUT/۳۹۰۰۳۵/۹۹ قدردانی می‌کنند.

یادداشت‌ها

1. Lotus
2. Turbulent eddy viscosity
3. Kronecker
4. Von kármán
5. Ecological Laboratory
6. Biological Oxygen Demand

منابع

احمدی، آ، (۱۳۹۵). مدل‌سازی سرنوشت و انتقال آلودگی‌های مواد مغذی در تالاب‌ها ، پایان‌نامه ارشد، دانشگاه تهران.

بامدادی، پ؛ عابسی، ع، امینی راد، ح، (۱۳۹۹)، *توسعه شهرهای اکولوژیک: گزارش یک تجربه در شمال ایران*، دوازدهمین کنگره ملّی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

بامدادی، پ؛ عابسی، ع، امینی راد، ح، (۱۳۹۹)، *شهرسازی مبتنی بر محیط‌زیست، چالش‌های بهداشتی شهرهای تالابی*، شهرسازی ایران، دورهٔ ۳، نوبت انتشار.

بوستانی، ف، طاهرشمسی، ا، علوی مقدم، ر، موسوی، ع، (۱۳۸۵)، *مدل هیدرودینامیک تالاب انزلی و بررسی گسترش شوری در آن*، همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.

رمضانی، م، عابسی، ع، رحمانی فیروزجائی، ع. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی عددی تخلیهٔ فاضلاب‌های سنگین از تخلیه کنندهٔ مستغرق ۳۰° در حالت‌های آزاد و مجاور به بستر، *نشریه هیدرولیک*، ۱۵(۳)، صص ۷۵-۹۱.

سازمان حفاظت محیطزیست، ۱۳۹۵، *استاندارد کیفیت آب‌های ایران*، معاونت محیطزیست انسانی، دفتر آب و خاک، صص ۱۲-۵.

سعادت‌پور، م، (۱۳۹۱)، تعیین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن با در نظر گرفتن اهداف کمی و کیفی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت.

شاعری، ع، رحمتی، ع، (۱۳۹۱)، *قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی*، سازمان حفاظت محیطزیست، صص ۲۷۷-۲۷۹.

طاهرشمسی، ا، بختیاری، آ، موسوی، ع، (۱۳۸۸)، *بررسی هیدرودینامیک و غلظت اکسیژن موردنیاز شیمیایی در تالاب انزلی*، مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی، دوره ۲، شماره ۱، صص ۷٤-۸۳.

عابسی, ع، سعیدی، م، حاجی‌زاده ذاکر، ن، خیرخواه گیلده، ح. (۱۳۹۰). خصوصیات جریان در تخلیه سطحی فاضلاب‌های سنگین در پیکره‌های آبی ساکن و لایه‌بندی نشده، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۲(٤)، صص ۷۱-۸۲.

منتظرحجت، ا، منصوری، ب، (۱۳۹۵)، مدل‌سازی ترجیحات بیان شده مطالعه موردی تالاب شادگان، *محیط‌زیست طبیعی*، منابع طبیعی ایران، دوره ٦۹، شماره ٤، صص ۱۱٤٦- ۱۱٦۲.

Amrizal, M. (2005). Effect of Dissolved Oxygen Concentration on BOD Decay. *University Technology Petronas*.

Banks, C. J., Koloskov, G. B., Lock, A. C., & Heaven, S. (2007). A computer simulation of the Oxygen balance in a cold climate winter storage WSP during the critical spring warm-up period. *Water Science & Technology*, 48(2), pp 189–196.

Chapra, S. D. 1997. *Surface water quality modeling* (1st Ed.), MC Grawhill, New York.

DHI. (2014). *MIKE 3 FLOW MODEL Hydrodynamic Module Scientific Documentation*, DHI Water & Environment, Horsholm.

DHI. (2014). *ECO LAB Short Scientific Description, DHI Water & Environment,* Horsholm.

DHI. (2014*). WATER QUALITY WQ TEMPLATES, ECO LAB Scientific Description*, DHI Water & Environment, Horsholm.

Federation, Water Environmental, and American Public Health Association. (2005*) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.

National Research Council, (1995). *Wetlands: Characteristics and boundaries*. National Academies Press.

Karbassi, A., Abdollahzadeh, E. M., Attaran-fariman, G., Nazariha, M., & MazaheriAssadi, M. (2017). Predicting the Distribution of Harmful Algal Bloom (HAB) in the Coastal Area of Oman Sea, *Nat. Environ. Pollut. Technol*., 16(3), pp. 753–764.

Panda, U. S. Mahanty, M. M. Ranga Rao, Patra, V. S. and & Mishra, P., (2015). Hydrodynamics and water quality in Chilika Lagoon-A modelling approach. *Procedia Eng*., vol. 116, no. 1, pp. 639–646.

Pugliese, L., Kusk, M., Iversen, B.V. and & Kjaergaard, C., (2020). Internal hydraulics and wind effect in a surface flow constructed wetland receiving agricultural drainage water. *Ecological Engineering*, 144, pp.105661

Sato, T., Imazu, Y., Sakawa, T., Kazama, T., Wakabayashi, T. & Uhrenholdt, T., (2007). Modeling of integrated marine ecosystem including the generation-tracing type scallop growth model. *Ecological modelling*, 208(2-4), pp.263-285.

Sabokrouhiyeh, N., Bottacin-Busolin, A., Savickis, J., Nepf, H., & Marion, A. (2017). A numerical study of the effect of wetland shape and inlet-outlet configuration on wetland performance, *Ecol. Eng.,* 105, pp. 170–179.

Yuan, C., Huang, T., Zhao, X., & Zhao, Y., (2020). Numerical Models of Subsurface Flow Constructed Wetlands: Review and Future Development. Sustainability, 12(8), p.3498.

White D., Fennessy, S. (2005). Modeling the suitability of wetland restoration potential at the watershed scale, *Ecol. Eng*., 24(4 SPEC. ISS.), pp. 359–377.

Zedler, J. B., Kercher, S. (2005). WETLAND RESOURCES: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability, *Annu. Rev. Environ. Resour*., 30(1), pp. 39–74.