

Research Paper

Three-Dimensional simulation of temperature and water quality parameters using EFDC Hydrodynamic model (Case study:Mamloo Dam)

Hoda Naderi¹, Amir-Hosein Javid^{2*}, Seyed-Mehdi Borghei³, Mohsen Eslamizadeh⁴

1. PhD Candidate of Environmental Engineering, Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Professor Environmental Engineerin, Department of Natural Resources and Environment , Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3. Professor of Environmental Process Engineering, Department of Petroleum & Chemical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

4. Department of Water Quality Control, Tehran Water Regional Organization, Tehran, Iran

Received: 2021/06/11

Revised: 2021/12/06

Accepted: 2023/02/18

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2023.5826](https://doi.org/10.30495/wej.2023.5826)

Keywords:

Reservoir, Water quality parameters, Thermal stratification, Algae bloom, EFDC Model

Abstract

Introduction: So as to conserve and manage reservoirs effectively, a comprehensive awareness is necessary for the spatial and temporal pattern of water quality.

Methods: . In this research, a three-dimensional EFDC dynamic environmental model has been utilized, for the assessment and simulation of the thermal-regime and quality parameters of the Mamloo-Dam Reservoir. The information required for the calibration and validation of the model in the 12 months of the year of 2019, has been taken from 6 stations.

Findings: The thermal stratification has prolonged, for several months. Stability in stratification has obstructed the transfer of oxygen to the lower layers and the dissolved oxygen (DO) concentration in the hypolimnion, decreases intensely, in to less than 2 mg/L. In the entire seasons of the year, the highest concentration of Chlorophyll is relative to photic zones (with highest concentration 35.6 µg/L in august). The phosphorous factor restricts the growth of algae in the reservoir; and a high correlation between the modifications in total phosphorous concentration and chlorophyll was observed. The trend of modifications in total nitrogen illustrates its control by external input loads. Furthermore, the results attained in comparing the simulated and real values (R^2 and RMSE values), display that the EFDC model has the capacity to simulate the hydrodynamic and qualitative parameters of the Mamloo-Dam Reservoir. Moreover, provided appropriate statistical indicators (RMSE=0.15, $R^2=0.72$) in water level simulation.

Citation: Naderi H, Javid AH, Borghei SM, Eslamizadeh M. Three-Dimensional simulation of temperature and water quality parameters using EFDC Hydrodynamic model (Case study:Mamloo Dam). Water Resources Engineering Journal. 2023; 16(57): 47- 60.

***Corresponding author:** Amir-Hosein Javid

Address: Dept. Natural Resources and Environment, College of Environmental engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tell: +98-9121037369

Email: a.javid@srbiau.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Iran's dam reservoirs are confronted with a potential threat as human activities have been continuously influencing the physical and chemical characteristics of water bodies. Specific attention has been paid to the pattern study on reservoirs revealing the changes and heterogeneity of major water quality variables like temperature, nitrogen compounds, phosphorus, dissolved oxygen (DO), and chlorophyll-a (Chla). It is particularly the case for spatiotemporal pattern recognition via hydro-environmental modeling approaches. Numerical models are commonly used in hydro environmental simulations for water quality pattern recognition. Numerical models are comparatively accurate, efficient, and stable. It is capable of visualizing spatial information. Typically, a numerical model solves a set of physically-based governing equations describing the flow and transportation of contaminants. To this end, studies have been carried out concerning reveal negative impacts on the aquatic system caused by water quality deterioration. In this paper, we investigated water quality patterns via EFDC modeling of Mamloo reservoir and reveal some important impacts on water quality changes.

Materials and Methods

Mamloo reservoir (35° 35' 11" N and 51° 46' 58" E) is located 45 km away from Tehran, the capital of Iran. The reservoir is a medium-sized reservoir and benefits from several facilities including urban water supply, irrigation, and electricity generation. EFDC solves hydrostatic momentum and continuity equations for turbulent flow in the coordinate system containing major functional components such as hydrodynamics, salinity, temperature, tracer, sediment transport, toxins, and water quality columns with sediment diagnosis. Hydrodynamic formulas for vertically hydrostatic momentum and continuity of EFDC model are solved in a coordinate system that is curvilinear and orthogonal in the horizontal and stretched or topography-free surface in the vertical direction. Water

quality model the governing mass-balance equation of EFDC model for water quality state variables consists of physical transport, advective and diffusive, and kinetic processes.

The samples were collected by using a Niskin water sampler in polyethylene containers with a volume of 1-liter. Total nitrogen (TN-N) mgL^{-1} , and total phosphorus (TP-P) mgL^{-1} were analyzed by the Digestion Acid Persulphate method. Some parameters such as temperature ($^{\circ}\text{C}$), and dissolved oxygen (mgL^{-1}) were measured by using standard devices with high accuracy [DO heck portable analyzer and heck digital thermometer [accuracy $\pm 0.1\%$] CTD was used to determined DO concentration changes in deep layers. All of the mentioned parameters were measured within 72 hr., following the standard method procedure. Topological and bathymetric data were used to generate a 3-D Cartesian mesh grid. Horizontally, the domain contained 207 cells in i-direction and 231 cells in j-direction with a maximum of 10 evenly stratified vertical layers. Total active cells counted up to 8252. The initial and boundary condition defined for the model and after determination calibration coefficients, the model was validated with the help of data collected during one year in mamloo reservoir.

Findings

Mamloo reservoir has experienced the stratified condition for several months while the water body was completely mix in January and February with an increase of temperature in surface, stratification began to strengthen again in April and the temperature gradient was the maximum in August. The temperature is a significant factor that affected the quality of the water body and algae growth. Predicted temperatures were in agreement with observations and the depth where thermocline occurred. DO is an intuitive water quality indicator and the model was able to produce an obvious variation. Wind, current-induced reaeration, algal processes, and temperature were major factors that contributed to DO variation. As illustrated, DO depletion in summer rose together with

water temperature. Higher Chl a concentration appeared in the photic zone of the Mamloo reservoir. The different concentration of Chl a was observed in site #S3, #S4 and #S5. Mamloo's level kept low from January to March and November to December. TP levels remained low in summer due to fast consumption by algae. Maximum TP levels occurred in #S3 station due to inflow nutrients. phosphorus was a limiting factor for algae growth in the reservoir and there was a meaningful connection between Chl a and TP concentration changes in different seasons. TN as a second variable, showed a meaningful connection with the internal inflow pattern in the mamloo catchment area, therefore, it can be concluded that nitrogen is controlled by external loading.

Discussion

The temperature is a significant factor that affected the quality of the water body and algae growth. The goodness of temperature fitting was presented in Reservoir. Mamloo reservoir kept thermally stratified for a long-time in the simulation and the vertical profile agreed with the measurements. Predicted temperatures were approximately showed good agreement with observations and the depth where thermocline occurred. Forces like wind-induced currents, turbulent mixing, and atmospheric forces may contribute to temperature variation. Wind, current-induced reaeration, algal processes, and temperature were major factors that contributed to DO variation. It inferred that the effect of DO reaeration in the surface layer was stronger than the bottom layer causing low DO concentration in deep areas. Nutrients like TN, TP concentrations were sampled in the surface layer. TP levels remained low in summer due to fast consumption by algae. The different concentration of Chl a was observed in site #S3, #S4 and #S5. Mamloo's level kept low from January to March and November to December. Maximum TP levels occurred in #S3 station due to inflow nutrients. TN as a second variable, showed a high connection with the internal inflow pattern in the mamloo catchment area.

Conclusion

Mamloo reservoir has experienced the stratified condition for several months while the water body was completely mix in January and February with an increase of temperature in surface, stratification began to strengthen again in April and the temperature gradient was the maximum in August. DO is an intuitive water quality indicator and the model was able to produce an obvious variation. As illustrated, DO depletion in summer rose together with water temperature. Higher Chl a concentration appeared in the photic zone of the Mamloo reservoir. phosphorus was a limiting factor for algae growth in the reservoir and there was a meaningful connection between change in Chl a and TP in different seasons. In Mamloo reservoir nitrogen is controlled by external loading.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Hoda Naderi, Amir Hosein Javid.
Methodology and data analysis: Hoda Naderi, Amir Hosein Javid, seyed Mehdi Bourgheie, Mohsen Eslamizadeh.
Supervision and final writing: Amir Hosein Javid, Hoda Naderi.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

شبیه سازی سه بعدی دما و پارامترهای کیفی آب با استفاده از مدل هیدرودینامیکی EFDC مطالعه موردی: (مخزن سد ماملو)

هدی نادری^۱، امیر حسین جاوید^{۲*}، سید مهدی برقی^۳، محسن اسلامی زاده^۴

۱. دانشجوی مقطع دکتری گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳. استاد گروه مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۴. دکترای مهندسی محیط زیست، دپارتمان کنترل کیفیت آب، سازمان آب منطقه تهران، ایران

چکیده

مقدمه: کیفیت آب در منابع آبی تامین کننده آب شهرها، تهدید بالقوه برای سلامت جامعه به حساب می آید و مدیریت موثر این منابع آبی و درک جامع از الگوی مکانی و زمانی کیفیت آب مورد نیاز می باشد. **روش:** در این مطالعه، از مدل دینامیکی زیست محیطی سه بعدی EFDC، جهت ارزیابی و شبیه سازی دما و پارامترهای کیفی مخزن سد ماملو استفاده شده است. اطلاعات مورد نیاز، جهت واسنجی و صحت سنجی مدل در ۱۲ ماه از سال ۲۰۱۹ میلادی، از ۶ نقطه از مخزن سد برداشت شده است.

یافته‌ها: لایه بندی حرارتی در مخزن چندین ماه در سال ادامه یافته است. لایه بندی پایدار، مانع از انتقال اکسیژن به لایه های پایین تر شده و غلظت اکسیژن محلول در زیرلایه، به کمتر از ۲ میلی گرم بر لیتر رسیده است. در تمامی فصول سال بیشترین غلظت سبزینه آ مربوط به منطقه آفتاب (با حداکثر غلظت ۳۵/۶ میکروگرم بر لیتر در مرداد ماه) می باشد. در مخزن سد ماملو فسفر عامل محدود کننده رشد جلبک ها در مخزن می باشد و رابطه معناداری میان تغییرات غلظت فسفر کل و تغییرات غلظت سبزینه آ در مخزن مشاهده گردید. روند تغییرات نیتروژن کل در مخزن نشان دهنده کنترل غلظت آن توسط بارهای خارجی ورودی به مخزن می باشد. **نتیجه گیری:** به طور کلی، نتایج به دست آمده از مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و واقعی دهنده آن می باشد که مدل EFDC به صورت قابل قبولی قادر به شبیه سازی پارامترهای کیفی مخزن می باشد. همچنین، شاخص های آماری مقادیر نسبتاً مناسبی را در شبیه سازی تراز آب ($RMSE=0/15$, $R^2=0/72$) نشان دادند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2023.5826](https://doi.org/10.30495/wej.2023.5826)

واژه‌های کلیدی:

مخزن سد، پارامترهای کیفی آب، لایه بندی حرارتی، شکوفایی جلبکی، مدل EFDC.

* نویسنده مسئول: امیر حسین جاوید

نشانی: گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۱۰۳۷۳۶۹

پست الکترونیکی: a.javid@srbiau.ac.ir

مقدمه

(2014)، در پژوهش خود به کمک مدل EFDC اقدام به شبیه سازی جریانات موجود در مخزن جهت بررسی سرعت انتشار آلاینده های سمی ناشی از فعالیتهای انسانی در بالادست مخزن به سمت خروجی نمودند. Zhang و همکاران (2017)، اقدام به شبیه سازی مخزن Tianjin Erwangzhuang و تعیین سطح تغذیه گرای در مخزن نمودند، در این تحقیق، با به کارگیری مدل EFDC پارامترهای هیدرودینامیکی و کیفی در ارتباط با تغذیه گرای شبیه سازی گردیده، و میزان مغذی شدن مخزن به کمک مدل به خوبی تعیین شده است. Gao و همکاران (2018)، به کمک مدل EFDC، به شناسایی عوامل شکوفایی جلبکی در شاخه های مخزن Three Gorges که به صورت مکرر رخ میداد پرداختند. نتایج نشان دهنده آن بود که سن آب و دما از عوامل اصلی تاثیرگذار در رشد بیش از حد جلبک ها بوده است. Bai و همکاران (2018)، با به کارگیری مدل EFDC اقدام به تعیین سهم منابع مختلف ورودی آلودگی به دریاچه Bali واقع در شهر Jujiang نمودند، که در این تحقیق مدل به کمک اطلاعات هیدرودینامیکی و کیفی دریاچه به مدت یکسال واسنجی و صحت سنجی گردید، و نتایج بدست آمده اطلاعات مفیدی را برای بهینه سازی کاهش بار آلودگی در دریاچه و تعیین موثرترین برنامه کنترل آلودگی آن در اختیار ایشان قرار داد. Zhao و همکاران (2020)، به بررسی تاثیرات آشفنگی و شیب مواد مغذی درون مخزن بر نرخ رشد و ساختار جامعه فیتوپلانکتون ها در دریاچه های کم عمق پرداختند. در این تحقیق از مدل EFDC به همراه مدل یک بعدی PC-LAKE استفاده شده بود. نتایج نشان داد که آشفنگی می تواند جذب مواد مغذی، توسط فیتوپلانکتون ها در غلظت های کم را بهبود بخشیده و بینش جدیدی در ارتباط با استراتژی های مدیریتی و اصلاح اکوسیستم ها ارائه دهد. Liu و همکاران (۲۰۲۱)، با هدف کنترل میزان آلاینده های ورودی (نیتروژن آمونیاکی، فسفر کل) به دریاچه Gehu سناریو های مختلفی جهت تخصیص میزان بار آلاینده های ورودی به دریاچه معرفی و جهت تایید صحت سناریو های موجود از مدل EFDC استفاده نمودند. Hwang و همکاران (۲۰۲۱)، از مدل ترکیب شده EFDC-SWAT جهت ارزیابی اثرات مدیریت کیفیت آب در مخزن Ganwol در کره جنوبی که از مشکل کاهش کیفیت آب رنج می برد، استفاده کردند. در این تحقیق لایروبی کف مخزن و کنترل پساب های ورودی مخزن به عنوان راه کارهای مدیریتی پیشنهاد گردید. سجاد فیض آبادی (۱۳۹۷)، با توجه به اهمیت اقتصادی و زیست محیطی «خور نیویورک»، با به کارگیری مدل EFDC اقدام به شبیه سازی عددی پخش شوری و فرایند انتقال در این خور نموده است. با توجه به ورود فاضلاب های کشاورزی و شهری به سر شاخه های رودخانه، هدف اصلی این تحقیق تعیین زمان اقامت و خروج این مواد از سیستم، با توجه به زمان ماند آب بوده است.

سد ماملو به دلیل تأمین بخشی از آب آشامیدنی شهر تهران و همچنین فراهم سازی آب کشاورزی دشت ورامین، از اهمیت استراتژیک بسیار بالایی برخوردار می باشد. هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت کیفیت و لایه بندی حرارتی مخزن سد ماملو، به کمک مدل دینامیکی زیست محیطی سه بعدی EFDC می باشد. در این مطالعه، پس از ارزیابی رژیم حرارتی و پارامترهای کیفی، به بررسی ارتباط میان تغییرات پارامترهای

مخازن سدها به عنوان منابع مهم تأمین کننده آب از اهمیت فزاینده ای در سرتاسر جهان برخوردار می باشند. در سال های اخیر، مخازن آبی با اهداف مختلفی همچون تأمین آب آشامیدنی، کشاورزی، تولید برق، کنترل سیلاب، تنظیم جریان در پایین دست و مصارف تفریحی در مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است (۱). در مخازن سدها، بالا بودن زمان ماند و نیز ورود جریان های آبی حاوی آلودگی ناشی از فعالیت های انسانی و طبیعی از حوضه آبریز، سبب بروز تغییراتی در پارامترهای کیفی آب می شود. ورود بار اضافی مواد مغذی به خصوص فسفر و مواد مغذی دیگر (مانند N، C، Si، و غیره)، منجر به افزایش رشد موجودات خود پرور، افزایش تولیدات اولیه مواد آلی و مغذی شدن آب مخازن می گردد (۲). پروفیل حرارتی عمودی مخازن سدها در طول ماه های مختلف سال دستخوش تغییراتی می شود (۳). در نتیجه وقوع لایه بندی حرارتی در چندین ماه متوالی از سال، انتقال اکسیژن از لایه های سطحی به لایه های عمیقتر متوقف گردیده، و غلظت اکسیژن محلول در زیر لایه به کمتر از ۲ میلیگرم بر لیتر (شرایط بی اکسیژن) می رسد. از طرف دیگر، وجود زیر لایه بی هوایی باعث انتشار و افزایش بارگذاری داخلی مواد مغذی (فسفات و آمونیوم) شده، و در نهایت منجر به تشدید پدیده مغذی شدن و رشد بیشتر جلبک ها خواهد شد (۴).

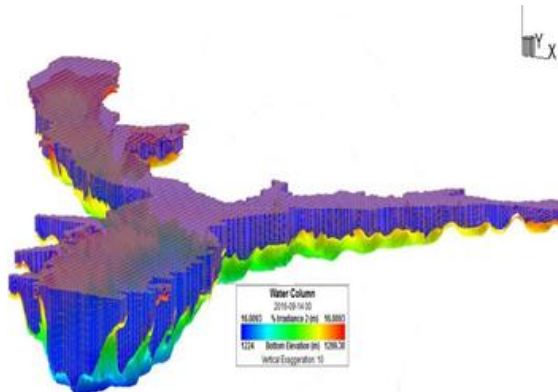
از آنجا که هدف اصلی احداث سدها تأمین آب شرب، بخش کشاورزی و صنعت می باشد، کاهش کیفیت آب بالا رفتن هزینه های تصفیه، و نارضایتی عمومی از کیفیت آب را به همراه خواهد داشت. در دهه های پیشین، محققان بسیاری با به کارگیری مدل های عددی اقدام به شبیه سازی پارامترهای کیفی مخازن سدها کرده اند. (Extel 1954) برای اولین بار یک مدل دیفیوژنی برای تشکیل ترموکلاین، با فرض یک ضریب مستقل از عمق و زمان برای دیفیوژن بدست آورد. Krenkel و همکاران (1964)، پروفیل حرارتی، اکسیژن محلول، غلظت آهن و منگنز را برای مخزن Alatona، در حالت کاملاً مخلوط و لایه بندی مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. (Gaillard 1984)، یک نرم افزار یک بعدی قائم را برای شبیه سازی کیفی آب مخزن توسعه داد و از آن برای بررسی اثر موقعیت آبرگیر سد بروی کیفیت آب خروجی استفاده کرد. (Hamrick & Jin 2000)، با بکارگیری مدل EFDC اقدام به شبیه سازی پارامترهای کیفی و دمای دریاچه Okeechobee نمودند. Jeong و همکاران (2010)، به کمک مدل EFDC دامنه نفوذ شوری در رودخانه گئوم را برای حالت های مختلف جریان در سال (خشکسالی، جریان کم، نرمال و سیل) شبیه سازی کردند. Wu در سال (2011)، به بررسی روند تغییرات غلظت سبزینه آ، جهت ارزیابی تغذیه گرای دریاچه Daoxiang در پکن پرداختند. در این تحقیق مدل EFDC توانست با میانگین دقت ۶۳/۴۵ درصد، وقوع شکوفایی جلبک ها را پیش بینی نماید. Wang و همکاران (2013)، با به کارگیری مدل EFDC، اقدام به ارزیابی تغییرات مکانی - زمانی پارامترهای کیفی و دما در مخزن MIYUN در چین کردند. در این تحقیق، مدل به خوبی روند سالانه تغییرات پارامترهای هیدرودینامیکی و کیفی مخزن در ارتباط با پدیده شکوفایی جلبکی را پیش بینی نمود. Chen و همکاران

روش اسپکتروفوتومتری و نیتروژن کل و فسفر کل نیز به روش هضم اسید پرسولفات مورد ارزیابی قرار گرفته اند. تمامی اندازه گیری ها بر مبنای روش های استاندارد توصیه شده در روش استاندارد انجام شده است. پارامترهای هیدرودینامیکی مورد نیاز، همچون اطلاعات بسیمتریک و منحنی سطح-حجم-ارتفاع؛ توسط سازمان آب منطقه ای تهران تأمین گردید. پارامترهای کیفی مورد نیاز از پنج ایستگاه نشان داده شده در (شکل ۱)، در سال آبی ۲۰۱۹ (۱۱) دیماه ۱۳۹۷ تا ۱۰ دی ماه ۱۳۹۸ جمع آوری شده اند.

معرفی مدل EFDC

مدل دینامیکی زیست محیطی سه بعدی EFDC، برای شبیه سازی فرایندهای هیدرودینامیکی و کیفی پیچیده در رودخانه ها، دریاچه ها و خورها طراحی شده است. این مدل، توسط هامریک در انستیتوی علوم دریایی ویرجینیا، در زبان برنامه نویسی فرترن نوشته شده است و دارای چهار مدول اصلی هیدرودینامیک، کیفیت آب، انتقال رسوب و مواد سمی می باشد. مدل EFDC، معادلات متوسط حرکت هیدروستاتیکی، جسم آزاد و گردابی یک سیال با چگالی متغیر را حل می کند. در این مدل از یک مختصات عمودی کشیده سیگما و مختصات افقی متعام کارترین یا منحنی الخط استفاده میگردد. مدل EFDC معادلات هیدروستاتیک حرکت و پیوستگی را برای جریان گردابی، درسیستم مختصاتی، شامل مولفه های عملکردی اساسی از قبیل هیدرودینامیک، شوری، دما، ماده رسیاب، انتقال رسوب، مواد سمی و ستون های کیفیت آب با تشخیص رسوب تعیین می کند (۵). در این مطالعه، از اطلاعات بسیمتریک و توپوگرافی برای تولید یک شبکه از سلول های سه بعدی، به صورت منحنی در جهت افقی و سیگما در جهت قائم استفاده شده است. (شکل ۲) نشان دهنده محدوده مورد مطالعه می باشد که شامل ۲۰۷ سلول در جهت افقی و ۲۳۱ سلول در جهت عمودی، با حداکثر ۱۰ لایه عمودی یکنواخت تقسیم بندی شده و مجموعه سلول های محاسباتی ۸۲۵۲ سلول می باشد.

شکل ۲- نمایشی از شبکه بندی سه بعدی دریاچه ماملو



معادلات حاکم بر مدل

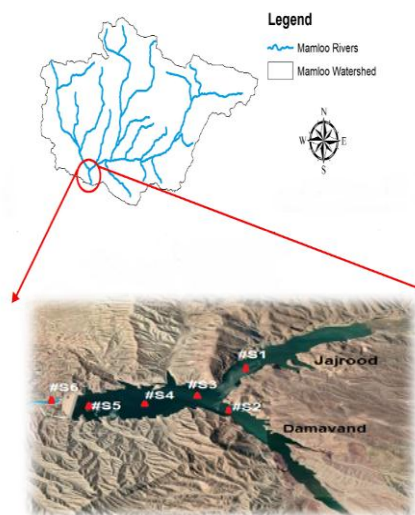
فرمول های هیدرودینامیک مدل EFDC، برای حرکت عمودی هیدروستاتیک و پیوستگی، درسیستم مختصاتی حل می گردد که در راستای افقی به صورت منحنی الخط و متعام و در راستای قائم به صورت سطح کشیده و یا با توپوگرافی آزاد می باشد. معادلات اندازه

کیفی و تغییر فراوانی توده های جلبکی در مخزن سد ماملو پرداخته شده است. برخی از شواهد نشان دهنده آن است که غلظت سبزینه آ در فصل تابستان از ۳۸/۵ میکروگرم بر لیتر فراتر رفته است، که این امر نشان دهنده وجود پتانسیل وقوع «شکوفایی جلبکی» در مخزن سد ماملو می باشد. از آنجائیکه رشد جلبک ها توسط بارگذاری خارجی کنترل می گردد، مدیریت حوضه آبریز ماملو از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. کنترل کیفیت آب در حوضه آبریز، از طریق کاهش ورود مواد آلی و انحراف پساب های شهری و صنعتی ورودی به رودخانه جاجرود، می تواند به عنوان راهکاری علاج بخش در بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه های آبی تصفیه آب مورد توجه قرار گیرد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و جمع آوری داده ها

مخزن سد ماملو در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران واقع شده است. مخزن سد ماملو با حوضه آبریزی به وسعت ۱۷۵۰ کیلومتر مربع، توسط دو رودخانه اصلی جاجرود و دماوند آبریزی می شود. هدف اصلی از احداث سد ماملو، تأمین آب شرب بخش جنوب شرقی تهران، فراهم سازی آب کشاورزی دشت ورامین و تأمین برق می باشد.



شکل ۱ - موقعیت حوضه آبریز، رودخانه های ورودی به دریاچه سد ماملو و ایستگاه های نمونه برداری

سد ماملو سد با دارا بودن ارتفاع ۸۹ متر از پی حجمی خود، افزون بر ۲۴۰ میلیون متر مکعب آب را در خود ذخیره نموده است. عملیات نمونه برداری از اعماق مختلف آب، توسط دستگاه نیسکین انجام شده است، و کلیه نمونه ها در ظروف پلی اتیلنی یک لیتری ذخیره و جهت انجام آنالیزهای مربوطه به آزمایشگاه ارسال گردیدند. کلیه اندازه گیری ها در فاصله زمانی ۷۲ ساعت پس از نمونه برداری، صورت گرفته است.

پارامترهای مورد ارزیابی شامل دما (T)، اکسیژن محلول (DO)، سبزینه آ (Chl a)، فسفر کل (TP) و نیتروژن کل (TN) می باشند. دمای آب در سایت به کمک دستگاه CTD اندازه گیری شده است. سبزینه آ با

در این رابطه، C غلظت مربوط به متغیرهای کیفیت آب است. (u, v, w) و (K_x, K_y, K_z) به ترتیب مولفه های سرعت و انتشار گردابی در راستای x, y, z می باشند. S_c منابع یا سینک های خارجی در واحد حجم است. مدل کیفیت آب EFDC یک فرآیند مبتنی بر جنبش جلبک و اکسیژن محلول است (۷). بیست و یک متغیر کیفیت شامل گروه های جلبکی، مولفه های مختلف کربن، نیتروژن، فسفر و چرخه های سیلیکایی، دینامیک DO و باکتری های کلیفرم مدفوعی در (جدول ۱) ارائه شده اند. فرآیندهای کلیدی اساسا بر پایه ی فرآیندهای جلبکی مانند رشد جلبک، متابولیسم بنیانی، شکار، ته نشینی و بارهای خارجی می باشند. کربن ارگانیک، شکار جلبکی نیتروژنی و فسفری، انحلال و ته نشینی نیز توصیف می شوند. علاوه بر آن فرآیندهای دیگر مانند نیتراتی شدن، نیترات زدایی، کانی سازی و آب کافت فسفر را نیز شامل شده است. استفاده از این قسمت های فرعی این امکان را فراهم می کند که توزیع و پخش واقعی تری از مواد آلی را شاهد باشیم.

جدول ۱- اسامی متغیر های کیفی در مدل EFDC

۱- سیانوباکتری	۸- فسفر آلی ذره	۱۵- نیتروژن
	ای ناپایدار	نیترات + نیتريت
۲- دیاتومه	۹- فسفر آلی	۱۶- سیلیس ذرات
	محلول	زیستی
۳- جلبک سبز	۱۰- فسفر کل	۱۷- سیلیس
		موجود محلول
۴- کربن آلی ذره	۱۱- نیتروژن آلی	۱۸- اکسیژن
	ذره ای پایدار	محلول
۵- کربن آلی ذره	۱۲- نیتروژن آلی	اکسیژن مورد نیاز
	ذره ای ناپایدار	۱۹- شیمیایی
۶- کربن آلی	۱۳- نیتروژن آلی	۲۰- کل مواد جامد
	محلول	معلق
۷- فسفر آلی ذره	۱۴- نیتروژن	۲۱- باکتری های
	آمونومی	کلیفرم

شرایط اولیه و مرزی

برای حل معادلات حاکم بر جریان و کیفیت، به مجموعه ای از شرایط مکمل تحت عنوان شرایط اولیه و مرزی نیاز می باشد. شرایط اولیه مدل، شامل داده های جریان اولیه (ورودی ها و خروجی های دریاچه) و دمای آب سطحی می باشد و شرایط مرزی نیز به معنای معلوم بودن متغیرهای میدان و یا گرادیان آنها در مرزهای میدان محاسباتی می باشد (۸)، که تابع شرایط فیزیکی میدان جریان است. مرزهای میدان محاسباتی شامل ورودی، خروجی، سطح آزاد و جداره های جامد می باشد. سد ماملو دارای دو ورودی اصلی جاجرود و دماوند است. سری زمانی ورودی های سد ماملو و خروجی آن در (شکل ۳) نشان داده شده است. متوسط دبی ورودی رودخانه های جاجرود و دماوند در سال آبی

حرکت (معادلات ۱ و ۲) و پیوستگی (معادله ۳) در مدل EFDC به صورت زیر ارائه شده است:

معادله (۱)

$$\frac{\partial(mHu)}{\partial t} + \frac{\partial(m_y H u u)}{\partial x} + \frac{\partial(m_x H v u)}{\partial y} + \frac{\partial(m w u)}{\partial z} - \left(m f + v \frac{\partial m_y}{\partial x} - u \frac{\partial m_x}{\partial y} \right) H v = -m_y H \frac{\partial(g\zeta + p)}{\partial x}$$

$$-m_y \left(\frac{\partial h}{\partial x} - z \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(m \frac{1}{H} A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + Q_u$$

معادله (۲)

$$\frac{\partial(mHv)}{\partial t} + \frac{\partial(m_y H u v)}{\partial x} + \frac{\partial(m_x H v v)}{\partial y} + \frac{\partial(m w v)}{\partial z} + \left(m f + v \frac{\partial m_y}{\partial x} - u \frac{\partial m_x}{\partial y} \right) H u = -m_x H \frac{\partial(g\zeta + p)}{\partial y}$$

$$-m_x \left(\frac{\partial h}{\partial y} - z \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(m \frac{1}{H} A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + Q_v$$

معادله (۳)

$$\frac{\partial(m\zeta)}{\partial t} + \frac{\partial(m_y H u)}{\partial x} + \frac{\partial(m_x H v)}{\partial y} + \frac{\partial(m w)}{\partial z} = Q_H$$

u و v سرعت های افقی در مختصات منحنی الخط متعامد (x, y) می باشند. w سرعت قائم در مختصات عمودی کشیده z می باشد. m_x و m_y پارامترهای بدون بعد در مختصات افقی هستند. عمق کلی $(H = \xi + \eta)$ ، برابر با مجموع مختصات عمودی فیزیکی سطح آزاد و کف بستر می باشد. در این معادله Q_H نشان دهنده حجم چشمه و چاه شامل بارش، تبخیر، تعرق و نفوذ و ورودی و خروجی های جانبی با شار اندازه حرکت می باشد. فشار p ، فشار فیزیکی هیدرواستاتیک چگالی مرجع می باشد. در معادلات اندازه حرکت، f پارامتر کوریولیس می باشد، A_v حالت آشفستگی عمودی یا ویسکوزیته گردابی است و عبارت های Q_u و Q_v نیروهای اضافی، منابع حرکت یا سینک هایی برای جلوگیری از رویش گیاهان، تنش رینولدز ناشی از امواج ثقلی سطحی با فرکانس بالا و منابع حرکت ناشی از جت های موج دار می باشند (۷). معادله انتقال در مدل EFDC برای دما به صورت زیر می باشد:

معادله (۴)

$$\frac{\partial(mHT)}{\partial t} + \frac{\partial(m_y H u T)}{\partial x} + \frac{\partial(m_x H v T)}{\partial y} + \frac{\partial(m w T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(m \frac{1}{H} A_b \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_T$$

در معادلات انتقال مربوط به شوری و دما، Q_S و Q_T عبارت های سورس و سینک می باشند. در حالیکه A_b اختلاط قائم یا انتشار گردابی است. معادله موازنه جرم مدل EFDC برای متغیرهای کیفیت آب، شامل انتقال فیزیکی، فرآیندهای فرارفتی و پراکنشی و سینماتیکی است. معادله موازنه جرم برای انتقال فیزیکی ترم های مختلف به شکل زیر نوشته می شود:

معادله (۵)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} + \frac{\partial(wC)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S_c$$

همبستگی (R^2) بین خروجی های شبیه سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی می باشد.

جدول ۲- نتایج کالیبراسیون مدل EFDC برای مخزن سد ماملو

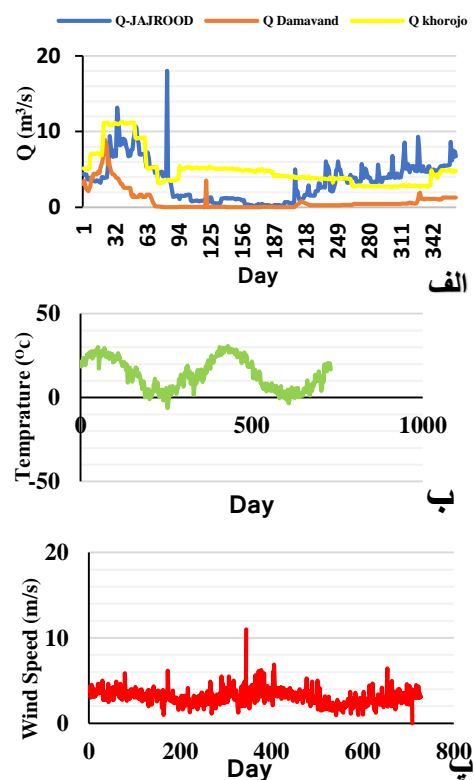
واحد	مقدار	اندیس	پارامتر
d^{-1}	۲	KRO	ثابت هوادهی مجدد
$mgL^{-1} O_2$	۱/۵	KHCOD	ثابت نیمه اشباع اکسیژن برای فساد COD
d^{-1}	۰/۰۱	KCD	نرخ فساد COD
mgL^{-1}	۰/۰۱	KHN	ثابت نیمه اشباع نیتروژن برای جلبک
mgL^{-1}	۰/۰۰۱	KHP	ثابت نیمه اشباع P جلبک
d^{-1}	۱/۸	PM	سرعت رشد حداکثر جلبک
d^{-1}	۰/۰۳	BM	نرخ متابولیسم پایه جلبک
d^{-1}	۰/۱۵	PRR	نرخ شکار جلبک
$mday^{-1}$	۰/۱	WS	سرعت ته نشینی جلبک
$mg/\mu g$	۰/۰۴۵	CChla	نرخ کربن به سبزینه آ جلبک
-	۰/۱۶۷	ANC	نرخ نیتروژن به کربن جلبک
m	۱/۰	DOPT	عمق بهینه رشد جلبک
$^{\circ}C$	۱۸/۰	TM1	مینیمم دمای رشد جلبک
$^{\circ}C$	۳۰/۰	TM2	ماکزیمم دمای رشد جلبک
$^{\circ}C$	۲۰/۰	TR	دمای مرجع متابولیسم جلبک
gNm^3d^{-1}	۰/۰۰۷	RNitM	حداکثر نرخ نیتریفیکاسیون
$^{\circ}C$	۲۵/۰	TNit	دمای مرجع نیتریفیکاسیون

نتایج و بحث

هیدرودینامیک مخزن سد ماملو

پس از ورود هندسه مخزن و منحنی سطح-حجم-ارتفاع به نرم افزار، منحنی نامبرده طی چندین مرحله و با کمک منحنی سطح-حجم-ارتفاع واقعی واسنجی گردید. پس از واسنجی هندسه مخزن و تطابق آن با منحنی واقعی، واسنجی سطح تراز آب در مخزن سد ماملو انجام شده است. سطح تراز آب همخوانی خوبی را میان داده های شبیه سازی شده و مقادیر واقعی ماهانه اندازه گیری شده در مخزن سد ماملو نشان داده است (شکل ۴).

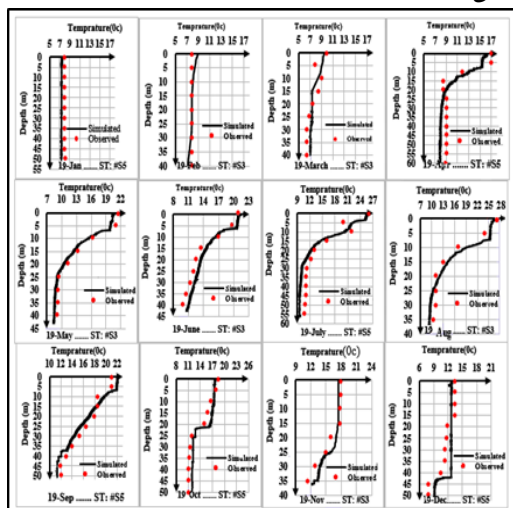
۲۰۱۹، به ترتیب ۳/۵۰۳ متر مکعب در ثانیه و ۰/۸۹۸ مترمکعب در ثانیه می باشند. جریان خروجی در کل سال دارای تخلیه مداوم است و میانگین میزان دبی خروجی ۴/۹۱۹ متر مکعب در ثانیه محاسبه شده است (شکل ۳ الف). شرایط اولیه و پارامترهای هواشناسی با بجه های گرمایی در سطح مشترک میان آب و هوا مرتبط است و ثبت روزانه دمای هوا، رطوبت نسبی، نرخ بارش، سرعت باد و طول موج کوتاه تحت عنوان نیروهای اتمسفری در مدل ثبت می گردد. پارامترهای مورد نیاز نامبرده از ایستگاه های هواشناسی و هیدرومتری سازمان هواشناسی کشور و سازمان منابع آب واقع در نزدیکترین محل به مخزن تهیه گردیده است (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات دبی در ورودی ها و خروجی مخزن ماملو (الف)، تغییرات دمای سالانه (ب) و میانگین سرعت باد (پ) در سال آبی ۲۰۱۹

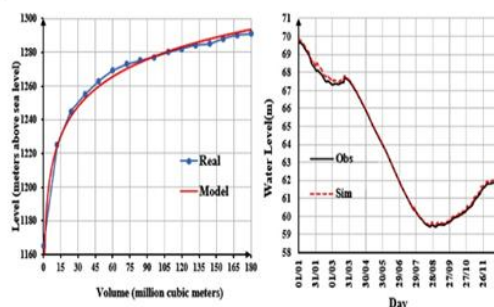
مدل EFDC با اصلاح پارامترهای هیدرودینامیکی و کیفی آب و با آزمایشات متوالی واسنجی شده است. پارامترهای واسنجی شده با تعریف و مقادیر آن در (جدول ۲) ذکر گردیده است. پارامترهای اصلی مربوط با سینتیک جلبکی انتخاب شده اند و شبیه سازی زیست محیطی جلبکها شامل پارامترهایی برای رشد جلبک، متابولیسم و ته نشینی می باشند. فرایندهای شیمیایی حاوی پارامترهایی برای هیدرولیز، پوسیدگی و هوادهی مجدد بوده و کلیه پارامترها در محدوده عملیاتی اصلاح شده اند تا ترکیبی ایده آل در هر آزمایش به دست آید (۹). معیار بهترین انتخاب برای پارامترها، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب

نتایج نشان دهنده کارایی بالای مدل EFDC در شبیه سازی دما می باشد و مقادیر بدست آمده از محاسبه R^2 و RMSE سازگاری قابل قبولی را میان مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر واقعی نشان داده است. تغییرات دما در ایستگاه های #S3 و #S5 در فصول مختلف، در (شکل ۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- تغییرات مقدار دما در عمق مخزن سد ماملو و مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده در سال آبی ۲۰۱۹

بررسی تغییرات دما در هر دو ایستگاه از لحاظ وقوع لایه بندی حرارتی و اختلاط روند مشابهی را نشان می دهد. به طور کلی، لایه بندی در مخزن سد ماملو نسبتاً شدید می باشد و لایه بندی در ده ماه از سال ادامه یافته است. مخزن سد ماملو در ماه های دی و بهمن به صورت اختلاط کامل در آمده، و مجدداً از فروردین ماه با افزایش دمای هوا در لایه های سطحی لایه بندی شکل گرفته، و در مرداد به حداکثر مقدار خود رسیده است. بررسی تغییرات فصلی دما در سطح آب بیانگر وقوع تغییراتی در ماه های مختلف سال می باشد. مقایسه دمای سطحی در دو ایستگاه نامبرده نشان دهنده آن است، که در سه ماه زمستان (دی، بهمن، اسفند) روند تغییرات دما در سطح کندتر بوده، و دمای سطحی آب بین ۷/۴ درجه سانتیگراد در دی تا ۹/۱ درجه سانتیگراد در اسفند متغیر می باشد. دمای سطحی، از ماه فروردین شروع به بالا رفتن می کند، بطوریکه در اواسط خرداد به بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد می رسد و در ماه مرداد دمایی حدود ۲۷ درجه سانتیگراد در سطح مشاهده می گردد. در مرداد ماه گرادین حرارتی حداکثر بود و اختلاف دمای آب در سطح و کف مخزن به حدود ۱۶ درجه سانتیگراد رسید. پس از مرداد، دمای سطحی آب سیر نزولی به خود گرفته، و در اواخر آذر ماه به حدود ۱۲ درجه سانتیگراد می رسد (۱۰). به طور کلی، در مخزن ماملو تغییرات دما در سطح نوسانات بیشتر و وسیعتری را نشان می دهد. دمای پیش بینی شده، تقریباً توافق خوبی را با مقادیر مشاهده شده و عمق ترموکلاین نشان داده است، و لایه بندی حرارتی در سرتاسر پهار و تابستان وجود داشته است. برخی پارامترها مانند نیروی باد،



شکل ۴- هندسه مخزن و سطح تراز مشاهداتی و شبیه سازی شده در بازه زمانی یکساله در مخزن ماملو

سطح تراز آب در ماه آبان به حداقل خود یعنی ۵۹/۶ متر، و پس از آبان با شروع بارندگی ها روند افزایشی در پیش گرفته است. مقدار $RMSE$ و R^2 برای سطح تراز آب ۰/۱۵ و ۰/۷۲ متر محاسبه شده است که مقدار مناسب و قابل قبولی می باشد.

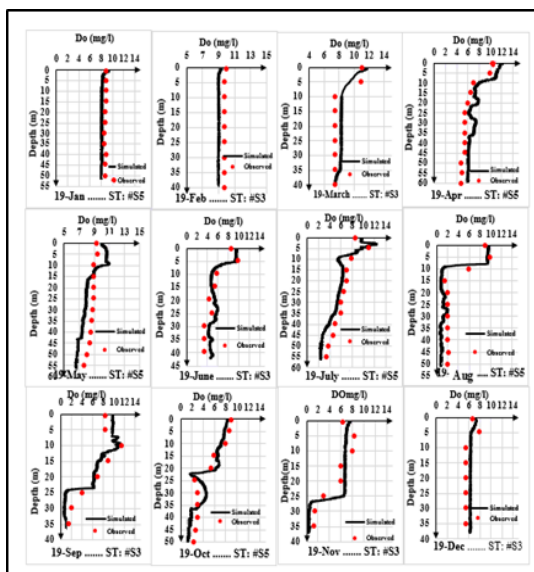
شبیه سازی دما در مخزن سد ماملو

دوره شبیه سازی از تاریخ ۱۱ دی ماه ۱۳۹۷ برابر با اول ژانویه ۲۰۱۹ تا ۱۰ دی ماه ۱۳۹۸ برابر با ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ به مدت یکسال می باشد. پارامتر دما با اندازه گیری های داخل سایت واسنجی شده، و همخوانی مناسبی میان مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر واقعی مشاهده گردید. نتایج صحت سنجی دما در (جدول ۳) آورده شده است.

جدول ۳- مقایسه مقادیر خطا و ضرایب همبستگی میان نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی دما، در لایه های مختلف در سال ۲۰۱۹ میلادی

ای-ستگاه	لایه	RMSE	R^2
	رو لایه	۲/۶۵	۰/۸۲
	می ان لایه	۲/۷	۰/۸
#S3	زی ر لایه	۲/۸	۰/۸۱
	رو لایه	۲/۳	۰/۷۸
#S4	می ان لایه	۲/۵	۰/۷۶
	زی ر لایه	۲/۷۶	۰/۷۸
#S5	رو لایه	۲/۴۹	۰/۸۴
	می ان لایه	۲/۶۵	۰/۷۹
	زی ر لایه	۲/۵۴	۰/۸۲

تحقیقات نشان دهنده آن می باشد که مقادیر اکسیژن محلول با افزایش دما کاهش می یابد. همانطور که در مقایسه تغییرات عمقی میزان اکسیژن محلول در فصول مختلف در دو ایستگاه نامبرده مشاهده می گردد، کاهش اکسیژن محلول در تابستان، با افزایش دما در شروع فصول گرمتر همراه بوده است. حداقل غلظت اکسیژن محلول در منطقه آفتاب، مربوط به ماه آذر (متوسط ۷ میلیگرم بر لیتر) و بیشترین غلظت آن، مربوط به ماه اسفند (متوسط ۱۲ میلیگرم بر لیتر) می باشد. در فصل تابستان با افزایش یافتن دما و افزایش توده های جلبکی، زمینه برای کاهش اکسیژن محلول در بدنه آبی فراهم می شود. در مخزن ماملو بیشترین اختلاف غلظت اکسیژن میان لایه های سطحی و عمقی در ماه های مرداد (متوسط ۸/۰۳ میلیگرم بر لیتر) و شهریور (متوسط ۸/۸۶ میلیگرم بر لیتر) مشاهده شده است. به طور کلی در سد ماملو روند تغییرات اکسیژن محلول در لایه های سطحی، کمتر از لایه های عمیق می باشد و علت آن بهره مندی از فاکتورهای جبران کننده، همچون تبادل با اتمسفر و انجام فتوسنتز می باشد. در فصول گرم تابستان زمانی که لایه بندی مخازن سدها در شدیدترین حالت ممکن می باشد، مقدار اکسیژن محلول در لایه های زیرین به کمتر از ۲ میلیگرم بر لیتر رسیده است. رسوب اجساد مرده از لایه های سطحی، تجزیه و هوادهای ضعیف دلایل اصلی کاهش اکسیژن در زیر لایه می باشند. تغییرات عمقی اکسیژن محلول در ماه های منتخب در ماه های مختلف در ایستگاه های #S3 و #S5 در مخزن سد ماملو در (شکل ۷) نشان داده شده است.



شکل ۷- تغییرات غلظت اکسیژن محلول در عمق مخزن سد ماملو و مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی در سال آبی ۲۰۱۹ میلادی

الگوی مغزی شدن مخزن به وسیله تغییرات سبزینه آ ارزیابی گردید (۱۳). بیشترین غلظت سبزینه آ، نزدیک به ورودی های مخزن سد ماملو، و در ایستگاه #S3 (نزدیکترین ایستگاه به ورودی) مشاهده شده است، که عمدتاً با مواد مغزی کافی تغذیه می گردد. در مخزن سد ماملو پدیده شکوفایی جلبکی در اواسط بهار و تابستان رخ می دهد.

اختلاط و نیروهای اتمسفریک در ایجاد تغییر در دمای آب موثر می باشند (۱۱).

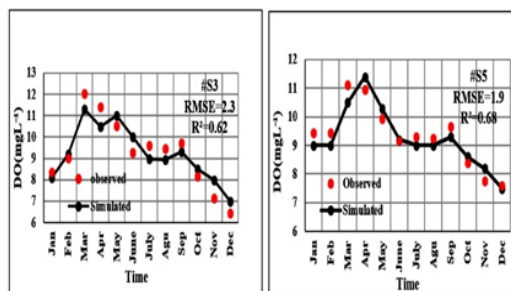
شبیه سازی پارامترهای کیفی مخزن سد ماملو

تغییرات کیفیت آب مخزن سد ماملو در سال ۲۰۱۹، برای پارامترهای اکسیژن محلول، فسفر کل، سبزینه آ، نیتروژن کل، در فصول مختلف برای سه ایستگاه منتخب در ادامه نشان داده شده است. شبیه سازی متغیرهای کیفی آب انجام شده، و نتایج به دست آمده از صحت سنجی مدل، ارتباط قابل قبولی را میان مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر واقعی در مخزن سد ماملو نشان داده است. (جدول ۴) نتایج حاصل از صحت سنجی سبزینه آ و اکسیژن محلول را در اعماق مختلف مخزن ماملو نشان می دهد.

جدول ۴- مقایسه مقادیر خطا و ضرایب همبستگی میان نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی سبزینه آ و اکسیژن محلول در لایه های مختلف در سال ۲۰۱۹ میلادی

ایستگاه	لایه	سبزینه آ		اکسیژن محلول	
		RMSE	R ²	RMSE	R ²
#S3	۱/۵	۰/۸	۲/۵	۰/۶۸	
#S4	۱/۵۴	۰/۷۷	۱/۸	۰/۶۷	
#S5	۱/۴۸	۰/۷۹	۲/۲	۰/۷۱	
#S3	۱/۶۳	۰/۷۵	۲	۰/۷۵	
#S4	۱/۵۲	۰/۷۴	۲/۶	۰/۷۴	
#S5	۱/۴۸	۰/۷۸	۲/۳	۰/۷۲	

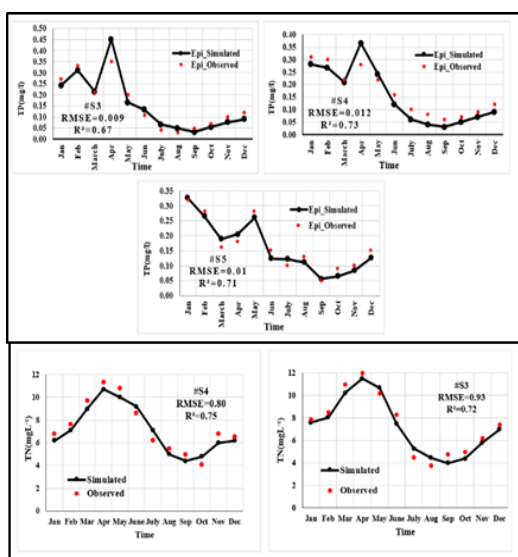
اکسیژن محلول یک شاخص مهم برای بررسی کیفیت آب می باشد. سری زمانی تغییرات اکسیژن محلول، در عمق ۲ متری از سطح آب (منطقه آفتاب)، در ایستگاه #S3 و #S5 در (شکل ۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- سری زمانی تغییرات اکسیژن محلول در ایستگاه های #S3, #S5 در عمق ۲ متری از سطح و مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی

نیروی باد، هوادهای مجدد ناشی از جریانات، تبدلات اکسیژن ناشی از فرایندهای جلبکی (اکسیژن تولید شده ناشی از فرآیندهای فتوسنتزی و همچنین اکسیژن مصرف شده در تنفس) و دما از عوامل اصلی ایجاد تغییر در مقادیر اکسیژن محلول در مخزن می باشند (۱۲). نتایج

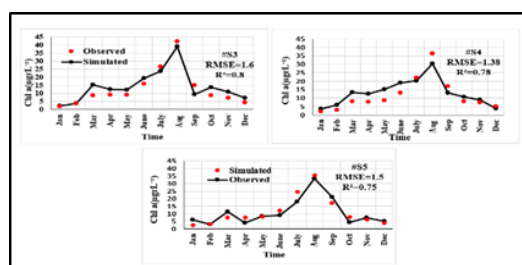
با حرکت به سمت مناطق عمیق تر و دور شدن از ناحیه آفتاب غلظت سبزینه آ به شکل چشمگیری کاهش یافته است. کاهش غلظت سبزینه آ در نتیجه افزایش عمق، به دلیل محدودیت در دسترسی به نور، امری بدیهی می باشد (۱۴). علاوه بر موارد نامبرده، مواد مغذی مانند نیتروژن کل و فسفر کل در لایه های سطحی (منطقه آفتاب) مورد نمونه برداری و ارزیابی قرار گرفته اند. (شکل ۱۰)، نتایج شبیه سازی شده تغییرات نیتروژن کل و فسفر کل را، در مخزن سد ماملو و در ایستگاه های #S3, #S4, #S5 ارائه می دهد. نتایج حاصل از صحت سنجی نیتروژن کل و فسفر کل، نشان دهنده قابل قبول بودن مقادیر شبیه سازی شده، در مقایسه با مقادیر مشاهده شده است.



شکل ۱۰- سری زمانی تغییرات نیتروژن کل و فسفر کل در ایستگاه های شماره #S3, #S4, #S5 و مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده

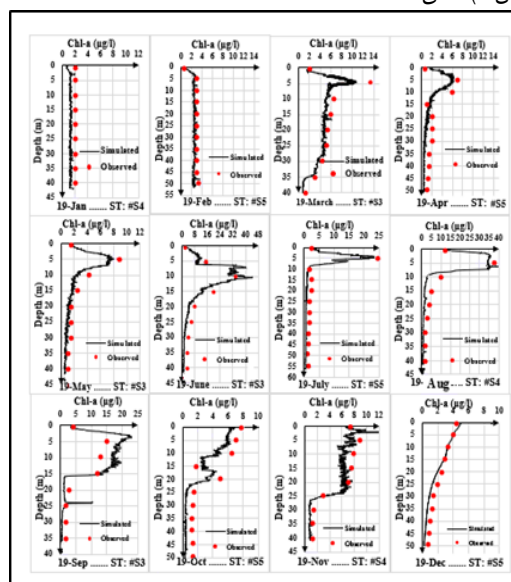
به طور کلی، تغییرات مواد مغذی در مخزن، تحت تاثیر فعالیت های بیولوژیکی داخل مخزن و همچنین بارگذاری مواد مغذی خارجی و داخلی میباشد (۱۶). همان طور که در (شکل ۸ و ۱۰) نشان داده شده است، در منطقه آفتاب تغییرات فسفر کل ارتباط معناداری با تغییرات سبزینه آ در مخزن نشان می دهد. در بررسی سری زمانی فسفر کل در هر سه ایستگاه، دو کاهش، یکی در ماه اسفند (با مقدار متوسط ۰/۲ میلیگرم بر لیتر) و دیگری در حد فاصل ماه های تیر تا شهریور (با مقدار متوسط کمتر از ۰/۰۵ میلیگرم بر لیتر) مشاهده شده است، در حالیکه، همزمان با این کاهش در ماه های نامبرده متوسط غلظت سبزینه آ روند افزایشی داشته است. در مخزن سد ماملو، بیشترین میزان فسفر کل در ایستگاه #S3 که در نزدیکترین فاصله به ورودی مخزن قرار دارد مشاهده شده است. از آنجاییکه تغییرات فسفر کل با سبزینه آ، همسویی بسیار نزدیکی را نشان می دهد، فسفر عامل محدود کننده رشد جلبک ها و کنترل کننده شکوفایی جلبکی در مخزن سد ماملو می باشد (۱۷). پایین ماندن غلظت فسفر کل در تابستان تایید کننده این گفته می باشد. از ماه شهریور تا ماه آذر، تغییرات فسفر کل روند افزایشی آهسته

سری زمانی تغییرات غلظت سبزینه آ در منطقه آفتاب، در سه ایستگاه نمونه برداری #S3, #S4, #S5 در مخزن سد ماملو در (شکل ۸) نشان داده شده است. روند تغییرات سبزینه آ در سطح مخزن دو رشد حداکثری، یکی در ماه اسفند (متوسط ۱۴/۶ میکروگرم بر لیتر) و دیگری در ماه مرداد (متوسط ۳۵/۶ میکروگرم بر لیتر) را نشان داده است. پس از آن از ماه شهریور تا ماه آذر غلظت سبزینه آ کاهش یافته است، به طوریکه در ماه آذر غلظت سبزینه آ در هر سه ایستگاه مقدار متوسط ۵ میکروگرم بر لیتر داشته است. به طور کلی، می توان مشاهده کرد که الگوی تغییرات سبزینه آ در منطقه آفتاب، الگویی شبیه به الگوی تغییرات دمای آب داشته است (۱۴).



شکل ۸- سری زمانی تغییرات سبزینه آ در منطقه آفتاب، در ایستگاه های #S3, #S4, #S5 و مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده

در مخزن سد ماملو حداکثر رشد جلبک ها در فصل تابستان و همزمان با بالا رفتن دما مشاهده شده است و بر عکس آن، با کاهش دما در پاییز و زمستان میزان سبزینه آ به شکل محسوسی کاهش یافته است. تغییرات عمقی غلظت سبزینه آ در ایستگاه های #S3, #S4, #S5 در (شکل ۹) نشان داده شده است.



شکل ۹- تغییرات سبزینه آ در عمق مخزن سد ماملو در ایستگاه های #S3, #S4, #S5 و مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده در سال آبی ۲۰۱۹

لایه بندی حرارتی و کاهش میزان اکسیژن محلول در زیر لایه نشان می دهد. در ماه های مختلف تابستان که اختلاف دمای آب بین لایه های سطحی و عمیق بیشترین مقدار را دارد، غلظت اکسیژن محلول در زیر لایه به حداقل مقدار خود (کمتر از ۲ میلیگرم بر لیتر) رسید. بیشترین مقدار اکسیژن محلول در لایه سطحی مربوط به ماه اسفند (متوسط ۱۲ میلیگرم بر لیتر) و کمترین مقدار آن مربوط به ماه آذر (کمتر از ۷ میلیگرم بر لیتر) می باشد. تغییرات دما و مواد مغذی، به عنوان عوامل موثر تاثیر گذار در کنترل رشد توده های جلبک در مخزن سد ماملو معرفی شده اند. از آنجایی که تغییرات فسفر کل در طول سال، با تغییرات سبزینه آ در مخزن سد ماملو وابستگی معنا داری را نشان داد، فسفر به عنوان عامل اصلی محدود کننده رشد جلبک ها در مخزن شناخته شد. برخلاف فسفر، تغییرات نیتروژن کل در مخزن در طول ماه های مختلف سال با تغییرات جریانات ورودی به مخزن در فصول مختلف ارتباط معنا داری را نشان داد. این نتیجه گیری حاکی از آن است که تغییرات نیتروژن کل در مخزن سد ماملو توسط بارهای خارجی ورودی به مخزن کنترل می شود.

پیشنهادها

سد ماملو به دلیل تأمین بخشی از آب آشامیدنی شهر تهران و همچنین فراهم سازی آب کشاورزی دشت ورامین، از اهمیت استراتژیک بسیار بالایی برخوردار می باشد. هدف از این تحقیق، بررسی وضعیت کیفیت و لایه بندی حرارتی مخزن سد ماملو، به کمک مدل دینامیکی زیست محیطی سه بُعدی EFDC می باشد. در این مطالعه، پس از ارزیابی رژیم حرارتی و پارامترهای کیفی، به بررسی ارتباط میان تغییرات پارامترهای کیفی و تغییر فراوانی توده های جلبکی در مخزن سد ماملو پرداخته شده است. برخی از شواهد نشان دهنده آن است که غلظت سبزینه آ در فصل تابستان از ۳۸/۵ میکروگرم بر لیتر فراتر رفته است، که این امر نشان دهنده وجود پتانسیل وقوع «شکوفایی جلبکی» در مخزن سد ماملو می باشد. از آنجائیکه رشد جلبک ها توسط بارگذاری خارجی کنترل می گردد، مدیریت حوضه آبریز ماملو از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. کنترل کیفیت آب در حوضه آبریز، از طریق کاهش ورود مواد آلی و انحراف پساب های شهری و صنعتی ورودی به رودخانه جاجرود، می تواند به عنوان راهکاری علاج بخش در بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه های آتی تصفیه آب مورد توجه قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تأمین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: هدی نادری، امیر حسین جاوید.

ای را نشان داده است، که این به دلیل متابولیسم جلبکها، شکار و تجزیه مواد آلی می باشد، با این وجود، مقدار فسفر کل در پاییز به مقدار نخستین خود رسیده است دقیقاً در زمانی که مقدار سبزینه آ در حداقل مقدار خود می باشد (۱۸). همانطور که در (شکل ۱۰) نشان داده شده است، نیتروژن کل، به عنوان عامل موثر دیگر در رشد جلبک ها با تغییرات سبزینه آ هم سویی خاصی نشان نمی دهد، در مقابل، بسیار همسو با تغییرات دبی ورودی به مخزن تغییر کرده است.

همانطور که در منحنی تغییرات دبی ورودی به مخزن ماملو در سال آبی ۲۰۱۹ در (شکل ۳) نشان داده شده است. میزان بار ورودی به مخزن از ماه آبان شروع به افزایش می کند، و در ماه های اسفند و فروردین (متوسط ۷ متر مکعب بر ثانیه) به حداکثر مقدار می رسد. با شروع خرداد ماه، بار ورودی روند کاهشی به خود گرفته، و در ماه مرداد (کمتر از ۰/۹ متر مکعب بر ثانیه) به حداقل مقدار خود رسیده است. بررسی تغییرات ماهانه غلظت نیتروژن کل در هر دو ایستگاه #S4 و #S3 بیانگر غلظت حداکثری نیتروژن کل در ماه فروردین (بالا تر از ۱۰ میلیگرم بر لیتر) و غلظت حداقلی آن در ماه شهریور (حدود ۴ میلیگرم بر لیتر) می باشد. نتایج فوق نشان دهنده آن است که میان تغییرات غلظت نیتروژن در ماه های مختلف سال و تغییرات دبی ورودی به مخزن رابطه معنا داری وجود دارد، به طوریکه با افزایش میزان دبی ورودی میزان نیتروژن کل نیز افزایش یافته است. به همین دلیل میتوان چنین بیان نمود که میزان تغییرات غلظت نیتروژن کل در مخزن ماملو، تا حدود زیادی در کنترل منابع خارجی ورودی به مخزن می باشد. به طور کلی غنی بودن مخزن از لحاظ غلظت نیتروژن عامل اصلی به وجود آمدن رابطه واضح میان تولیدات سبزینه آ و تغییرات غلظت فسفر کل می باشد، و به همین دلیل فسفر به عنوان عامل محدود کننده رشد جلبک ها در مخزن ماملو معرفی گردیده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق به ارزیابی وضعیت لایه بندی حرارتی و شبیه سازی پارامترهای کیفی در مخزن سد ماملو پرداخته شده است. برای رسیدن به این هدف از مدل دینامیکی زیست محیطی سه بُعدی EFDC استفاده شد. به منظور واسنجی و صحت سنجی پارامترهای کیفی در مدل، نمونه برداری از شش نقطه از مخزن واقع شده در قسمت های ورودی، خروجی و بدنه مخزن، در سال ۲۰۱۹ انجام گرفت. پارامترهای خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی (R2)، برای مقایسه تمامی داده های اندازه گیری و شبیه سازی شده، مقادیر قابل قبولی را نشان داد. نتایج بدست آمده از مدل نامبرده، نشان دهنده تغییرات مقادیر فصلی سبزینه آ، اکسیژن محلول، دما، فسفر کل و نیتروژن کل در طول یکسال می باشد. اطلاعات به دست آمده از بررسی تغییرات عمقی دما در ماه های مختلف سال، نشان دهنده وجود لایه بندی حرارتی در بیشتر ماه های سال می باشد. لایه بندی حرارتی، در مرداد ماه به حداکثر شدت خود رسیده و در دی ماه به صورت کامل شکسته می شود. در مرداد ماه اختلاف دما در لایه های سطحی و عمقی آب به ۱۶/۷ درجه سانتیگراد می رسد. بررسی تغییرات مکانی و زمانی اکسیژن محلول در مخزن سد ماملو، ارتباط نزدیکی را میان شدت

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

روش شناسی و تحلیل داده ها: هدی نادری، امیر حسین جاوید، سید مهدی برقی، محسن اسلامی زاده.
نظارت و نگارش نهایی: امیر حسین جاوید، هدی نادری.

Reference

- 1 Qiu J, Shen Z, Chen L, Hou X. Quantifying effects of conservation practices on non-point source pollution in the Miyun Reservoir Watershed , China. 2019;
- 2 Robert G Wetzel. Limnology Lake and River Ecosystem.
3. Mohseni-Bandpei A, Motesaddi S, Eslamizadeh M, Rafiee M, Nasserri M, Montazeri Namin M, et al. Water quality assessment of the most important dam (Latyan dam) in Tehran, Iran. Environ Sci Pollut Res. 2018 Oct 1;25(29):29227-39.
- 4 Sabeti R JH. Simulation of thermal stratification and salinity using the CE-QUAL W2 model(case study: mamloo dam). In.
5. Jeong S, Yeon K, Hur Y, Oh K. Salinity intrusion characteristics analysis using EFDC model in the downstream of Geum River. J Environ Sci. 2010;22(6):934-9.
- 6 Jin KR, Hamrick JH, Tisdale T. Application of Three-Dimensional Hydrodynamic Model for Lake Okeechobee. Vol. 126, Journal of Hydraulic Engineering. 2000.
- 7 Yu L, Gan J. Mitigation of Eutrophication and Hypoxia through Oyster Aquaculture: An Ecosystem Model Evaluation off the Pearl River Estuary. Environ Sci Technol. 2021 Apr 20;55(8):5506-14.
8. Chen L, Yang Z, Liu H. Numerical simulations of spread characteristics of toxic cyanide in the danjiangkou reservoir in china under the effects of dam cooperation. Math Probl Eng. 2014;2014.
- 9 Zhao G, Gao X, Zhang C, Sang G. The effects of turbulence on phytoplankton and implications for energy transfer with an integrated water quality-ecosystem model in a shallow lake. J Environ Manage. 2020 Feb 15;256.
- 10 Zhang CX, You XY. Application of EFDC model to grading the eutrophic state of reservoir: Case study in tianjin Erwangzhuang reservoir, China. Eng Appl Comput Fluid Mech. 2017;11(1):111-26.
- 11 Gao Q, He G, Fang H, Bai S, Huang L. Numerical simulation of water age and its potential effects on the water quality in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir. J Hydrol. 2018 Nov 1;566:484-99.
- 12 Matthews DA, Effler SW. Assessment of long-term trends in the oxygen resources of a recovering urban lake, onondaga lake, New York. Lake Reserv Manag. 2006;22(1):19-32.
- 13 Azari AM, Mohebbi F, Asem A. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Bukan dam reservoir (northwest Iran). Turk J Botany. 2011;35(1):77-84.
- 14 Tang C, He C, Li Y, Acharya K. Extended Abstract Introduction Iran's dam reservoirs are confronted with a potential threat as human activities have been continuously influencing the physical and chemical characteristics of water bodies. Specific attention has been paid to the pattern s. J Hydrol. 2021 Feb 1;593.
- 15 Wang Y, Jiang Y, Liao W, Gao P, Huang X, Wang H, et al. 3-D hydro-environmental simulation of Miyun reservoir, Beijin. J Hydro-Environment Res. 2014 Dec 1;8(4):383-95.
- 16 Bai H, Chen Y, Wang D, Zou R, Zhang H, Ye R, et al. Developing an EFDC and numerical source-apportionment model for nitrogen and phosphorus contribution analysis in a Lake Basin.

- Water (Switzerland). 2018 Sep 23;10(10).
- 17 Lindim C, Pinho JL, Vieira JMP. Analysis of spatial and temporal patterns in a large reservoir using water quality and hydrodynamic modeling. Ecol Modell. 2011 Jul 24;222(14):2485-94.
- 18 De Ceballos BSO, Ko È Nig A, De Oliveira JF. DAM RESERVOIR EUTROPHICATION: A SIMPLIFIED TECHNIQUE FOR A FAST DIAGNOSIS OF ENVIRONMENTAL

DEGRADATION OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION.