تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نوزدهم، شماره ۴، پاییز ۱۴۰۲
Volume 19, No. 4, Fall 2023 (IR-WRR)
۳۴-۴۷

ارزیابی آلودگی نیترات و فسفات تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP

مریم میرهاشمی[۱]، علی شاهنظری[۲*] و کامران نصیر احمدی[۳]

چکیده

مدل‌سازی کیفیت آب درک بهتر ما از فرآیندهای در حال وقوع در یک پیکره آبی و برنامه‌های حفاظتی برای رسیدگی به آن‌ها را تسهیل می‌کند. مدل WASP در این مطالعه برای ارزیابی مقدار آلودگی نیترات و فسفات تالاب میانکاله استفاده شد. محیط تالاب به ۷۶ بخش با جزئیات مورفولوژیکی، محیطی و جریان مربوطه به عنوان ورودی مدل تقسیم شد. غلظت ماهانه پارامترهای نیترات و فسفات طی ۸ دوره نمونه‌برداری (۹۸-۱۳۹۷) از آب تالاب و در ۶ ایستگاه دهنه‌چپقلی، میان‌قلعه، بندر گز، قره‌سو، اسماعیل‌سای و گلوگاه به‌عنوان ورودی مدل معرفی شدند. واسنجی و صحت‌سنجی مدل به ترتیب با استفاده از ۴ دوره آماری اولیه و ثانویه انجام شد. ارزیابی عملکرد مدل براساس سه شاخص R^2، RMSE و CP نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل در شبیه‌سازی پارامترهای مورد بررسی بود. غلظت نیترات شبیه‌سازی شده در همه ایستگاه‌ها در محدوده مجاز (۳۲/۴۲-۱/۸۱) قرار گرفت. اما غلظت فسفات از محدوده مجاز (۰/۰۷۰-۰/۰۱۶) در همه ایستگاه‌ها بیشتر بوده است که نشان‌دهنده زوال کیفیت آب تالاب می‌باشد. بنابراین مدیریت صحیح تخلیه پساب مراکز مختلف، پایش کمی و کیفی آب تالاب، استفاده از کودهای ارگانیک در اراضی کشاورزی و مزارع آبزی‌پروری می‌تواند موجب کنترل و عدم تشدید میزان آلودگی فسفات و نیترات در تالاب شود.

کلمات کلیدی: آلاینده، اکوسیستم آبی، پساب، شبیه‌سازی، کیفیت آب، مدل‌سازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۳/۲۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳- عضو هیئت علمی دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، مازندران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۲ امکانپذیر است.

Assessing Nitrate and Phosphate Pollution in Miankaleh Wetland Using WASP Model

M. Mirhashmi [1], A. Shahnazari [2], and K. Nasir Ahmadi [3]*

Abstract

Water quality modeling facilitates a better understanding of the processes occurring in a water body as well as the conservation programs to address them. The WASP model was used in this study to evaluate the amount of nitrate and phosphate pollution in Miankala Wetland. The wetland environment was divided into 76 sections with morphological, environmental and flow details as input to the model. The monthly concentration of nitrate and phosphate parameters during 8 sampling periods (2018-2019) from the lagoon water and 6 stations of Dahaneh-ye Chopoghli, Miyan Ghaleh, Bandar-e-Gaz, Gharehsu, Ismaeilsay and Galogah were introduced as the input to the model. Calibration and validation of the model were done using 4 primary and secondary statistical periods, respectively. The performance evaluation of the model based on the three indices of R2, RMSE and CP showed the acceptable performance of the model in simulating the studied parameters. The simulated nitrate concentration in all stations was within the permissible range (1.81-32.42). The concentration of phosphate was on the other hand higher than the allowed range (0.016-0.070) in all stations, which indicates the deterioration of water quality in the lagoon. Therefore, the correct management of wastewater discharge from different centers, quantitative and qualitative monitoring of the Wetland water, and the use of organic fertilizers in agricultural lands and aquaculture farms can control and prevent the increase of phosphate and nitrate pollution in the Wetland.

Keywords: Modeling, Pollutant, Water Ecosystem, Wastewater, Simulation, Water Quality.

Received: February 19, 2023
Accepted: June 11, 2023

1- M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: aliponh@yahoo.com
3- Member of the faculty of Mazandaran University of Science and Technology, Behshahr, Mazandaran, Iran.
*- Corresponding author
Doi: 10.22034/IWRR.2023.172474

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

در حالی که منابع آب سالم پیش‌نیاز اساسی برای حفظ محیط‌زیست و توسعه اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی هستند، افزایش تقاضای آب، بالارفتن سطح زندگی و گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب وضعیت نامساعد زیست‌محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت آن را دشوار و پیچیده کرده است و به‌دنبال آن مخاطرات بهداشتی برای افراد وابسته به این منابع آب را در پی داشته است (Singh et al., 2017). آب‌های سطحی شامل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و سایر پهنه‌های آبی از اولین محیط‌های واسط زیست‌محیطی متأثر از مشکلات ناشی از آلودگی‌های شیمیایی هستند. در این میان، تالاب‌ها یکی از این منابع آبی و اکوسیستمی با اهمیت به شمار می‌روند. امروزه تغییرات اقلیمی، کمبود بارندگی، فعالیت‌های انسانی و سوء مدیریت سبب کاهش حجم آب تالاب‌ها شده و خشک شدن فصلی و یا دایمی تالاب‌ها را به دنبال داشته است (Maanan et al., 2015).

در دهه‌های اخیر گسترش فعالیت‌های صنعتی، تجاری و کشاورزی در حاشیه تالاب‌ها موجب زوال کیفیت آب آن‌ها شده است. تغییر کیفیت آب این اکوسیستم‌ها به آرامی صورت می‌پذیرد که این امر به تدریج سبب بروز پدیده‌هایی نظیر تغذیه‌گرایی در این اکوسیستم‌ها می‌شود. در بین آلاینده‌های موجود ترکیبات فسفات و نیترات بیش‌ترین سهم از آلودگی منابع آب به‌خصوص دریاچه‌ها و تالاب‌ها را به خود اختصاص داده‌اند (Chung et al., 2016). بنابراین برنامه‌ریزی و مدیریت کیفیت منابع آب امری ضروری برای حفاظت از اکوسیستم‌های آبی به شمار می‌رود. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها است. هدف اصلی برنامه‌های پایش و نظارت کیفیت آب‌های سطحی، در حالت کلی جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از وضعیت کیفی موجود منابع آب سطحی به‌منظور کاربرد در برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب برای مصارف گوناگون و همچنین تدوین برنامه‌های کلان مدیریت حوضه‌های آبریز و نیز برنامه‌های مدیریت زیست‌محیطی و کنترل آلودگی‌ها است (Samarghandi et al., 2013).

مدل‌های کیفی آب ابزاری مؤثر در تخمین و پیش‌بینی انتقال حجم آلاینده‌ها در محیط‌های آبی هستند. این مدل‌ها تا حدودی می‌توانند سبب کاهش هزینه‌ها در آنالیزهای شیمیایی شوند (Zhang et al., 2012). مدل‌های کیفی متعددی از جمله CE-QUAL، WQAM ، Qual 2e / Qual 2k، WASP، HEC-5Q، RIV1 و غیره وجود دارند که توسط متخصصین و کارشناسان مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساختار و اصول کار این مدل‌ها همسان بوده و تفاوت اصلی بین آن‌ها در تعداد پارامترهای کیفی آب در برگیرنده و تعداد فرآیندهای بیوشیمیایی مطرح شده، است (Wang et al., 2018). مدل WASP امکان شبیه‌سازی دو بعدی و سه بعدی منابع آب را دارا است و به راحتی می‌تواند در شبیه‌سازی هیدرولیکی و کیفی مخازن، رودخانه‌ها و تالاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این مدل قابلیت شبیه‌سازی مجموعه‌ای متنوع از متغیرهای کیفی را دارا است و با درنظر گرفتن ضرایب تبدیل در واکنش‌های وابسته به زمان، جریان‌های انتقالی، بار آلودگی و شرایط مرزی قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی فرآیندهای کیفی حاکم بر منابع آبی مختلف را دارد (Kannel, 2011). مطالعات گسترده‌ای در مناطق مختلف برای ارزیابی کیفی منابع آب با استفاده از مدل WASP صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Yannopoulos and Kaloyannis (2008)، در مطالعه به‌منظور برآورد اثرات آلاینده‌ها بر کیفیت آب دریاچه، از مدل ریاضی WASP 7 استفاده نمودند. کالیبراسیون و تأیید این مدل بر اساس اندازه‌گیری‌های کیفیت آب در دوره زمانی ۹۹-۱۹۹۸ انجام شد. پارامترهای کیفیت آب که مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از: دما، DO، BOD، NH4، NO3 و PO4. نتایج نشان داد که مدل WASP 7 می‌تواند برای ارزیابی تغییرات کیفی آب در آینده در صورت ادامه آلودگی استفاده شود. Xu et al. (2013)، در مطالعه‌ای با هدف بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه Gehu از مدل WASP استفاده نمودند. در این مطالعه متغیرهای کیفی COD، NH4-N، TN و TP طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۹ مورد ارزیابی و شبیه‌سازی قرار گرفتند. کالیبراسیون و تأیید مدل نیز براساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته طی این دوره آماری صورت گرفت. ارزیابی مدل با استفاده از شاخص RMSE انجام شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میانگین خطای نسبی کوچک است و روند تغییر هر شاخص ثابت است. به طور کلی نتایج حاکی از آن است که مدل WASP می‌تواند برای ارزیابی تغییرات کیفی آب در آینده ابزار مؤثری باشد. از طرفی به‌منظور پیش‌بینی‌پذیری شبیه‌سازی‌ها بایستی اندازه‌گیری‌های بیشتری صورت پذیرد.

Mamani Larico and Zúñiga Medina (2019)، در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن ال-پانیه در حوضه چیلی منطقه آرکیپا با استفاده از مدل WASP پرداختند. بر این اساس، مخزن به ۱۱ بخش تقسیم شد که پارامترهای کیفیت آب شبیه‌سازی شده،

آمونیاک، نیترات، فسفات، فسفات کل، اکسیژن محلول، دمای آب و کلروفیل-a بود. شبیه‌سازی‌ها به مدت ۳ سال از اکتبر ۲۰۱۵ تا اکتبر ۲۰۱۸ در یک وضعیت ثابت قرار گرفتند و متعاقباً فعالیت آبزی‌پروری و شار اعماق دریا را به‌عنوان منابع غذایی معنی‌دار مؤثر بر جامعه فیتوپلانکتون‌ها تعیین کردند. نتایج مطالعه حاضر شواهد لازم را مبنی بر نیاز به کمی‌سازی جامع هر دو منبع در تحقیقات آینده ارائه می‌دهد که به تصمیم گیرندگان در شناسایی بهترین گزینه مدیریتی که می‌تواند به تضمین توسعه پایدار فعالیت‌های انسانی درگیر کمک کند. Ziemińska-Stolarska and Kempa (2021)، در مطالعه‌ای به بررسی پارامترهای نیترات، فسفات و فیتوپلانکتون‌ها در مخزن سد سولجووا لهستان با استفاده از مدل WASP پرداختند. داده‌های مشاهده‌ای لازم برای ساخت مدل از دو کاوشگر چندپارامتری که در دو مکان در مخزن سولجوو غوطه‌ور شده بودند به دست آمد. جمع‌آوری داده‌ها برای کالیبراسیون و تأیید مدل هیدرودینامیکی طی ۶ دوره نمونه‌برداری ماهانه در سال ۲۰۱۵ صورت گرفت. کل خطای بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده ٪ ۱۵-۱۰ برآورد شد. نتایج نشان داد که سناریوهای پیشنهادی برای کاهش مواد مغذی شامل ٪۵۰ کاهش فسفات و نیترات از مناطق کشاورزی و همچنین ٪۵۰ کاهش تخلیه از مخازن مرکزی به، کاهش قابل توجه غلظت مواد مغذی در آب مخزن منجر می‌شود. از طرفی با توجه به میزان خطای بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی می‌توان بیان نمود که مدل WASP می‌تواند عملکرد قابل قبولی برای ارزیابی کیفیت آب مخزن با دوره‌های آماری کوتاه مدت ارائه دهد.

تالاب میانکاله یکی از تالاب‌های بین‌المللی شناخته شده در کشور به‌شمار می‌رود که از نظر زیستگاه حیات وحش و تأثیراتی که بر وضعیت اجتماعی و اقتصادی مردم منطقه می‌گذارد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی از یک‌سو منجر به کاهش سطح آب تالاب شده و از طرف دیگر توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در محدوده تالاب و تخلیه پساب این فعالیت‌ها در محیط تالاب منجر به کاهش کیفیت آب آن شده است. با توجه به اینکه منبع اصلی ورود نیترات و فسفات نیز فاضلاب‌های بخش‌های مختلف به‌خصوص اراضی کشاورزی است لذا بیش‌ترین نوع آلودگی ایجاده شده در محیط‌های آبی نیز ترکیبات نیترات و فسفات هستند. بنابراین درک درست وضعیت کیفی این تالاب می‌تواند برنامه‌ریزی‌های مدیریتی را با نگاه جامع‌تر و مؤثرتری برای حفاظت از این اکوسیستم با ارزش تدوین نماید. تاکنون بیشتر مطالعات صورت گرفته با مدل‌های ریاضی کیفی در حوضه رودخانه‌ها صورت پذیرفته است. علت این امر حجم اطلاعات مورد نیاز برای انجام شبیه‌سازی و پیش‌بینی سرنوشت آلاینده‌ها در محیط‌های آبی است. بنابراین برای پیش‌بینی سرنوشت آلاینده‌ها در محیط‌های تالابی و با توجه به دوره‌های آماری محدود در این اکوسیستم‌ها استفاده از مدل‌هایی نظیر WASP که براساس موارد ذکر شده و مطالعات صورت گرفته می‌تواند عملکرد قابل قبولی را حتی در شرایط اطلاعات محدود ارائه دهد، نوآوری مناسبی در زمینه شبیه‌سازی کیفیت آب محیط‌های تالابی است. در همین راستا هدف پژوهش حاضر برآورد مقدار آلودگی نیترات و فسفات موجود در تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP تعیین شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ذخیره‌گاه زیست‌کره میانکاله با مساحتی در حدود ۶۸۸ کیلومتر مربع در منتهی‌الیه جنوب شرقی دریای خزر از شهرستان نکا به‌طرف شرق پیشروی داشته و در مختصات جغرافیایی "۵۰ '۲۴ °۵۳ تا "۲۰ '۱ °۵۴ طول شرقی و "۲۴ '۴۹ °۳۶ تا "۴۵ '۵۶ °۳۶ عرض شمالی با طول ۴۰ کیلومتر واقع شده است و تقریبا معادل ۲/۸۵ درصد مساحت استان مازندران را تشکیل می‌دهد. که بیش از ۴۶/۷۳ درصد آن را بوم سازگان‌های آبی خلیج میانکاله تشکیل می‌دهد. رودخانه‌های دائمی که به تالاب می‌ریزند شامل دو رودخانه قره سو و گز هستند. این تالاب عرصه‌ای جلگه‌ای، فاقد شیب، جهت و ارتفاع است. میانگین بارندگی سالیانه آن ۷۱۷ میلی‌متر است و در اقلیم گرمِ مرطوب تا معتدل قرار گرفته‌است. کاربری‌های اراضی حاشیه تالاب شامل: تأسیسات و ابنیه صید و صیادی و شیلات، اماکن شهری، اراضی کشاورزی، اماکن توریستی و اماکن تجاری و صنعتی است (Yahyai et al., 2021). موقعیت و محدوده تالاب میانکاله و نقشه کاربری اراضی حاشیه تالاب به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

۲-۲- مدل WASP

مدل WASPیک برنامه مدل‌سازی پویا برای سیستم‌های آبی است و برای کاربر امکان ساختن و بررسی پیکره آبی در یک، دو و سه بعد را برای انواع مختلف آلودگی ورودی فراهم می‌نماید. معادله‌ای که به‌وسیله مدل WASP حل می‌شود، بر اساس اصل بقا جرم است. فرایندهای کیفی آب در مدل WASP به‌صورت سینتیک در زیربرنامه‌های خاصی دیده شده‌اند و می‌توان از زیربرنامه‌های موجود در مدل استفاده کرد و یا بسته به نیاز، برنامه خاصی برای آن نوشت و

Fig. 1- Location of the Miankaleh Wetland
شکل ۱- موقعیت و محدوده تالاب میانکاله

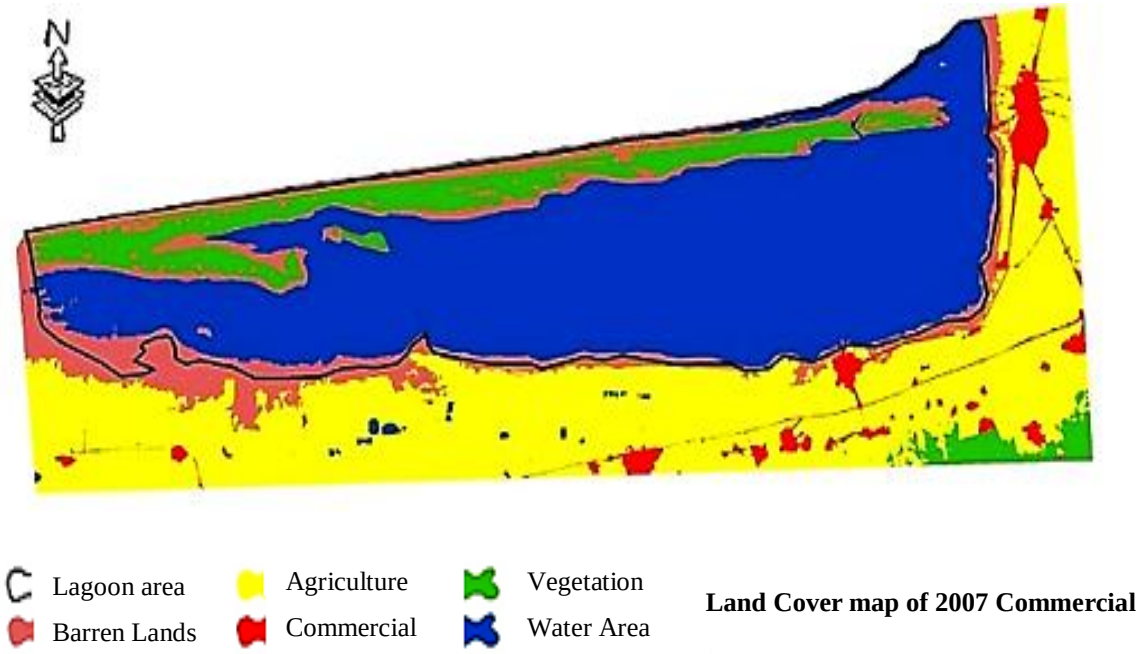

Fig. 2- Land use around the Miankaleh Wetland (Dashti et al., 2019)
شکل ۲- کاربری اراضی حاشیه تالاب میانکاله (Dashti et al., 2019)

به آن اضافه کرد. این مدل شامل دو زیرمدل اصلی است. زیر مدل TOXIبرای شبیه‌سازی آلاینده‌های سمی مانند مواد شیمیایی آلی، فلزات و رسوبات و زیر مدلEUTRO برای شبیه‌سازی آلاینده‌های متعارف مانند اکسیزن محلول، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز، مواد مغذی و یوتریفیکایسون بکار می‌روند (Hasanpour Nurdehi et al., 2020). در برنامه WASP از دیدگاه لاگرانژی، یعنی دنبال کردن یک ذره آب از نقطه ورود به‌صورت مکانی و زمانی تا نقطه انتها به‌صورتی که میزان جرم در مکان و زمان ثابت باقی بماند، استفاده

شده است. به‌منظور حصول محاسبات تعادل جرم، کاربر بایستی داده‌های ورودی را با ویژگی‌هایی که شامل شبیه‌سازی و کنترل خروجی، قطعه‌بندی مدل، انتقال به‌صورت جابجایی یا پخشیدگی، غلظت‌های مرزی، سرچشمه بارهای نقطه‌ای و پخشی، پارامترهای سینماتیکی، ضرایب و توابع زمانی و شرایط اولیه را مشخص سازد. این داده‌های ورودی به همراه معادله عمومی توازن جرم (معادله ۱) مدل WASP و معادلات شیمیایی سینماتیکی خاص مجموعه‌ای از معادلات آلودگی را تشکیل می‌دهند. این معادلات در مدل WASP حل شده و فرایند شبیه‌سازی را به‌صورت زمانی انجام می‌دهند (Soleimani Rad et al., 2015).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(UxC) - \frac{\partial}{\partial y}(UyC)\frac{\partial}{\partial z}(UzC) + \frac{\partial}{\partial x}\left(Ex\frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(Ey\frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(Ez\frac{\partial C}{\partial z}\right) + SL + SB + SK \quad (۱)$$

که در آن؛ متغیر C بیانگر غلظت اجزاء کیفی (گرم در لیتر) یا (گرم در متر مکعب)، T زمان (روز)، Ux، Uy، Uz سرعت‌های طولی، جانبی و عمودی (متر در روز)، Ex، Ey، Ez ضرایب پخشیدگی در جهات طولی، جانبی و عمودی (متر مربع در روز)، SL سرعت بارهای آلودگی نقطه‌ای و پخشی (گرم بر متر مکعب در روز)، SB سرعت بارهای آلودگی مرزی گرم بر متر مکعب در روز) شامل بالادست، پایین‌دست، لایه‌های زیرین و سطحی، SK مجموع انتقال جرم به داخل یا خارج سیستم (گرم بر متر مکعب در روز) است.

۲-۳- آماده‌سازی مدل

گام اول در شبیه‌سازی، تعیین نوع مدل شبیه‌سازی (TOXI یا EUTRO) برای انجام فرایند مدل‌سازی می‌باشد. با توجه به نوع آلودگی‌های مورد نظر از مدل EUTRO برای انجام شبیه‌سازی استفاده شد. پس از انتخاب مدل به‌منظور تعریف مشخصات منبع آب برای مدل، محیط تالاب براساس فاصله بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری (جدول (۱)) به ۷۶ قطعه تقسیم‌بندی شد. سپس اطلاعات هر قطعه شامل طول، عرض، عمق، حجم، شیب، ضریب زبری، مقادیر پارامترهای کیفی مرزی و ضریب پخشیدگی (معادله ۲) به‌صورت تقریبی محاسبه و اعمال شد. همچنین، اطلاعات کمی و کیفی دو رودخانه قره‌سو و گز به‌صورت بار آلاینده متمرکز به مدل معرفی شد.

$$D = 0.011\frac{U^2B^2}{HU^*} \quad (۲)$$

$$U^* = \sqrt{gHS} \quad (۳)$$

که در آن‌ها: D ضریب پخشیدگی بر حسب مترمربع بر ثانیه، U سرعت متوسط جریان بر حسب متر بر ثانیه، B عرض کف برحسب متر، H عمق متوسط جریان بر حسب متر، U^* سرعت برشی بر حسب متر بر ثانیه و S شیب متوسط هستند.

سری‌های زمانی دمای آب، دمای هوا، نور، سرعت باد، سرعت جریان و تابش خورشیدی روزانه ثبت شده از هر دوره نمونه‌برداری در مرحله بعدی به مدل معرفی شدند. در مرحله بعدی مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای نیترات و فسفات که طی ۶ فصل (۴ فصل در سال ۹۷ و ۲ فصل تابستان و بهار در سال ۹۸) و ۸ دوره (تقریباً ۲ ماه) نمونه‌برداری از آب تالاب جمع‌آوری شده بودند، به منظور انجام فرایند شبیه‌سازی وارد مدل شدند. داده‌های استفاده شده در این بخش از اداره کل حفاظت محیط‌زیست مازندران دریافت شده‌اند. موقعیت و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۲ و شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۴ قطعه‌بندی تالاب را نشان می‌دهد. فلش‌های موجود در شکل نشان‌دهنده ورودی‌های تالاب میانکاله شامل رودخانه گز، قره‌سو، دهنه‌چپقلی و کانال خوزینی است. پس از تکمیل اطلاعات ورودی شبیه‌سازی با زیر مدل Eutro که بخش مواد مغذی را شبیه‌سازی می‌کند انجام و تحلیل حساسیت به‌منظور تعیین پارامترهای حساس اثر گذار بر شبیه‌سازی مدل و انتخاب ضریب واسنجی بر روی مدل انجام شد. که در ادامه جزئیات تحلیل حساسیت و واسنجی و صحت‌سنجی مدل ارائه خواهد شد.

Table 1- Distance of sampling stations from each other (m)

جدول ۱- فاصله ایستگاه‌های نمونه برداری از یکدیگر (متر)

stations	Miyan ghaleh	Gharehsu	Galogah	Ismaeilsay	Dahane-ye-chopoghli	Bandar-e-Gaz
Miyan Ghaleh						
Gharehsu	19102					
Galogah	81252	21522				
Ismaeilsay	17168	35518	14790			
Dahane-ye-Chopoghli	20606	9913	26129	37746		
Bandar-e-Gaz	13912	8751	13754	28442	37746	

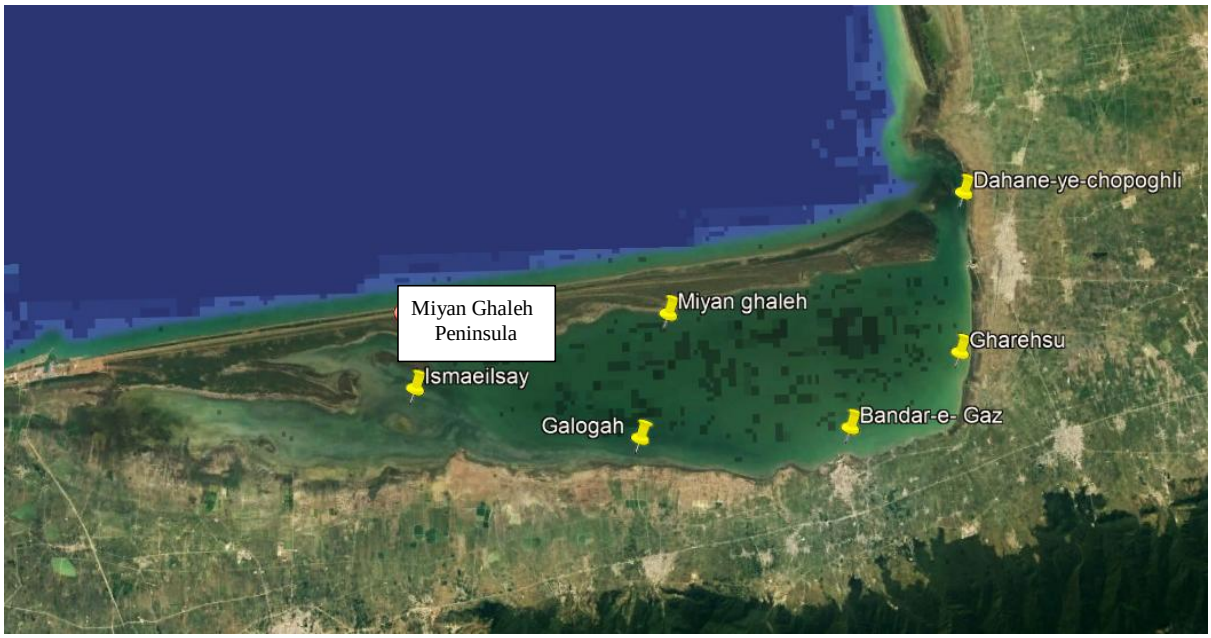

Fig. 3- Location of sampling stations

شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌بردار

Table 2- Geographical coordinates of sampling stations in Miankaleh Wetland

جدول ۲- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب میانکاله

Row	Station Name	Geographical Location	
1	Galogah	36 ° 47' 40"	53 ° 47' 48"
2	Bandar-e- Gaz	36 ° 47' 49"	53 ° 57' 00"
3	Gharehsu	36 ° 50' 20"	54 ° 01' 54"
4	Dahane-ye-Chopoghli	36 ° 55' 55"	54 ° 02' 17"
5	Miyan Ghaleh	36 ° 51' 59"	53 °49' 11"
6	Ismaeilsay	36 ° 49' 37"	53 ° 38' 01"

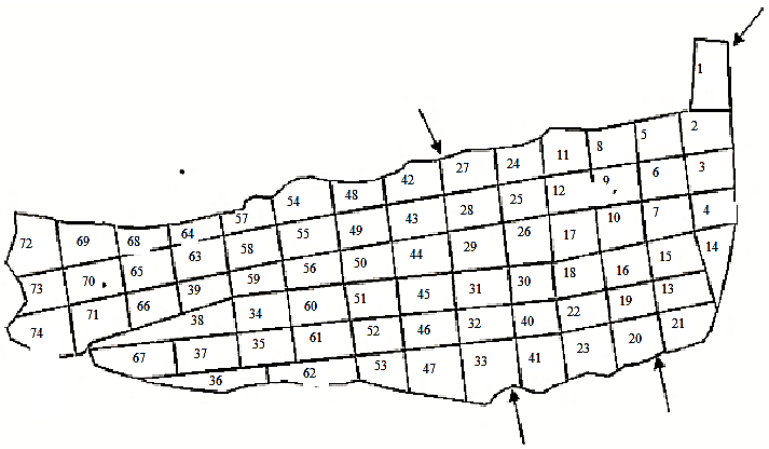

Fig. 4- A diagram of the segmentation of the Wetland environment

شکل ۴- شمایی از قطعه‌بندی محیط تالاب

۲-۴- آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت فرآیندی برای تعیین مقدار تغییر در خروجی‌های مدل براساس تغییرات ایجاد شده در پارامترهای ورودی مدل است. آنالیز حساسیت با هدف تعیین پارامترهای اساسی و دقت مورد نیاز در واسنجی مدل انجام می‌پذیرد. ضرایب ورودی برای انجام آنالیز حساسیت به سه روش ۱) محاسبه‌شده از طریق روابط و اطلاعات، ۲) برآورد شده بر اساس جداول بر مبنای نوع منبع آب و کیفیت آن و ۳) بر اساس مطالعات پیشین قابل تعیین هستند (Wang et al., 2018). در پژوهش حاضر ضرایب مورد بررسی برای آنالیز حساسیت مدل با استفاده از مطالعات صورت گرفته پیشین انتخاب و در مدل به کار گرفته شد (جدول ۳). به‌منظور انجام فرایند آنالیز حساسیت در این پژوهش مقادیر ضرایب ورودی را با روش صحیح و خطا چندین بار تغییر داده تا مقدار نهایی پارامترهای حساس مشخص شود. براساس نتایج به‌دست آمده پارامترهای دبی، ضریب پخشیدگی، ثابت میزان دی‌نیتریفیکاسیون حساس‌ترین پارمترهای موجود در شبیه‌سازی نیترات هستند. پارامترهای دبی، ضریب پخشیدگی و ضریب تفکیک فسفات در ستون آب بیش‌ترین حساسیت را در شبیه‌سازی فسفات نشان داده‌اند.

۲-۵- واسنجی و صحت‌سنجی

پس از انجام آنالیز حساسیت بایستی مدل به‌منظور انجام فرایند شبیه‌سازی پارامترهای مذکور واسنجی و صحت‌سنجی شود. در پژوهش حاضر از ۸ دوره نمونه‌برداری ۴ دوره برای واسنجی و ۴ دوره برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت.

Table 3- Coefficients influencing the simulation of parameters in the WASP model

جدول ۳- ضرایب تأثیرگذار بر شبیه‌سازی پارامترها در مدل WASP

Coefficients	unit	Amounts	Source
Spread coefficient	m/s	0.0096-0.0310	Fischer (1979)
Nitrification rate constant	day	1.0000	Moses Sheela et al. (2016)
Nitrification temperature coefficient	-	1.0470	Moses Sheela et al. (2016)
Oxygen half-saturation limit constant for nitrification	$_2$. mg O Lit	2.0000	Moses Sheela et al. (2016)
Minimum temperature for nitrification reaction	C^0	0.0000	Moses Sheela et al. (2016)
Denitrification rate constant	day	0.0300	Moses Sheela et al. (2016)
Denitrification temperature coefficient	-	0.0451	Moses Sheela et al. (2016)
Phosphate dissociation coefficient in the water column	Lit/Kg	0.3000	Moses Sheela et al. (2016)
Global fixed rate of aeration	day	0.2600	Tchobanoglous and Schroeder (1985)
Minimum aeration rate	day	0.7800	Chin David (2006)
The minimum calculable rate of aeration	day	100.0000	Moses Sheela et al. (2016)
Temperature correction factor for aeration	-	1.0240	Chin David (2006)
The stoichiometric ratio of oxygen to carbon	-	2.6700	Moses Sheela et al. (2016)
Decay rate constant BOD	day	0.1750	Kiely (1977)
Temperature correction coefficient of decay rate BOD	-	1.0470	Novotny (2003)
Sediment decay rate constant BOD	day	0.5000	Moses Sheela et al. (2016)
Temperature correction factor, sediment BOD decomposition rate	-	1.0470	Novotny (2003)
Partial oxygen limit BOD	mg O_2.Lit	0/5000	Moses Sheela et al. (2016)

Table 4- The sensitivity coefficient of WASP model input parameters
جدول ۴- میزان ضریب حساسیت پارامترهای ورودی مدل WASP

Simulation parameter	Input parameters	Sensitivity coefficient
Nitrate	Flow	0.130000
	spread coefficient	0.001600
	Denitrification rate constant	0.000001
	Denitrification temperature coefficient	0.000001
Phosphate	Flow	0.020000
	spread coefficient	0.027000
	Phosphate dissociation coefficient in the water column	0.028000

در مدل WASP واسنجی و صحت‌سنجی پارامترها براساس یک سری ضرایب انجام می‌شود که ضرایب مورد استفاده در این مرحله نیز همان ضرایب استخراج شده در مرحله آنالیز حساسیت می‌باشد. پس از انجام واسنجی و صحت‌سنجی مدل WASP به‌منظور ارزیابی کارایی مدل از سه معیار ضریب تبیین (R^2)، ضریب عملکرد C_P و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

۲-۶- ارزیابی مدل

با توجه به اهمیت بررسی عملکرد مدل، در این تحقیق عملکرد مدل با معیارهای ارزیابی زیر مورد بررسی قرار گرفت است. اولین معیار، ضریب همبستگی (R^2) است، که نشان می‌دهد بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده چه میزان همبستگی وجود دارد (معادله (۴)). دومین معیار، مجذور میانگین مربعات خطا(RMSE) است که معیار ارزیابی میزان خطا می‌باشد (معادله (۵)). سومین معیار (معادله (۶))، ضریب عملکرد Cp که هرچه مقدار حاصل به صفر نزدیک‌تر باشد، بـه منزله وجود اختلاف کمتر بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است، که نشانگر عملکرد بهتر مدل است (Fallah and Fakharan, 2018). سنجش کارایی مدل با استفاده از چند شاخص ارزیابی به‌خصوص در مواردی نظیر پژوهش حاضر که دوره‌های آماری مورد استفاده محدود بوده است می‌تواند تاحدودی عملکرد قابل قبول مدل را در چنین شرایطی تأیید نماید. البته لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده توسط معیارهای ارزیابی مورد استفاده نیز گویای کارایی صدرصد تضمین شده مدل نیستند و برای ارزیابی دقیق‌تر و ارائه عملکرد قابل قبول‌تری از مدل اندازه‌گیری‌های بیشتر و در دوره‌های آماری طولانی‌تری مورد نیاز است. به علت تعداد محدود دوره‌های آماری شاخص Cp در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت که توانایی ارزیابی مدل در دوره‌های آماری محدود را نیز دارد.

$$R^2 = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (۴)$$

$$RMSE=\left[\frac{\sum(X_p-X_m)^2}{n}\right]^{1/2} \quad (۵)$$

که در رابطه (۴ و ۵) Xp و y: مقادیر محاسبه شده توسط مدل و Xm و x: مقادیر اندازه‌گیری و یا مشاهده‌ای n: تعداد ایستگاه‌ها هستند.

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_p - x_o)^2}{\sum_{i=1}^{N}(x_o - \overline{x_{ave}})^2} \quad (۶)$$

که در آن x_o داده‌های مشاهداتی، x_p داده‌های شبیه‌سازی شده، x_{ave}میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد کل داده‌ها است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقدار آلودگی نیترات و فسفات موجود در تالاب میانکاله پرداخته شده است. در جدول ۵ مقادیر حداقل و حداکثر مجاز غلظت نیترات و فسفات موجود در تالاب میانکاله به‌منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل با حد استاندارد آن ارائه شده است. در ادامه نتایج حاصل از واسنجی، صحت‌سنجی و ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی مقدار آلودگی نیترات و فسفات موجود در تالاب میانکاله ارائه می‌شود.

Table 5- Maximum allowable concentrations for water quality parameters in Miankaleh Wetland
جدول ۵- حد مجاز غلظت پارامترهای کیفی آب تالاب میانکاله

Parameter	Unit	Minimum	Maximum
Nitrate	mg/lit	1.81	32.42
Phosphate	mg/lit	0.016	0.070

۳-۱- شبیه‌سازی نیترات

نیترات یکی از شایع‌ترین آلاینده‌های منابع آب به‌شمار می‌رود، که منبع اصلی آن فاضلاب‌های صنعتی و زه‌آب اراضی کشاورزی است؛ چراکه این ترکیبات در اراضی کشاورزی و مزارع آبزی‌پروری به‌صورت

کودهای نیتراته مورد استفاده قرار می‌گیرند و شستشوی آن‌ها در زمان آبیاری منجر به ورود حجم قابل توجهی از بار آلودگی به منابع آبی می‌شود. در پژوهش حاضر نیز مقدار آلودگی نیترات در تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP شبیه‌سازی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیترات و ارزیابی عملکرد مدل در برآورد نیترات به‌ترتیب در شکل ۶ و جدول ۶ ارائه شده است.

براساس نتایج ارائه شده در شکل ۶ در ایستگاه‌های دهنه‌چپقلی، قره‌سو، بندر گز، اسماعیل‌سای و میان‌قلعه حداقل مقادیر نیترات بیش‌تر از حداقل مجاز (۱/۸۱) در تالاب میانکاله است. در ایستگاه گلوگاه غلظت کم نیترات (۱/۸) با حداقل نیترات مجاز در تالاب برابر است. غلظت زیاد نیترات در همه ایستگاه‌ها کم‌تر از حداکثر مجاز (۳۲/۴۲) در تالاب است. از طرفی در بین ایستگاه‌های مورد بررسی و در طی دوره آماری بیش‌ترین مقدار نیترات (۱۶/۸) مربوط به ایستگاه میان قلعه و کم‌ترین مقدار نیترات (۱/۸) مربوط به ایستگاه گلوگاه است. وجود مزارع آبزی‌پروری در ایستگاه میان قلعه و استفاده از کودهای نیتراته در این مزارع یکی از دلایل اصلی غلظت زیاد نیترات در این ایستگاه است.

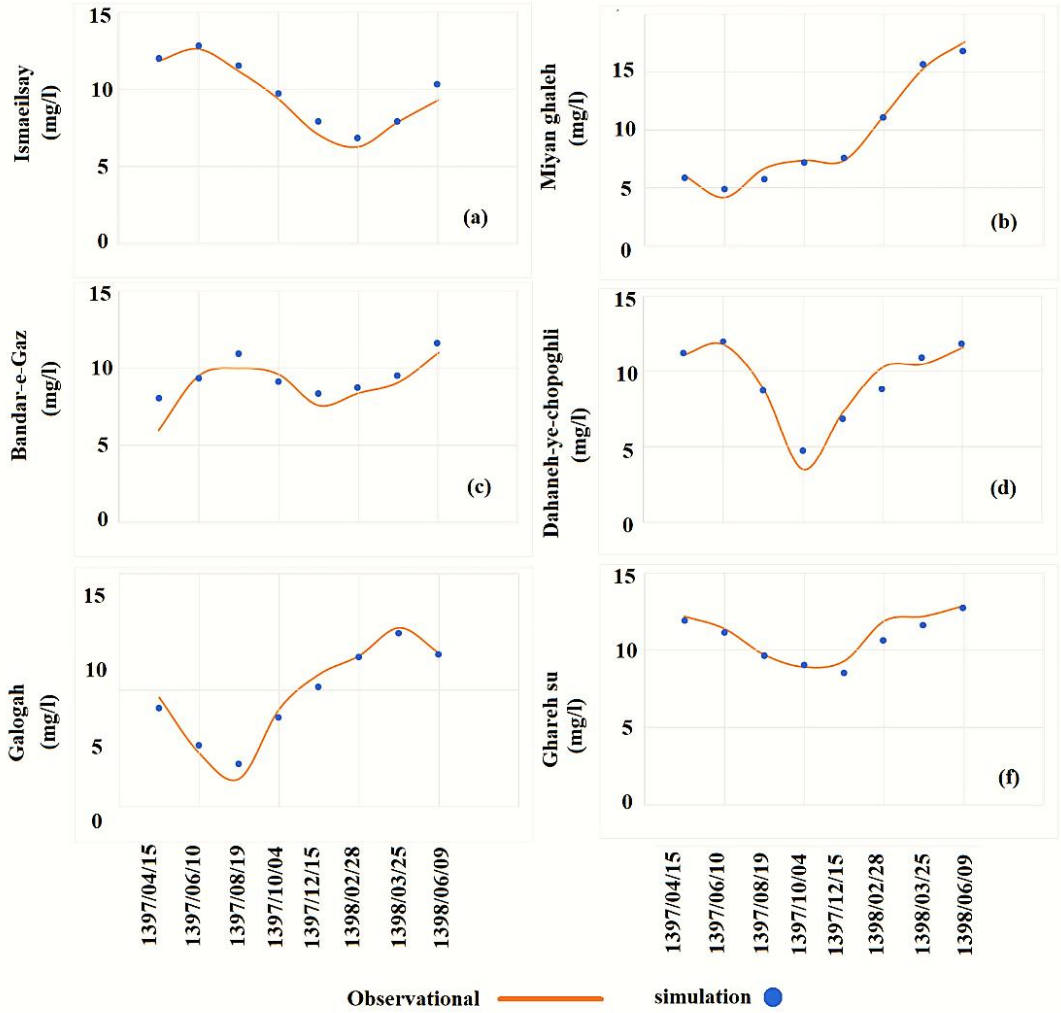

Fig. 6- The results of simulating Nitrate in the studied stations, a) Ismaeilsay station, b) Miyan Ghleh, c) Bandar-e-Gaz, d) Dahneh-ye- Chopoghli, e) Galogah, f) Gharehsu

شکل ۶- الف) نتایج شبیه‌سازی نیترات در ایستگاه‌های مورد مطالعه، الف) ایستگاه اسماعیل‌سای، ب) میان قلعه، پ) بندرگز، ت) دهنه چپقلی، ث) گلوگاه، ج) قره‌سو

Table 6- Evaluating the model for nitrate parameter simulation

جدول ۶- نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی پارامتر نیترات

Nitrate						
Cp		RMSE		R^2		index
Validation	Calibration	Validation	Calibration	Validation	Calibration	Station
0.31	0.24	0.90	0.50	0.63	0.69	Dahane-ye-Chopoghli
0.29	0.28	0.50	0.40	0.58	0.71	Gharehsu
0.25	0.33	0.20	1.05	0.61	0.69	Bandar-e-Gaz
0.27	0.31	0.10	0.40	0.66	0.58	Galougah
0.19	0.22	0.40	0.20	0.68	0.88	Ismaeilsay
0.18	0.20	0.30	0.50	0.91	0.74	Miyan Ghaleh

از طرف دیگر در ایستگاه‌های دهنه‌چپقلی، قره‌سو، بندرگز، اسماعیل‌سای و میان‌قلعه در انتهای دوره شبیه‌سازی غلظت نیترات روند صعودی داشته است. این امر لزوم اعمال مدیریت پساب خروجی از فعالیت‌های صنعتی، آبزی‌پروری و کشاورزی را در حاشیه این ایستگاه‌ها آشکار می‌سازد.

جدول ۶ نتایج حاصل از ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی نیترات را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر به‌دست آمده برای ضریب R^2 نشان می‌دهد که در مرحله واسنجی، ایستگاه اسماعیل‌سای (۰/۸۸) و در مرحله صحت‌سنجی ایستگاه میان‌قلعه (۰/۹۱) بیش‌ترین همبستگی را بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به خود اختصاص داده‌اند. کم‌ترین مقدار RMSE در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های اسماعیل‌سای و گلوگاه با مقادیر (۰/۲) و (۰/۱) است، که هر چه مقادیر آن به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل در ارزیابی است. با توجه به مقادیر این شاخص مدل در ایستگاه میان‌قلعه در هردو مرحله واسنجی (۰/۲) و صحت‌سنجی (۰/۱۸) عملکرد بهتری داشته است. اما در مجموع با توجه به نتایج ارزیابی و شبیه‌سازی مدل WASP توانایی خوبی در برآورد میزان نیترات تالاب میانکاله داشته است.

۳-۲- شبیه‌سازی فسفات

ترکیبات فسفات نیز بیش‌تر به‌صورت کودهای شیمیایی در اراضی کشارزی و مزارع پروش‌ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقادیر بیش از حد مجاز این ترکیبات در منابع آبی منجر به بروز بیماری‌های خطرناکی در انسان و جانوران می‌شوند. در پژوهش حاضر میزان آلودگی فسفات موجود در آب تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP شبیه‌سازی و نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است. همچنین به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی فسفات از معیارهای ذکر شده استفاده شد. مقادیر به‌دست آمده برای هرکدام از معیارها در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی در جدول ۷ ارائه شده است.

شکل ۶ نشان‌دهنده نتایج حاصل از شبیه‌سازی فسفات در ایستگاه‌های مورد مطالعه تالاب میانکاله می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه غلظت کم فسفات از حداقل مجاز (۰/۰۱۶) در تالاب میانکاله به‌خصوص در ایستگاه اسماعیل‌سای (۰/۰۷) بیش‌تر است. همچنین، مقادیر بالای فسفات در همه ایستگاه‌ها مخصوصا ایستگاه دهنه‌چپقلی بیش‌تر از (۰/۲۲) حداکثر مجاز (۰/۰۷) در تالاب میانکاله است. براساس نتایج ارائه شده مقادیر فسفات در همه ایستگاه‌ها درحال افزایش بوده است که این امر نشان‌دهنده عدم اعمال برنامه‌های مدیریتی برای کنترل مقادیر فسفات ورودی به تالاب در بخش‌های مختلف صنعتی، کشاورزی و تجاری است.

نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی فسفات با استفاده از معیارهای مختلف در جدول ۶ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب ایستگاه‌های میان‌قلعه (۰/۷۱) و اسماعیل‌سای (۰/۷۹) بیش‌ترین همبستگی (R^2) بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را به‌خود اختصاص داده‌اند. مقادیر به‌دست آمده برای RMSE نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی کم‌ترین خطا (۰/۰۰۱) را در ایستگاه میان‌قلعه و در مرحله صحت‌سنجی در ایستگاه اسماعیل‌سای کم‌ترین خطا (۰/۰۰۲) را داشته است.

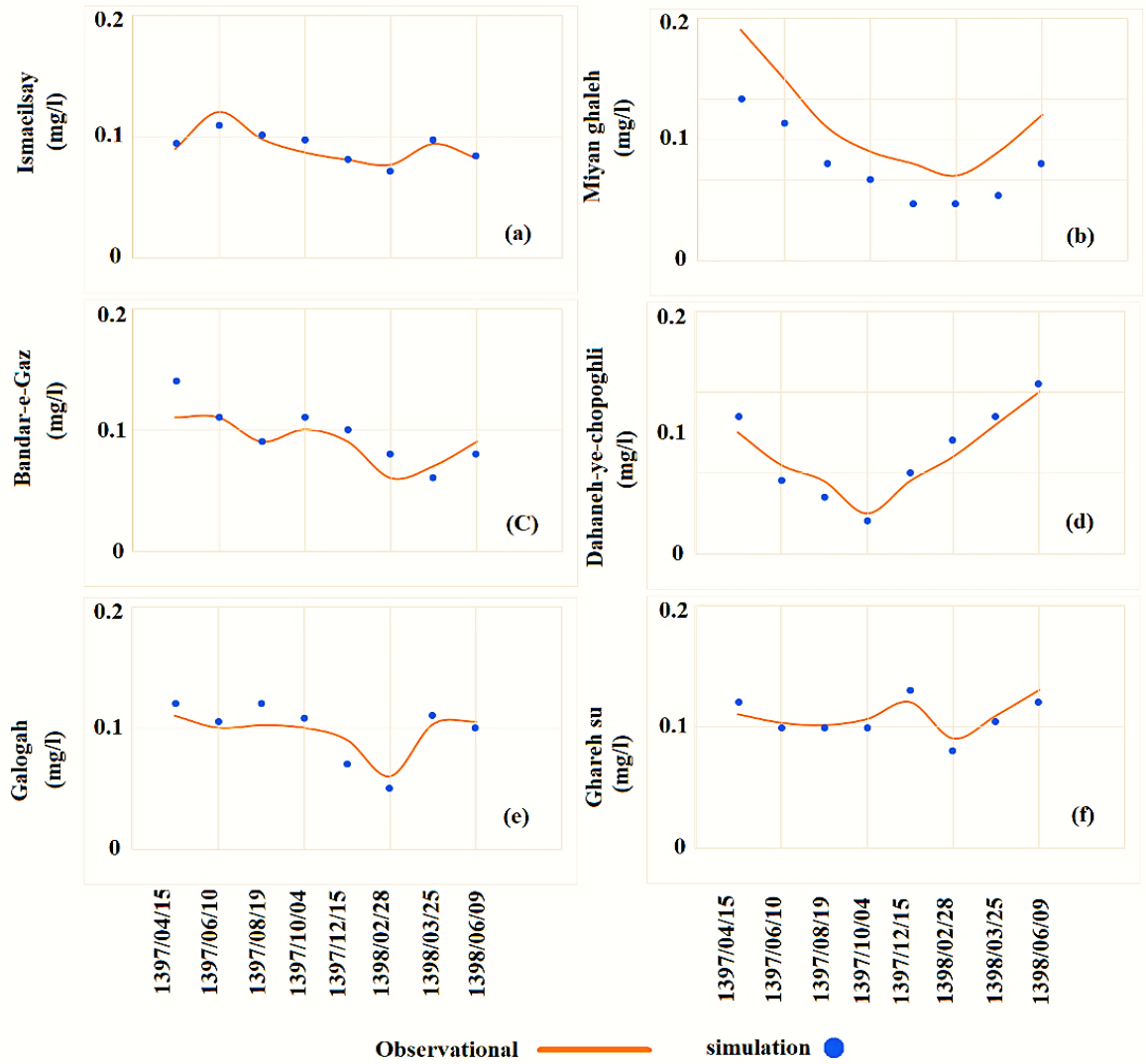

Fig. 7- The results of simulating phosphate in the studied stations, a) Ismaeilsay station, b) Miyan Ghaleh, c) Bandar-e-Gaz, d) Dahneh-ye- Chopoghli, e) Galogah, f) Ghareh su

شکل ۷- نتایج شبیه‌سازی فسفات در ایستگاه‌های مورد مطالعه، الف) اسماعیل‌سای، ب) میان قلعه، پ) بندرگز، ت) دهنه چپقلی، ث) گلوگاه، ج) قره‌سو

Table 7- Evaluating the model for simulating the phosphate parameter

جدول ۷- نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی پارامتر فسفات

Phosphate						
Cp		RMSE		R^2		Index
Validation	Calibration	Validation	Calibration	Validation	Calibration	Station
0.29	0.47	0.009	0.002	0.71	0.58	Dahane-ye-Chopoghli
0.31	0.36	0.008	0.007	0.67	0.59	Gharehsu
0.36	0.32	0.009	0.004	0.56	0.63	Bandar-e-Gaz
0.32	0.51	0.004	0.003	0.66	0.57	Galougah
0.18	0.22	0.002	0.006	0.79	0.61	Ismaeilsay
0.21	0.33	0.005	0.001	0.60	0.71	Miyan Ghaleh

در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر ضریب Cp ایستگاه اسماعیل‌سای در هر دو مرحله واسنجی (۰/۲۲) و صحت‌سنجی (۰/۱۸) عملکرد بهتری را ارائه کرده است. در مجموع مدل عملکرد قابل قبولی را در ارزیابی فسفات تالاب میانکاله داشته است.

۴- نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر تالاب میانکاله با چالش‌های زیست‌محیطی فراوانی مواجه بوده است. کاهش سطح آب از یک‌سو و ورود آلاینده‌های مختلف از سوی دیگر حیات جوامع گیاهی و جانوری این اکوسیستم با ارزش را مورد تهدید قرار داده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مقدار آلودگی نیترات و فسفات تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP انجام شد. به‌منظور شبیه‌سازی مقادیر آلودگی نیترات و فسفات، اطلاعات مورد نیاز در ۶ ایستگاه دهنه‌چپقلی، میان‌قلعه، بندر گز، قره‌سو، اسماعیل‌سای و گلوگاه و طی ۶ فصل و ۸ دوره نمونه‌برداری آب تالاب از اداره حفاظت کل محیط زیست مازندران دریافت شدند. برای هرکدام از مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل ۴ دوره نمونه‌برداری درنظر گرفته شد. با توجه به تعداد محدود دوره‌های نمونه‌برداری به‌منظور ارزیابی مدل و تأیید نسبی عملکرد مدل شاخص‌های R^2، Cp و RMSE مورد استفاده گرفت. مقادیر به‌دست آمده برای این شاخص‌ها نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل در ارزیابی مقادیر نیترات و فسفات تالاب میانکاله بود. براساس نتایج به‌دست آمده غلظت نیترات شبیه‌سازی شده در محدوده مجاز قرار دارد. اما غلظت فسفات شبیه‌سازی شده در مقادیر حداقل و حداکثر از محدوده مجاز عبور کرده است. با توجه به اینکه تغییر کیفیت آب تالاب به دلیل شرایط هیدرولیک تالاب به آرامی اتفاق می‌افتد.

بنابراین تداوم روند تخلیه پساب ناشی از اراضی کشاورزی، مزارع آبزی‌پروری و مراکز صنعتی حاشیه تالاب منجر به افزایش میزان نیترات و فسفات موجود در آب تالاب می‌شود. که به مرور شرایط تغذیه‌گرایی تالاب را فراهم می‌آورد که این امر خود منجربه تخریب و نابودی جوامع گیاهی و جانوری تالاب می‌شود. بنابراین مدیریت صحیح تخلیه پساب مراکز مختلف، پایش کمی و کیفی تالاب، استفاده از روش‌های مدل‌سازی به منظور ارائه و ارزیابی راهکارهای مدیریتی و همچنین استفاده از کودهای ارگانیک به جای کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی و مزارع آبزی‌پروری می‌تواند موجب کنترل و عدم تشدید میزان آلودگی فسفات و نیترات تالاب شود. نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات Gasim et al. (2015) برروی سه دریاچه سمپاکا، باروبانجی و سلانجور مالزی و Attamaleki et al. (2014) در رودخانه چناران مطابقت دارد. چراکه در مطالعات این پژوهشگران نیز تخلیه فاضلاب و پساب واحدهای صنعتی مختلف و زه‌آب اراضی کشاورزی مهم‌ترین عامل افزایش بار آلودگی نیترات و فسفات در مناطق مورد مطالعه بوده است.

۵- مراجع

Attamaleki A, Sadeghi S, Davalit M, Gholami M, Gurbanpour R, and Abuei Mehrizi A (2014) Measurement and distribution of organic matter and nutrients along Chenaran Bojnord river. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention 3(1):67-74

Chin David A (2006) Water-quality engineering in natural systems. John Wiley and Sons Inc. Hoboken. New Jersey.601 p.

Chung E, Abdulai S, Park PJ, Kim H, Ahn YSR, Kim SJ (2016) Multi-criteria assessment of spatial robust water resource vulnerability using the TOPSIS method coupled with objective and subjective weights in the Han River basin. Sustainability 9(1):29

Dashti S, Sabzqabaei G, Jafarzadeh K, Bazm Arablashti M (2019) Evaluating the change process of Miankale coastal wetland with land use approach. Wetland Ecobiology 10(4(serial 38)):5-20 (In Persian)

Fallah M, Fakharan S (2018) Evaluation of water quality of Anzali international lagoon using quality indicators. Journal of Water and Sustainable Development 2(4):23-30 (In Persian)

Fischer HB, List EJ, Koh RCY, Imberger J, Brooks NH (1979) Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, New York. 483 p.

Gasim MB, Toriman ME, Muftah S, Barggig A, Aziz NA, Muhamad, H (2015) Water quality degradation of Cempaka Lake Bangi Selangor Malaysia as an impact of excessive E. coli and nutrient concentrations. Malaysian Journal of Analytical Sciences 19(6):1391-1404

Hasanpour Nodehi M, Nawabian M, and Esmaili Varki M (2020) Performance evaluation of the WASP model for simulating the drainage quality of paddy fields in the construction unit F4 of the Gilan drainage irrigation network. Water Research in Agriculture 33(4):551-564 (In Persian)

Kannel PR, Kanel SR, Lee S, Lee YS, Gan TY (2011) A review of public domain water quality models for simulating dissolved oxygen in rivers and streams. Environmental Modeling & Assessment 16:183-204

Kiely G (1997) Environmental engineering. McGraw-Hill. New York. 979 p.

Mamani Larico A J, Zúñiga Medina SA (2019) Application of WASP model for assessment of water quality for eutrophication control for a reservoir in the Peruvian Andes. Lakes and Reservoirs: Research and Management 24(1):37-47

Moses Sheela A, Janaki L, Joseph S, Joseph J (2015) Water quality prediction capabilities of WASP model for a tropical lake system. Journal of Lakes & Reservoirs Research and Management 20(4):285-299

Novotny V (2003) Water quality: Diffuse pollution and watershed management. 2nd Edition Wiley New York. 888 p.

Singh N, Kaur M, Katnoria JK (2017) Spatial and temporal heavy metal distribution and surface water characterization of Kanjli Wetland (a Ramsar site), India using different indices. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 99(6):735-742

Soleimani Rad S, Bostani F, Honar MR (2015) Investigating the water quality of Ker River with the WASP model. The second national conference on sustainable agriculture and natural resources Mehr Arvand Institute of Higher Education- Promotion Group of Environmental Lovers and Nature Protection Association of Iran, Tehran (In Persian)

Tchobanoglous G, Schroeder ED (1985) Water Quality. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts

Wang X L, Zhang M, Yin J (2018) Composition and influential factors of phytoplankton function groups in Lake Chaohu. Journal of Lake Sciences 30:431–440 (In Chinese)

Wool TA (2003) US Environmental protection agency–Region 4 Atlanta GA. Water Quality Analysis Simulation Program WASP Version 6.0 Documentation and Users' Manual

Xu L, Pan J, Jiang J, Zhao H, & Liu C (2013) A history evaluation modelling and forecastation of water quality in shallow lake. Water and Environment Journal 27(4):514-523

Yahyai M, Gergin S, Ashpotish D, Safaei M, Propheti S (2021) The effect of environmental conditions on the catch per unit of fishing effort in coastal fin nets in the Miankale area of Golestan province. Applied Fisheries Research 8(3):92-97 (In Persian)

Yannopoulos S, & Kaloyannis H (2008) Water quality modelling of the Pamvotis Lake (Greece) using the WASP mathematical model. In Proc. from the Int. Conf. of Protection and Restoration of the Environment

Zhang L, Wang MH, Hu J, Ho YS (2010) A review of published wetland research, 1991–2008: Ecological engineering and ecosystem restoration. Ecological Engineering 36(8):973-980

Zhang R, Qian X, Li H, Yuan X, Ye R (2012) Selection of optimal river water quality improvement programs using QUAL2K: A case study of Taihu Lake Basin China. Science of the Total Environment 431:278-285

Ziemińska-Stolarska A, Kempa M (2021) Modeling and monitoring of hydrodynamics and surface water quality in the Sulejów Dam Reservoir Poland. Water 13(3):296