Shahid Chamran University of Ahvaz

**Irrigation Sciences and Engineering (JISE)**
**Vol. 49, No. 2, Summer 2026, p. 73-88**

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

**Research Paper**

## EXTENDED ABSTRACT

# Studying the effect of different fertilization strategies on the output nitrate of irrigation network using SWAT model (Case study: Dez irrigation and drainage network)

A. Bakhtiarifar[1], M. Albaji[2*], M. Golabi[3], S. Boroomandnasb[4] and A. Shahnazari[5]

*1- PhD. Student of irrigation and drainage, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz , Ahvaz, Iran*
*2*- Corresponding Author, Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, (m.albaji@scu.ac.ir)*
*3- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.*
*4- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.*
*5- Professor of Water Engineering Department, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.*

**ARTICLE INFO**

*Artlcle history:*
Received: 11 July 2024
Revised: 1 October 2024
Accepted: 27 October 2024
Available online: 05 August 2026

*Keywords:*
Simulation, SWAT, Fertilization Scenario, Agriculture, Water Resources Pollution.

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Bakhtiarifar, A., Albaji, M., Golabi, M., Boroomandnasab, S., Shahnazari, A. 2026. 'Studying the effect of different fertilization strategies on the output nitrate of irrigation network using SWAT model (Case study: Dez irrigation and drainage network)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 49(2), pp. 73-88. doi: 10.22055/jise.2024.43688.2075.

**Abstract**

Increasing population and demand require increasing production per unit area. Competition for increased yield has led to excessive use of chemical fertilizers. Excessive use of chemical fertilizers and discharge of agricultural land drainage containing these compounds leads to pollution of water resources. Therefore, in the present study, the effect of different fertilization strategies on the amount of nitrate output in the irrigation and drainage network of the Dez River was investigated using the SWAT model. The calibration and validation of the model to simulate the amount of nitrate was carried out using statistical data from 1995 to 2017 at the network outlet (Bamdej station). To achieve the objectives of the present study, information related to the agricultural management of the region, including cropping pattern and planting and harvesting dates, irrigation rate and time, and fertilization rate, were entered into the model based on the information received for the study basin level. In order to evaluate the effect of fertilization rate on surface water quality, scenarios for reducing fertilization rate were introduced into the model. The results of model evaluation using $R^2$ and NSE coefficients indicate the appropriate performance of the model in simulating the mentioned parameters. The results of applying fertilizer reduction scenarios showed that by applying 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70 percent reduction in fertilizer, nitrate was reduced by 2.74, 9.31, 11.25, 14.83, 17.95, 21.23 and 26.62, respectively. According to the findings of this study, it can be said that due to the high impact of fertilization, by controlling the amount of fertilizer used, pollution of surface water resources can be controlled to a large extent.

## Introduction

The use of chemical fertilizers to increase crop production has caused the agricultural sector to be considered the main polluter of water resources. Because the chemical fertilizers used contain various compounds such as nitrate, phosphate and ammonium, which are the most dangerous polluting compounds in water resources. Pollution of water resources may cause the loss and

limitation of drinking water, livestock drinking water, irrigation, aquatic life and recreational activities. Loss of nitrogen and phosphorus nutrients from agricultural fields to surface waters reduces water quality and leads to environmental damage (Zhang and Zhang2011). Currently, the use of chemical fertilizers has become an inseparable part of the agricultural production process, and its consumption is increasing. (Qiang and YuSchilling, 2021).

Today, with the development of science and technology, the use of mathematical models to assess the quality of water resources and develop various management scenarios to improve conditions has become widespread. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is a hydrological model that is widely used internationally and in the United States for water quality and natural resource management. (Giri et al., 2016 ).

**Materials and Methods**

The Dez irrigation and drainage network, located in the north of Khuzestan province, with an area of 125,000 hectares, is one of the largest networks in Iran, in which advanced methods are used for irrigation and drainage of lands. The water required for this project is supplied from the Dez River, and in order to control, contain, and regulate its water flow, reservoir, regulating, and diversion dams have been constructed on this river (KWPA Technical Rep., 2016.).

In the present study, the SWAT hydrological model, version 2012, was used to evaluate the effect of fertilization on the nitrate level of the irrigation and drainage network of Dez.

In order to achieve the objectives of the present study, the required information was collected in six sections including: climatic, hydrometric, physiographic, soil data, land use map and agricultural activities. Data related to temperature, rainfall, relative humidity and evaporation were prepared daily from synoptic and meteorological stations during the statistical period from 1993 to 2017 and introduced into the model. In order to prepare hydrological response units (HRU), a Digital Elevation Model (DEM) with a resolution of 50 meters, FAO global soil map and a land use map of the region in eight classes were used. Also, the cropping pattern, yield and fertilization of products were prepared based on data received from the Agricultural Jahad Organization of Khuzestan Province and introduced into the model. On the other hand, daily data from five hydrometric stations of Bamdej, Harmaleh, Pol-e Shavour, Shushtar and Arab-e Asad were used to calibrate and validate the SWAT model. Finally, to investigate the effect of fertilization on the amount of nitrate output in the study area, scenarios of 10, 20, 40, 30, 50, 60, and 70 percent reduction in fertilization were implemented in the model, respectively.

**Results and discussion**

According to the results obtained, June has the highest nitrate load and March has the lowest load. One of the reasons for the increase in nitrate in June could be the increase in fertilizer consumption in order to prepare the land for the second crop. The application of scenarios also had the greatest impact in this month. In March, due to the final stages of plant growth, fertilizer consumption and consequently nitrate load also decreased. According to the results presented, during the statistical period, especially in low nitrate amounts, the scenarios do not differ much in reducing nitrate levels. This could be due to the stability of nitrate compounds in soil and water resources. On the other hand, the least impact on the amount of nitrate pollution load in the evaluated statistical period is related to scenario 10 and the greatest impact is related to scenario 70**.**

**Conclusion**

The results of applying fertilization scenarios to the pollution level show that the highest average reduction in nitrate by 26.62 was achieved in the 70% reduction in fertilization scenario, and a 10% reduction in fertilization led to a 74.2% reduction in nitrate output.

According to the results obtained, various factors such as fertilization time, irrigation rate, irrigation method, and the amount of fertilizer required by crop patterns can affect the level of surface water pollution. According to the results obtained, for the qualitative protection of water resources, an important step can be taken in the control of chemical fertilizers by spending money and making appropriate policies. Optimal use of fertilizers, replacing organic fertilizers with

chemical fertilizers, providing banking education to farmers to use modern fertilization and irrigation equipment and methods at the farm level, and also increasing the purchase price of agricultural products can, in addition to reducing water resource pollution, lead to improved plant performance in conditions of reduced fertilizer consumption and preventing a decrease in farmer's profits. In this direction, the use of models such as SWAT, which has the ability to evaluate different management scenarios at the watershed level, can be an effective solution for developing water and soil management programs.

It is necessary to examine the impact of applying fertilizer reduction scenarios on plant performance and its economic impact simultaneously so that a logical and comprehensive analysis can be carried out in the field and then the appropriate decision can be made.

**Conflict of Interest**

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

**Funding**

The financial support of this research has been provided by Grant number (GN: SCU.WI98.280)

**Data Availability Statements**

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

**Ethical considerations**

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct. Confirmation.

**Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process**

The authors state that they have not used generative AI or AI-assisted technologies in their manuscript.

**Authors' contribution**

**First Author:** Abbas Bakhtiarifar, data analysis.
**Second Author:** Mihammad Albaji, data analysis, writing the article.
**Third Author:** Mona Golabi, results analysis.
**Fourth author:** Saeed Boroumandnasb, results analysis.
Fifth author: Ali Shahnazari, writing the article.

**Acknowledgements**

We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support. The authors also express their sincere gratitude for the cooperation of the Khuzestan Water and Power Authority in providing periodic statistics and information related to the irrigation and drainage network of Dez and hydrometric stations of the study area.

**References**

1- Annual report of Khuzestan Water and Electricity Organization, 2016. Exploitation of irrigation networks in North Khuzestan region, KWPA Technical Rep, p13

2- Giri, S., Qiu, Z., Prato, T. and Luo, B., 2016. An integrated approach for targeting critical source areas to control nonpoint source pollution in watersheds. *Water Resour Management.* Volume 30, 5087–5100. DOI: 10.1007/s11269-016-1470-z

3- Qiang, W and YuSchilling, H., 2021. Identifying critical source areas of nonpoint source pollution in a watershed with SWAT–ECM and AHP methods. *Hydrology Research* Vol 52 No 6, 1184 DOI: 10.2166/nh.2021.010.

4- Zhang, X. and Zhang, M., 2011. Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff. *Journal of Science of the Total Environment*, 409(10):1949-1958. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.02.012

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۹، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۵، مقاله پژوهشی، ص. ۸۸-۷۳

# بررسی تأثیر استراتژی‌های مختلف کوددهی بر روی میزان نیترات خروجی شبکه آبیاری با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی دز)

عباس بختیاری‌فر[۱]، محمد الباجی[۲*]، منا گلابی[۳]، سعید برومندنسب[۴] و علی شاهنظری[۵]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ،ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه آبیاری وزهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران(m.albaji@scu.ac.ir)

۳- دانشیار ، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست ، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۵- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ساری ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۱ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۱۴

## چکیده

**افزایش جمعیت و تقاضا مستلزم بالا بردن میزان تولید در واحد سطح است. رقابت برای افزایش عملکرد موجب استفاده‌ی بیش‌ازحد از کودهای شیمیایی شده است. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و تخلیه زهاب اراضی کشاورزی حاوی این ترکیبات منجر به آلودگی منابع آب می‌شود. لذا در پژوهش حاضر تأثیر استراتژی‌های مختلف کوددهی بر میزان نیترات خروجی در شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه دز با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار گرفت. واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی میزان نیترات با استفاده از داده‌های آماری سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ در خروجی شبکه (ایستگاه بامدژ) صورت گرفت. برای دست‌یابی به اهداف مطالعه حاضر اطلاعات مربوط به مدیریت کشاورزی منطقه شامل الگوی کشت و تاریخ کاشت و برداشت، میزان و زمان آبیاری و میزان کود دهی براساس اطلاعات دریافتی برای سطح حوضه مورد مطالعه وارد مدل شد. به‌منظور ارزیابی تأثیر میزان کود دهی بر کیفیت آب‌های سطحی سناریوهای کاهش میزان کود دهی به مدل معرفی شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب $R^2$ و NSE نشان دهنده عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی پارامترهای مذکور می‌باشد. نتایج حاصل از اعمال سناریوهای کاهش کوددهی نشان داد با اعمال ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد کاهش کوددهی، نیترات به‌ترتیب به میزان ۲/۷۴، ۹/۳۱، ۱۱/۲۵، ۱۴/۸۳، ۱۷/۹۵، ۲۱/۲۳ و ۲۶/۶۲ کاهش یافت. مطابق یافته های این تحقیق می توان گفت با توجه به تأثیر بالای کود دهی، با کنترل میزان کود مصرفی می‌توان تا حدود زیادی آلودگی منابع آب سطحی را کنترل نمود.**

**کلید واژه‌ها:** شبیه‌سازی، SWAT، سناریو کوددهی، کشاورزی، آلودگی منابع آب.

## مقدمه

بعد از دسترسی به آب آشامیدنی، دسترسی و تأمین غذا اصلی ترین و مقدم ترین نیاز انسان‌هاست. از این رو کشاورزی یک عامل اساسی و بخش غالب اقتصاد جهانی است. کشاورزی همواره به‌عنوان بزرگترین مصرف کننده منابع آب شیرین، یعنی حدود ۶۹ درصد کل منابع آب استحصالی در جهان است (UN World Water Development Report 2021,Albaji.,2010,).

از میان بخش‌های مختلف تولیدی، بخش کشاورزی بیش‌ترین و نزدیک‌ترین ارتباط را با محیطزیست دارد. این ارتباط یک رابطه متقابل دو سویه است، از یک طرف فرسایش و تخریب محیطزیست، تولید و عملکرد محصولات کشاورزی را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد و از جانب دیگر مواد آلاینده بخش کشاورزی و مصرف بی‌رویه کودها و سایر مواد شیمیایی در این بخش، صدمات جبران‌ناپذیری به محیطزیست وارد می‌کند. افزایش جمعیت نیاز به آب و محصولات کشاورزی را تشدید نموده و در نتیجه به منظور افزایش تولید مواد غذایی فعالیت‌های کشاورزی نیز به همان اندازه افزایش یافته است (Bindra et al.,2014, Naseri et al.,2009 ,).

مصرف کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش تولید محصولات سبب شده است که بخش کشاورزی اصلی‌ترین آلوده‌کننده منابع آب محسوب شود. چرا که کودهای شیمیایی مصرفی دارای ترکیبات مختلفی نظیر نیترات، فسفات و آمونیوم هستند که خطرناک‌ترین ترکیبات آلوده‌کننده در منابع آبی می‌باشند. آلودگی منابع آب ممکن است باعث از بین رفتن و محدود شدن آب‌های آشامیدنی، آب شرب دام‌ها، آبیاری، حیات آبزیان و فعالیت‌های تفریحی شود. تلفات مواد مغذی نیتروژن و فسفر از مزارع کشاورزی به آب‌های سطحی کیفیت آب را کاهش داده و منجر به خسارات زیست‌محیطی می‌گردد (Zhang and Zhang2011). امروزه استفاده از کودهای شیمیایی بخش جدایی‌ناپذیر از فرایند تولید محصولات

*DOI:* 10.22055/jise.2024.43688.2075

کشاورزی گردیده است و روند مصرف آن در حال افزایش است. (Qiang and YuSchilling, 2021)

تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کمیت و کیفیت منابع آب سبب شده است که در دهه‌های اخیر رویکردها و استراتژی‌های مدیریت کشاورزی بر روی روش‌های کاهش مصرف آب و کاهش میزان آلاینده‌ها متمرکز شود. در همین راستا استفاده از روش‌هایی نظیر کاهش مصرف کود به‌منظور بهبود وضعیت کمی و کیفی منابع آب گسترش یافته است. بنابراین به‌کارگیری استراتژی‌های مدیریتی زمانی مؤثر واقع می‌شود که مورد ارزیابی قرار گرفته و تمامی جوانب مثبت و منفی آن‌ها مشخص شود. عدم ارزیابی این استراتژی‌ها ممکن است منجر به تشدید شرایط بحرانی منابع آب موجود در یک منطقه شود. لذا بررسی میزان تأثیر این استراتژی‌ها بر وضعیت منابع آب به‌خصوص در زمینه کیفی حائز اهمیت فراوانی می‌باشد. امروزه با گسترش علم و فناوری، استفاده از مدل‌های ریاضی به‌منظور ارزیابی کیفیت منابع آب و تدوین سناریوهای مختلف مدیریتی برای بهبود شرایط گسترش فراوانی یافته است. ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) یک مدل هیدرولوژیکی است که به‌طور گسترده در سطح بین‌المللی و در ایالات متحده برای کیفیت آب و مدیریت منابع طبیعی مورد استفاده قرار می گیرد. مدل SWAT مدلی انعطاف‌پذیر است که قادر به شبیه‌سازی پاسخ حوضه‌ها از حوضه‌های کوچک تا حوضه رودخانه‌های بزرگ به‌عنوان تابعی از کاربری اراضی ، مدیریت و سیستم‌های برداشت محصول ، ویژگی‌های شکل اراضی و شرایط آب و هوا است. این مدل می‌تواند از مدیریت دقیق کشاورزی استفاده کند، و آن را به‌صورت ویژه‌ای برای شبیه‌سازی پاسخ حوضه‌های آبخیز کشاورزی مناسب می‌کند (Ababei, and Sohrabi. 2009; Arnold et al., 1998; Giri et al., 2016 and Neitsch et al,. 2011).

مطالعه‌های مختلفی در سراسر دنیا برای ارزیابی توانایی مدل SWAT در ارائه راهکارهای مدیریتی به‌منظور بهبود کیفیت منابع آب‌وخاک صورت گرفته است. Schilling و Wolter (2009)، میزان بار آلودگی مواد مغذی در رودخانه Des Moines را با استفاده از مدل SWAT مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که منابع غیرنقطه‌ای ۹۵ درصد از کل بار نیترات خروجی از حوضه را شامل می‌شوند و کاهش میزان مصرف کود از ۱۰۰ به ۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌تواند کاهش ۳۸ درصدی در بار مواد مغذی را سبب شود و بیش‌ترین کاهش بار آلودگی هنگامی رخ داد که کاهش کود دهی در مناطق نزدیک خروجی زیرحوضه‌ها انجام گرفت. Jingyuan et al (2014)، در مطالعه‌ای به ارزیابی منابع آلودگی غیرنقطه‌ای حوضه رودخانه Liuxi با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر شیوه‌های خاک‌ورزی مرسوم و میزان کود دهی در کاهش آلودگی‌های NPS مؤثر می‌باشد. Nazari-Sharabian et al (2019) در پژوهشی به مدل‌سازی کیفیت آب سیستم حوضه – مخزن سد مهاباد در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از SWAT و دینامیک سیستم پرداختند. نتایج نشان داد که سناریوهای تغییر در مدیریت فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و دام‌پروری می‌تواند موجب حفظ منابع آب و کنترل آلودگی مخزن سد مهاباد شود.

Zarei Gorkhodi et al (2022) به شبیه‌سازی پارامترهای رواناب، رسوب در حوضه آبریز رودخانه تجن با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که مدل توانایی مناسبی در ارزیابی پارامترهای کمی و کیفی، فرایندهای هیدرودینامیکی و سناریوهای مدیریتی به‌منظور استفاده مجدد از پساب برای مصارف کشاورزی ارائه نموده است. Wu و Yu (2021) برای شناسایی مناطق منبع بحرانی (CSAs) برای مدیریت آلودگی منابع غیر نقطه ای (NPS) حوضه‌های آبخیز DRW، واقع در بخش شمالی استان هنان و بخش جنوبی استان شانشی از مدل ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) استفاده نمودند. و روش ضریب صادرات (ECM)برای تعیین کمیت فاکتورهای S نیتروژن آمونیاکی (NH4-N)و فسفر کل (TP) به‌عنوان آلودگی NPS ترکیب شدند. نتایج نشان داد که این CSA ها ۲۳/۸۶ درصد از کل مساحت را به خود اختصاص دادند و ۵۴/۹۴ درصد از NH4-N و ۴۲/۵۹ درصد از بارهای TP را ایجاد کردند. Li et al (2021) برای ارزیابی اثرات شیوه‌های مدیریت اراضی در کاهش بارهای آلودگی NPS بااستفاده از مدل SWAT مطالعه‌ای را در حوضه رودخانه Bah در شمال غربی چین، انجام دادند. نتایج نشان داد که توزیع مکانی شدت تلفات نیتروژن و فسفر با بارندگی و رواناب همبستگی مشخصی دارد و همبستگی بین شدت تلفات فسفر و شدت هدررفت رسوب معنی‌دارتر است. همچنین بار آلودگی NPS ارتباط نزدیکی با الگوی کشت اراضی حوضه رودخانه دارد.

Akhavan و Jodi Hameze Abad (2015) در مطالعه خود با استفاده از مدل SWAT به شبیه سازی آبشویی نیترات در فرآیند یک تناوب زراعی در حوضه آبریز همدان- بهار پرداختند. برای این منظور با استفاده از داده‌های روزانه دبی از هفت ایستگاه SWAT مدل هیدرومتری، عملکرد گندم و سیب زمینی و نیترات روزانه اندازه‌گیری شده در خروجی حوضه، با استفاده از مدل SWAT_CUP واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کشت سیب زمینی منجر به آبشویی نیترات به میزان ۳۶۱-۲۵۴ کیلوگرم در هکتار در سال (حدود ۴۲ -۳۰ درصد نیتروژن به کار برده شده) می شود.

Sheikhi Grakoui et al (2017) از مدل SWAT برای شبیه‌سازی بار شوری حاصل از کشت برنج در اراضی شالیزاری و ورود املاح آن به رودخانه تحت دو چرخه فلزات سنگین و نیتروژن در حوضه آبریز ناورود (حوضه معرف غرب استان گیلان)، استفاده و دقت مدل در شبیه‌سازی شوری به دو روش مذکور مقایسه نمود. برای بررسی کارایی مدل از دو شاخص آماری R2 و NS استفاده گردید. مقادیر این دو شاخص در شبیه‌سازی دبی رودخانه ناورود به‌ترتیب ۰/۸۲ و ۰/ ۵۲ و در شبیه‌سازی بار شوری تحت چرخه

فلزات سنگین ۰/۳۰ و ۰/۷۱- و تحت چرخه نیتروژن به‌ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۵۴ به‌دست آمد.

Nouri et al (2016) به بررسی تأثیر بهترین اقدامات مدیریتی در کاهش منابع آلاینده نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای آب با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز رودخانه سیمره پرداختند. در این مطالعه، مدل ارزیابی آب‌وخاک (SWAT2009) برای بررسی تأثیر منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بر روی کیفیت آب رودخانه سیمره در محدوده مطالعاتی زیرحوضه سیمره در حوضه کرخه مورد استفاده قرار گرفت. مدل برای دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ واسنجی و سپس برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۰ صحت‌سنجی گردید. ضرایب نش- ساتکلیف و $R^2$ برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر این ضرایب نشان داد که مدل SWAT کارایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان ماهانه و بار مواد مغذی در حوضه سیمره دارد. نتایج ارزیابی حاکی از آن بود که اجرای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و ایجاد نوار فیلتر در طول رودخانه مهم‌ترین اقدامات مدیریتی برای بهبود شرایط کیفی رودخانه می‌باشند.

Sheikh Zainuddin et al. (2015) با بررسی استراتژی‌های مدیریت آبیاری و کودهی بر تلفات نیتروژن با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز طشک- بختگان اعلام نمود زمانی که مدل اثرات کاهش مصرف در کود اوره از ۱۰ تا ۷۰ درصد را مدل‌سازی نمود، عملکرد گندم بین یک تا ۲۷ درصد، جو ۰/۸ تا ۲۴، ذرت ۰/۴۲ تا ۲۱ و برنج ۰/۴۷ تا ۸۳/۶ درصد کاهش یافت،این در حالی است که این امر منجر به کاهش تلفات نیترات از طریق آبشویی به میزان ۱۶ تا ۸۱، ۱۸ تا۸۰، ۱۵ تا ۸۵ و ۱۲/۵ تا ۸۳/۶ درصد به‌ترتیب در این محصولات شد. بنابراین با مقایسه تغییرات در عملکرد محصولات و تلفات نیتروژن از طریق آبشویی، این نتیجه حاصل می شود که کاهش قابل توجهی در تلفات نیتروژن میتواند با حداقل هزینه روی عملکرد از طریق بهینه کردن مصرف کود، حاصل شود.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی دز واقع در شمال استان خوزستان، با وسعت ۱۲۵۰۰۰ هکتار و سطح خالص ۹۳۷۵۰ هکتار از بزرگترین شبکه‌های ایران است که در آن از روش‌های پیشرفته برای آبیاری و زهکشی اراضی استفاده می‌شود. آب مورد نیاز این طرح از رودخانه دز تأمین گردیده و برای کنترل، مهار و تنظیم جریان آب آن اقدام به ساخت سدهای مخزنی، تنظیمی و انحرافی بر روی این رودخانه شده است. این شبکه از مجموع تعدادی از کشت و صنعت‌ها، ادارات و باغداران تشکیل شده است. کیفیت آب رودخانه دز از نظر کشاورزی در حد بسیار مطلوب بوده و وجود سه رودخانه دز، کرخه و شاوور باعث گردیده این منطقه یکی از پر آب‌ترین مناطق ایران محسوب گردد. متوسط میزان بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر بوده و فصل بارش معمولاً از اواسط آبان آغاز و در اواسط اردیبهشت به پایان می‌رسد.

به‌لحاظ کشاورزی کیفیت اراضی این شبکه در حد مطلوب بوده می‌باشد. اراضی منطقه نسبتاً هموار، متوسط شیب طبیعی آن‌ها حدود یک متر برای هر کیلومتر در جهت شمالی-جنوبی می‌باشد. عمده محصولات کشاورزی منطقه شامل: گندم، ذرت، نیشکر، مرکبات، چغندرقند، سبزیجات می‌باشد. (KWPA Technical Rep,2016.)

در شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی نشان داده شده است.

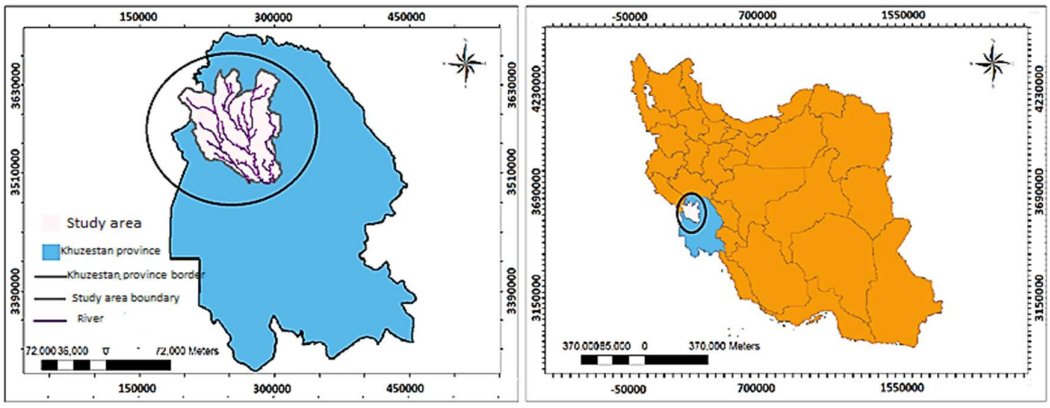



**Fig. 1- Location of the study area in the country and Khuzestan province**

**شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در کشور و استان خوزستان**

*DOI:* 10.22055/jise.2024.43688.2075

**مدل SWAT**

در مطالعه حاضر از مدل هیدرولوژیکی SWAT نسخه ۲۰۱۲ به‌منظور ارزیابی تأثیر کود دهی بر میزان نیترات شبکه آبیاری و زهکشی دز استفاده شد. مدل SWAT یکی از مدل‌های جامع ارائه شده توسط سازمان تحقیقات کشاورزی آمریکا در سال ۱۹۹۸ در مقیاس حوضه‌ی آبخیز است (Abbaspour et al., 2007). این مدل به‌منظور بررسی و پیش‌بینی تأثیر روش‌ها و شرایط مختلف مدیریتی بر فرایندهای جریان رواناب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با نوع خاک و کاربری اراضی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی طراحی شده است. مدل SWAT به‌جای استفاده از روابط رگرسیونی در برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی، برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی مربوط به مواردی از قبیل حرکت آب، رشد گیاه و سیکل مواد غذایی در خاک نیازمند ورودی‌هایی مانند توپوگرافی، نقشه‌ی خاک، نقشه‌ی کاربری اراضی، داده‌های اقلیمی (بارش، دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و تشعشعات خورشیدی)، انتقال آب بین حوزه‌ای، منابع آلودگی نقطه‌ای و روش‌های مدیریتی زمین‌ها است (Abbaspour et al., 2015). در این مدل یک حوضه به چندین زیرحوضه تقسیم می‌شود و سپس هر زیرحوضه به تعدادی واحد پاسخ هیدرولوژیکی Hydrologic Response Unit (HRU) تقسیم‌بندی می‌گردد و جزئیات مکانی را شبیه‌سازی می‌کند. واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) واحد اصلی شبیه‌سازی است که به‌عنوان یک منطقه کلی متشکل از پوشش اراضی، ویژگی‌های خاک و شیب همگن می‌باشد. بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، واحدهای واکنش هیدرولوژیک، تالاب یا اراضی مرطوب، آب زیرزمینی، فرسایش، رشد گیاهان، چرخه عناصر غذایی، آفتکش‌ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان می‌باشد. شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژی در حوضه شامل دو مرحله است (Neitsch et al., 2011). نخستین مرحله فاز زمین چرخه هیدرولوژی است که کنترل‌کننده مقدار آب ، عناصر غذایی و بار آفت کش‌ها در کانال اصلی در هر زیرحوضه است. مرحله دوم، فاز روندیابی چرخه هیدرولوژی است که شامل حرکت آب و غیره در طول شبکه کانال حوضه تا خروجی آن می‌باشد. مدل برای روندیابی مواد مغذی در آبراهه‌ها از مدل QUAL2E استفاده می‌کند. مبانی عملکرد گیاهی در مدل SWAT بر اساس مدل رشد گیاهی Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) می‌باشد که در آن رشد گیاه براساس گرمای روزانه تجمعی شبیه‌سازی می‌شود (Mohammadi et al., 2017). در این مدل رشد گیاهی برمبنای کمبودهای آب، فسفات، نیترات و گرما محدود می‌شود. مدل SWAT برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان تحت تأثیر عوامل بسیاری مانند متغیرهای هواشناسی (تابش خورشیدی، دمای متوسط و ...)، متغیرهای گیاهی (شاخص سطح برگ)، متغیرهای مدیریت کشاورزی (کوددهی، تاریخ کشت و برداشت) و متغیرهای آبیاری (عمق و دور آبیاری) می‌باشد (Ahmadzadeh et al., 2013).

چرخه هیدرولوژی بر پایه معادله بیلان آب استوار است که از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{I=1}^{T}\left(R_{dey} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق: $SW_t$ : مقدار فعلی آب در خاک، $SW_0$: مقدار اولیه آب در خاک ، $R_{dey}$: مقدار بارندگی در روز iام، $Q_{surf}$: مقدار رواناب در روز iام، $E_a$: مقدار تبخیر و تعرق در روز iام، $W_{seep}$: مقدار تبخیر و تعرق روزانه در روز iام، $Q_{gw}$: مقدار آب وارده شده از پروفیل خاک به ناحیه غیراشباع در روز iام: مقدار جریان برگشتی در روز iام.

**داده‌های ورودی به مدل**

ورودی‌های مدل شامل نقشه ارتفاعی رقومی منطقه، نقشه کاربری اراضی/ پوشش، نقشه خاکشناسی منطقه و اطلاعات اقلیمی می‌باشد (جدول ۱). اطلاعات توپوگرافی را می‌توان با استفاده از منحنی‌های خطوط تراز در نرم‌افزار ArcGIS تهیه نمود یا از نقشه‌های آماده مراکز استفاده کرد. به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش حاضر اطلاعات مورد نیاز در شش بخش شامل: اقلیمی، هیدرومتری، فیزیوگرافی، داده‌های خاک، نقشه کاربری اراضی و فعالیت‌های کشاورزی جمع‌آوری شدند. داده‌های مربوط به دما، بارندگی، رطوبت نسبی و تبخیر به‌صورت روزانه از ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی طی دوره آماری ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ تهیه و به مدل معرفی شد. به‌منظور تهیه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU)، از نقشه‌ی رقوم ارتفاعیDigital elevation model (DEM) با رزولیشن ۵۰ متری، نقشه خاک جهانی فائو و نقشه کاربری اراضی منطقه در هشت کلاس استفاده شد. همچنین الگوی کشت، میزان عملکرد و کوددهی محصولات براساس داده‌های دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان تهیه و به مدل معرفی شدند (جدول ۲). از طرفی از اطلاعات روزانه پنج ایستگاه هیدرومتری برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT استفاده شد (جدول ۳). نقشه (DEM)، جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی حوضه مطالعاتی در شکل (۲) ارائه شده است. در نهایت برای بررسی میزان تأثیر کوددهی بر میزان نیترات خروجی در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب سناریوهای کاهش ۱۰، ۲۰، ۳۰،۴۰، ۵۰، ۶۰ و۷۰ درصد کوددهی در مدل اجرا شد.

**جدول ۱- اطلاعات ورودی به مدل برای شبیه‌سازی شبکه آبیاری زهکشی دز**

**Table 1- Input information to the model for simulating Dez irrigation and drainage network**

| Data | Data source |
|---|---|
| (DEM) Digital elevation model | |
| Soil map | (FAO) United States Food and Agriculture Organization |
| Land use map | Khuzestan Province Agricultural Jihad Organization |
| Meteorology data | Iran Meteorological Organization |
| Hydrometric data | Khuzestan Water and Power Organization |
| Management and agricultural data | |
| Fertilization data | Khuzestan Province Agricultural Jihad Organization |

**جدول ۲- الگوی کشت و میزان کود دهی محصولات زراعی اعمال شده در مدل SWAT**

**Table 2- Cultivation pattern and fertilization rate of crops applied in SWAT model**

| Row | Product | Cultivation percentage | Planting date | Harvest date | Performance) (Ton/ha | Amount of fertilizer (Kg/ha) used | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Urea | Phosphorus |
| 1 | wheat | 33 | 1December | 20May | 4/08 | 300 | 100 |
| 2 | corn | 25 | 21July | 12October | 6 | 400 | 100 |
| 3 | Sugarbeet | 7 | 2October | 10May | 67 | 350 | 100 |
| 4 | Alfalfa | 6 | 2October | 19March | 18/5 | 100 | 50 |
| 5 | barley | 6 | 1December | 15May | 3 | 250 | 75 |
| 6 | vegetables | 7 | 2October | 30April | 22 | 150 | 50 |
| 7 | tomato | 3 | 1December | 19April | 40 | 200 | 100 |
| 8 | onion | 3 | 1September | 10March | 40 | 200 | 100 |
| 9 | sunflower | 4 | 29February | 1August | 2/5 | 200 | 100 |
| 10 | Citrus | 6 | - | 21November | 10 | 400 | 100 |

**جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه**

**Table 3- Specifications of the hydrometric stations of the studied area**

| Row | Station name | River | Eevation | Longitude | Latitude |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Bamdej | Dez | 20 | 37-68-48 | 08-41-31 |
| 2 | Harmaleh | Dez | 38 | 24-31-48 | 82-57-31 |
| 3 | Shawoor bridge | Shawoor | 60 | 03-15-48 | 09-03-32 |
| 4 | Shushtar | Karon | 1215 | 07-85-48 | 00-05-32 |
| 5 | Arab asad | Karon | 26 | 33-88-48 | 19-85-31 |

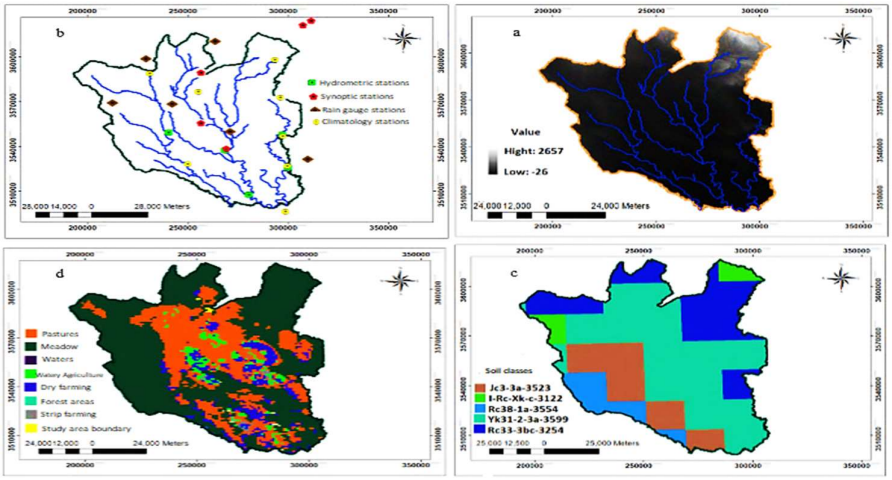



**Fig. 2- a: elevation map, b: location map of hydrometric stations, c: soil map, d: land use**

**شکل ۲- a: نقشه رقوم ارتفاعی، b: نقشه جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری، c: نقشه خاک، d: کاربری اراضی**

*DOI:* 10.22055/jise.2024.43688.2075

**آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی**

مدل‌های هیدرولوژیک توزیع شده از جمله SWAT دارای پارامترهای زیادی هستند که بهینه‌سازی پارامترها به‌وسیله عملیات واسنجی و اعتبارسنجی صورت می‌پذیرد که به‌علت پیچیدگی مدل واسنجی دستی مشکل و تقریباً ناممکن است. بنابراین SWAT–CUP یک برنامه عدم قطعیت مدل SWAT است که برای تحلیل حساسیت که منجر به انتخاب پارامترهای کلیدی برای واسنجی مدل SWAT و اعتبارسنجی نتایج، طراحی شده است. با استفاده دو عامل t-test و p-value تست حساسیت مدل ارزیابی می‌شود (Akhavan et al., 2010). t-test نشان‌دهنده حساسیت پارامتر است، هر چه قدرمطلق مقدار t-test بیش‌تر باشد، حساسیت پارامتر بیش‌تر خواهد بود. مقدار p-value نیز اهمیت t-test را نشان می‌دهد به‌طوری که هرچه مقدار p-value کم‌تر باشد با درجه اطمینان بیش‌تری می‌توان گفت که پارامتر حساس است. SWAT – CUP می‌تواند روش‌های مختلف واسنجی و عدم قطعیت را به‌کار گیرد (Moriasi et al., 2007). روش‌های SUFI-2، PSO، GLUE، ParaSol و الگوریتم‌های مونتکارلو و زنجیره مارکوف برای واسنجی مدل به‌کار می‌رود .الگوریتم SUFI-2 یکی از برنامه‌های بسته نرم‌افزار SWAT – CUP است که در بسیاری از منابع برای انجام واسنجی از آن استفاده می‌شود. به‌منظور برازش صحیح میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی از دو فاکتور P-factor و R- factor استفاده می‌شود. معیار P-factor بیانگر درصدی از داده‌های اندازه‌گیری شده است که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد (ppu۹۵) قرار می‌گیرند. معیار R-factor نیز از تقسیم ضخامت باند ppu۹۵ بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده به‌دست می‌آید که مقدار آن هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتری است (NeitSch et al., 2011).

**ارزیابی مدل**

برای ارزیابی مدل SWAT روش‌های مختلفی به کار می‌رود که ضریب تعیین و ضریب نش – ساتکلیف از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. هرکدام از این شاخص‌ها در محدوده‌های مشخصی قرار می‌گیرند. در جدول (۴) محدوده ضرایب NSE و $R_2$ ارائه شده است.

**ضریب تعیین ($R^2$)**

ضریب تعیین ($R^2$) درجه خلوص بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را بیان می‌کند. ضریب همبستگی که از ۱– تا ۱ متغیر است، شاخصی است که رابطه خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را بیان می‌کند. اگر این شاخص برابر صفر باشد به معنای این است که هیچ رابطه خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود ندارد، اگر برابر ۱– یا ۱ باشد به‌معنای این است که رابطه خطی منفی یا مثبت کامل بین داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی وجود دارد. $R^2$ در محدوده صفر تا ۱ قرار دارد و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده واریانس خطای کم‌تر است و معمولاً مقادیر بالاتر از ۰/۵ قابل قبول است.

$$R^2 = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(o_i-\bar{o})\times(p_i-\bar{p})\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(o_i-\bar{o})^2}\times\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i-\bar{p})^2}}\right] \qquad (۲)$$

که در آن: n: تعداد مشاهدات، oi: مقادیر مشاهده شده، pi: مقادیر شبیه‌سازی‌شده، $\bar{o}$: میانگین مقادیر مشاهده شد، : $\bar{p}$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده.

**ضریب نش- ساتکلیف** (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i^{obs}-y_i^{sim}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i^{obs}-y_i^{mean})^2} \qquad (۳)$$

ضریب نش – ساتکلیف (NSE) بیانگر اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد (Nash and Sutcliffe, 1970). مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی‌نهایت متغیر می‌باشد. ضریب نش – ساتکلیف تغییرات مقادیر مشاهداتی را که در طول زمان رخ داده و مورد توجه مدل SWAT می‌باشد را تفسیر می‌کند. تفاوت اساسی بین ضریب نش و $R^2$ در این است که ضریب نش قادر است با تکرار داده‌های مشاهداتی عملکرد مدل را تفسیر نماید. درصورتی‌که ضریب $R^2$ این توانایی را ندارد (Gassman., 2007). که در آن: $y_i^{obs}$: مقادیر مشاهده شده، $y_i^{sim}$: مقادیر شبیه‌سازی‌شده، $y_i^{mean}$: میانگین مقادیر مشاهده شده است.

## نتایج و بحث

**آنالیز حساسیت**

در این تحقیق اثر سناریوهای مختلف کاهش کود دهی (کاهش ۱۰تا ۷۰درصد ) برمیزان خروجی شبکه آبیاری و زهکشی در مورد بررسی قرار گرفت. پس از مدل‌سازی، منطقه مورد مطالعه به ۵۶ زیر حوضه تقسیم شد که با توجه به نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و شیب ۹۲۵ واحد واکنش هیدرولوژیکی (HRU) تشکیل شد. بیش‌ترین مصرف ترکیبات نیترات در اراضی کشاورزی و به‌صورت کودهای نیتراته می‌باشد. غلظت این ترکیبات به میزان نیتروژن آلی و نیتروژن بستگی دارد. میزان تأثیر هرکدام از این پارامترها بر مقدار نیترات متفاوت است. لذا به‌منظور تعیین مؤثرترین پارامتر بر غلظت نیترات فرایند آنالیز حساسیت با هشت پارامتر انجام گرفت نتایج نشان داد غلظت نیترات در سهم آب زیرزمینی در جریان از زیرحوضه (SHALLST_N) و غلظت نیتروژن آلی در کانال (CH_ONCO) در شبیه‌سازی نیترات حساس‌ترین پارامترها در شبیه‌سازی نیترات بودند. همچنین پارامترهای، غلظت اولیه $NO_3$ در لایه خاک (SOL_$NO_3$) کم‌ترین حساسیت را در شبیه‌سازی بار نیترات داشتند. مقادیر نهایی حاصل از آنالیز حساسیت

پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است.

**واسنجی و اعتبارسنجی**

واسنجی و صحت‌سنجی در فرایندهای شبیه‌سازی بعد از آنالیز حساسیت مهم‌ترین مراحل مطالعات مدل‌سازی پارامترهای کیفی منابع آب می‌باشند. در پژوهش حاضر نیز واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWA در شبیه‌سازی نیترات موجود در شبکه آبیاری و زهکشی دز و ایستگاه بامدژ واقع در خروجی حوضه صورت گرفت. علاوه‌بر این ارزیابی توانایی مدل نیز با استفاده از شاخص‌های R-factor، P-factor، ضریب تبیین (R2) و ضریب نش- ساتکلیف (NSE) انجام شد. برای انجام واسنجی و صحت‌سنجی مدل در شبیه‌سازی پارامتر نیترات به‌ترتیب از دوره‌های آماری ۲۰۱۲- ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷-۲۰۱۳ استفاده شد. در جدول (۷) و شکل (۳) نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی ارائه شده است.

مقادیر دو شاخصP-factor، R-factor، در مرحله واسنجی به‌ترتیب برابر با (۰/۱۷) و (۰/۰۸) و در مرحله صحت‌سنجی (۰/۰۹) و (۰/۰۴) می‌باشد و باتوجه به مقادیر این دوشاخص کارایی مدل در مرحله واسنجی بالاتر بوده است. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص(۸۰/۰) $R^2$ و (۵۶/۰) NSE در مرحله واسنجی عملکرد خوب مدل را در شبیه‌سازی نیترات نشان می‌دهد. در مرحله صحت‌سنجی نیز مقادیر این شاخص‌ها به‌ترتیب (۰/۵۷) و (۰/۴۷) است، که بیانگر توانایی مناسب مدل SWAT در ارزیابی نیترات ایستگاه بامدژ می‌باشد. مقادیر به‌دست آمده برای شاخص‌های $R^2$ و NSE در پارامتر نیترات در محدوده‌های به‌دست آمده از یافته‌های Abbaspour et al (2015) , Misaghi و Nouri (2017) و Nouri (2016) قرار گرفته‌اند.

**جدول ٤- محدوده‌های ضرایب NSE و $R^2$ (Basaltpour and Hosseinzadeh, 2016)**

**Table 4- Ranges of NSE and $R^2$ coefficients (Basaltpour and Hosseinzadeh, 2016)**

| assessment's result | Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) | The coefficient of determination ($R^2$) |
|---|---|---|
| very well | $0.75 < NSE \leq 1$ | $0.85 \leq R^2$ |
| Well | $0.65 < NSE \leq 0.75$ | $0.70 < R^2 \leq 0.80$ |
| Satisfactory | $0.50 < NSE \leq 0.65$ | $0.60 < R^2 \leq 0.80$ |
| Unacceptable | $NSE \leq 0.50$ | $R^2 \leq 0.60$ |

**جدول ٥- دامنه اولیه و بهینه پارامترهای حساس نیترات در مدل شبیه‌سازی‌شده**

**Table 5- Initial and optimal range of nitrate sensitive parameters in the simulated model**

| Optimal value | Optimal range | Initial range | Parameter definition | parameter | Row |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.42 | .32-.696 | 0 - 1 | Nitrogen diffusion coefficient | r_NPERCO | 1 |
| 73.84 | 58.4-85 | 0-100 | Concentration of organic nitrogen in runoff, after application of urban BMP | v_ORGN_CON | 2 |
| 80.2 | 79-192 | 0-200 | Organic nitrogen in the base stream | v_LAT_ORGN | 3 |
| 235.02 | 0-671 | 0-1000 | Nitrate concentration in the share of groundwater flowing from the subbasin | v_SHALLST_N | 4 |
| 85.42 | 42.2-100 | 0-100 | Concentration of organic nitrogen in the channel | v_CH_ONCO | 5 |
| 1.89 | 0-3.14 | 0-5 | Organic nitrogen enrichment ratio | v_SOLN_CON | 6 |
| 58.73 | 49.8-79.5 | 0-100 | The initial concentration of NO3 in the soil layer | v__SOL_NO3 | 7 |
| 31.19 | 21.8-43.7 | 0-100 | The initial concentration of organic nitrogen in the soil layer | v__SOL_ORGN | 8 |

*DOI:* 10.22055/jise.2024.43688.2075

**جدول٦- نتایج حاصل از آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر مؤلفه‌های بار نیترات**
**Table 6- Results of the sensitivity analysis of parameters affecting nitrate load**

| t-stat | p-value | Optima value l | parameter | Row | t-stat | p-value | Optimal value | parameter | Row | Parameter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -1/04 | 0/44 | 3/191 | v__SOL_ORGN | 5 | 0/12 | 0/81 | 2/0235 | v_SHALLST_N | 1 | |
| 0/98 | 032 | 1/89 | v_SOLN_CON | 6 | -/24 | 0/75 | 8/425 | v_CH_ONCO | 2 | Nitrate load |
| 1/21 | 018 | 7/843 | v_ORGN_CON | 7 | 0/38 | 0/64 | 0/42 | r_NPERCO | 3 | |
| 1/84 | 0/09 | 80/2 | v_LAT_ORGN | 8 | 0/57 | 0/54 | 5/738 | v__SOL_NO3 | 4 | |

**Table 7- Results of SWAT model efficiency in nitrate load simulation**
**جدول ۷- نتایج حاصل از کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی بار نیترات**

| StdDev_sim (StdDev_obs) | Mean_sim (Mean_obs) | NSE | $R^2$ | R-factor | P-factor | Criterion/ Station | | Parameter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 665(491) | 618(526) | 0/56 | 0/80 | 0/08 | 0/17 | Calibrated | Bamdej | load Nitrate |
| 341(304) | 399(398) | 0/55 | 0/70 | 0/04 | 0/09 | Validated | | |

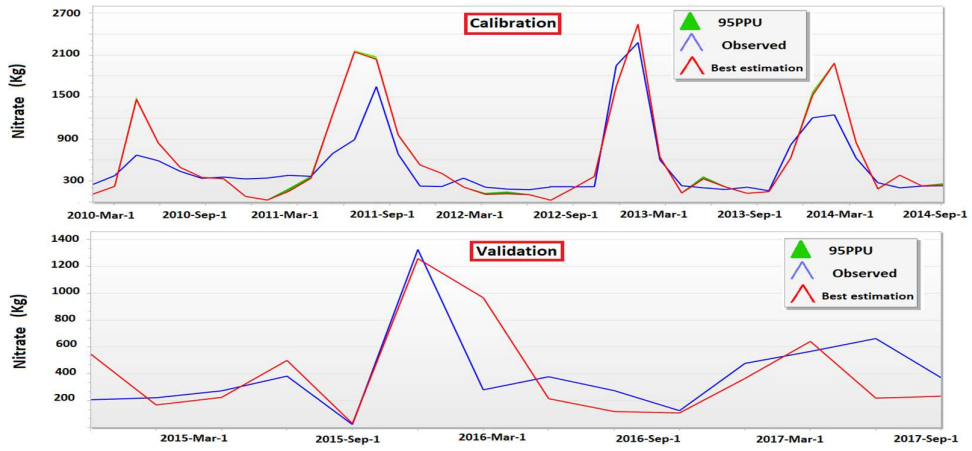



**Fig. 3- Results of calibration and verification of nitrate simulation in SWAT model at Bamdej station**
**شکل ۳- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی حاصل از شبیه‌سازی نیترات در مدل SWAT در ایستگاه بامدژ**

**بررسی تأثیر کاهش میزان کوددهی بر میزان نیترات منطقه**

با توجه به رشد جمعیت و نیاز به تولید بیشتر محصولات استفاده از کودهای شیمیایی نیز افزایش یافته است. استفاده بی‌رویه و کنترل نشده از این نهاده‌ها منجر به کاهش کیفیت منابع آب و خاک حوضه آبخیز می‌شود. نیترات، فسفات و آمونیوم ترکیبات اصلی کودهای شیمیایی را تشکیل می‌دهند. زه‌آب خروجی از اراضی کشاورزی که حاصل شستشوی این ترکیبات از سطح خاک می‌باشد یکی از منابع اصلی آلودگی نقطه‌ای آب‌های سطحی می‌باشد. لذا اعمال مدیریت صحیح مصرف این نهاده‌ها به‌منظور ثبات عملکرد گیاه و کاهش آلودگی امری ضروری به‌شمار می‌رود. در پژوهش حاضر نیز تأثیر سناریوهای کاهش کوددهی به میزان ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصدی بر میزان آلودگی نیترات در شبکه آبیاری و زهکشی دز مورد بررسی قرار گرفت. که نتایج آن در شکل (۴) و جدول (۷) ارائه شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده شکل (۴)، ماه ژوئن (تیر-خرداد) بیش‌ترین بار نیترات و ماه مارس (اسفند-فروردین) کم‌ترین بار را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از دلایل افزایش نیترات در ماه ژوئن، می‌تواند افزایش مصرف کود به‌منظور آماده‌سازی زمین برای کشت دوم باشد. اعمال سناریوها نیز بیش‌ترین تأثیر را در این ماه داشته است. در ماه مارس با توجه به مراحل انتهایی رشد گیاه مصرف کود و به تبع آن بار نیترات نیز کاهش یافته است. براساس نتایج ارائه شده در طول دوره آماری به‌خصوص در مقادیر کم نیترات سناریوها اختلاف چندانی در کاهش میزان نیترات ندارند. این امر می‌تواند به علت پایداری ترکیبات نیترات در خاک و منابع آب باشد. از طرف دیگر کم‌ترین تأثیر در مقدار بار آلودگی نیترات در دوره آماری مورد ارزیابی مربوط به سناریو ۱۰ و بیش‌ترین تأثیر به سناریو ۷۰ اختصاص دارد نتایج به‌دست آمده با یافته های Sheikh Zainuddin et al (2015) که به بررسی اثر استراتژی های مدیریت آبیاری و کود دهی بر تلفات نیتروژن پرداختند و همچنین مطالعه‌های Misaghi و Nouri (2017) که شبیه‌سازی میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه زنجان رود با استفاده از مدل SWAT را انجام داده بود سازگار می‌باشد. به جز در ماه سپتامبر که سناریوهای ۷۰ و ۶۰ درصد باهم برابر شده‌اند. در خصوص پارامتر نیترات با توجه به پایداری این ترکیبات اعمال این سناریوها در زمان آماده‌سازی زمین که مصرف بیش‌تری صورت می‌گیرد و همچنین جایگزین کردن کودهای ارگانیک برای این عمل می‌تواند بار آلودگی نیترات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

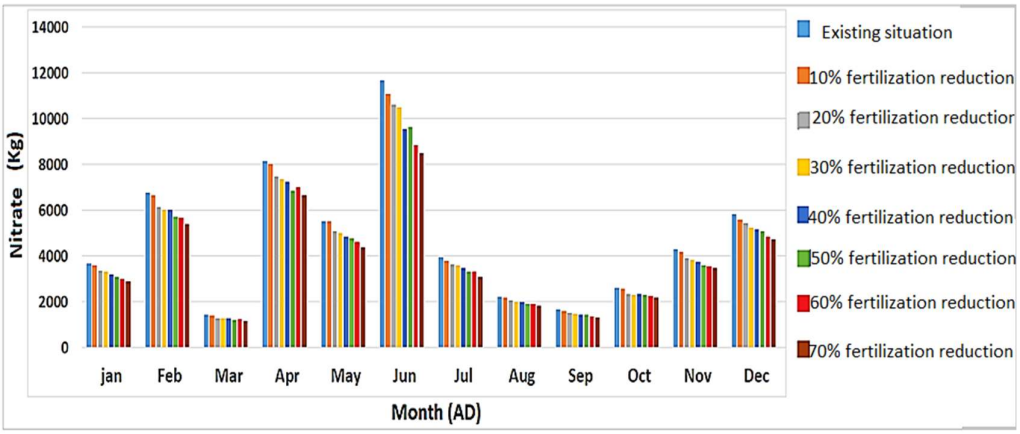



**Fig. 4- Average monthly nitrate load and simulated by applying fertilization reduction scenarios**

**شکل ٤- میانگین بار نیترات ماهانه و شبیه‌سازی شده با اعمال سناریوهای کاهش کود دهی**

**جدول ۸- تأثیر اعمال سناریوهای کاهش کود دهی بر پارامتر نیترات در منطقه مورد مطالعه**

**Table 8- Effect of applying fertilizer reduction scenarios on the amount of nitrate in the study area**

| Parameter | 10% fertilizer reduction | 20% fertilizer reduction | 30% fertilizer reduction | 40% fertilizer reduction | 50% fertilizer reduction | 60% fertilizer reduction | 70% fertilizer reduction |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nitrate | -2/74 | -9/31 | -11/25 | -14/83 | -17/95 | -21/23 | -26/62 |

*Negative values indicate that the applied scenario reduced the studied parameter

*DOI:* 10.22055/jise.2024.43688.2075

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نیز با هدف بررسی تأثیر استراتژی‌های مدیریتی کود دهی بر میزان نیترات خروجی با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی دز) انجام شد. پس از انجام واسنجی و اعتبار سنجی با استفاده از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWATCUP خروجی مدل SWAT با مقایسه بار نیترات با مقادیر مشاهده‌ای در خروجی منطقه مطالعاتی با معیارهای $R^2$ و NSE مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس تأثیر سناریوهای کاهش کود دهی بر میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از $R^2$ برای پارامترهای مورد شبیه‌سازی در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب در محدوده‌های (۰/۹۲-۰/۵۹) و (۰/۸۳-۰/۵۸) و NSE نیز در محدوده‌های (۰/۷۶-۰/۵۴) و (۰/۵۷-۰/۴۵) قرار گرفتند که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی نیترات می‌باشد.

نتایج حاصل از اعمال سناریوهای کود دهی بر میزان آلودگی نشان می‌دهد که بیش‌ترین میانگین کاهش نیترات به میزان ۲۶/۶۲ در سناریوی ۷۰ درصد کاهش کوددهی صورت پذیرفته و کاهش ۱۰درصد کود دهی منجر به کاهش ۲/۷۴ درصدی نیترات خروجی گردیده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده عوامل مختلفی از قبیل زمان کود دهی، میزان آبیاری، روش آبیاری و میزان نیاز محصولات الگوی کشت به کود می‌تواند بر میزان آلودگی آب‌های سطحی اثرگذار باشد. مطابق نتایج به‌دست آمده برای حفاظت کیفی از منابع آب با صرف هزینه و سیاست‌گذاری مناسب می‌توان گام مهمی در بخش کنترل کودهای شیمیایی برداشت. استفاده بهینه از کود، جایگزین کردن کودهای ارگانیک به‌جای کودهای شیمیایی،اعطای تحصیلات بانکی به کشاورزان برای استفاده از تجهیزات و روش‌های نوین کوددهی و آبیاری در سطح مزرعه و همچنین افزایش قیمت خرید محصولات کشاورزی می‌تواند علاوه برکاهش آلودگی منابع آب منجر به بهبود عملکرد گیاهان در شرایط کاهش مصرف کود و جلوگیری از کاهش سود کشاورز شود. در این مسیر استفاده از مدل‌هایی نظیر SWAT که توانایی ارزیابی سناریوهای مدیریتی مختلف در سطح حوضه‌های آبخیز را دارا می‌باشد، می‌تواند راهکار مؤثری برای تدوین برنامه‌های مدیریت آب و خاک باشد.

ضروری است میزان تأثیر اعمال سناریوهای کاهش کوددهی بر روی عملکرد گیاهان و همچنین تأثیر اقتصادی آن بصورت توامان مورد بررسی قرارگرفته تا بتوان آنالیز منطقی و همه جانبه در زمینه انجام و سپس تصمیم مناسب را اتخاذ نمود.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

## منابع مالی

حمایت های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه GN:SCU.WI98.280 صورت گرفته است.

## دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

## پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

## اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان در مقاله خود از هوش مصنوعی مولد و فناوریهای کمکی هوش مصنوعی استفاده نکرده اند.

## مشارکت نویسندگان

**نویسنده اول:** عباس بختیاری فر، تجزیه و تحلیل داده‌ها.

**نویسنده دوم:** محمد الباجی، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نگارش مقاله.

**نویسنده سوم:** منا گلابی، بررسی نتایج.

**نویسنده چهار:** سعید برومندنسب، بررسی نتایج.

**نویسنده پنجم:** علی شاهنظری، نگارش مقاله.

## سپاسگزاری

این مقاله از رساله دوره دکترای تخصصی در دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی میگردد .همچنین نویسندگان مقاله مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاری سازمان آب و برق خوزستان در ارائه آمار و اطلاعات ادواری مربوط به شبکه آبیاری و زهکشی دز و ایستگاه های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه اعلام می نمایند.

## References

1- Ababei, B. and T. Sohrabi., 2009. Assessing the performance of SWAT model in Zayandeh Rud Watershed. *Journal of Water and Soil Conservation,* 16(3): 41-58. DOI: 20.1001.1.23222069.1388.16.3.3.7 (In Persian).

2- Abbaspour K.C., Yang ,J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R., 2007. Modelling hydrology and water quality in theprealpine/alpineThur watershed using SWAT, J*ournal of Hydrology* 333: 413– 430. DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.

3- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. and Klove, B., 2015. A continentalscale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*. 524: 733–752. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.03.027

4- Ahmadzadeh, H., Murid, S. and Delaver, M., 2013. Evaluation of changes in the performance of agricultural products and input to Lake Urmia in the Zarinerood basin under the influence of changing irrigation systems from surface to pressurized using the SWAT model. *Journal of Irrigation and Drainage of Iran*, 8(1): 1-15. DOI: 20.1001.1.20081758.1400.17.2.3.1

5- Akhavan, S., Abedi, j., Mosavi, S, F., Abbaspour, K., Afyoni, M. and Eslamian, S., 2010. Estimation of "blue water" and "green water" using SWAT model in Hamadan-Bahar watershed. *Water and soil Sciences* (agricultural sciences and techniques and natural resources), 14(53): 9-23. DOI: 10.22067/geo.v8i3.81998 (In Persian).

6- Akhavan, S. and Jodi Hameze Abad, A., 2015. Simulation of Inflow to Urmia Lake Using SWAT Model. *Journal of Water and Soil Science*, 19(72): 23-34. DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.3 (In Persian).

7- Albaji, M., 2010. Land suitability evaluation for sprinkler irrigation systems. *Khuzestan Water and Power Authority (KWPA), Ahwaz, Iran (in Persian)*, *14*(3), pp.16-25.

8- Annual report of Khuzestan Water and Electricity Organization, 2016. Exploitation of irrigation networks in North Khuzestan region, KWPA Technical Rep, p13

9- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and Williams, J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part 1: model development. American Water Resources Association.volume 34, 73–89. DOI:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.

10- Basaltpour, A. and Hosseinzadeh, N., 2016. *Theory & training step by step construction and implementation of SWAT model.* Valiasr University of Rafsanja. (In Persian).

11- Bindra, S.P., Lawafi, A., Abulifa, S. and Gouma, M., 2014. Change and Development in Biological Civil & Environmental Engineering Education in Libya. *International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering (*BCEE-2014) March 17-18, 2014 Dubai (UAE*).* DOI:10.15242//LLCBE.C0314079

12- Gassman, P.W., Reyes, M. R., Green, C. H. and Arnold, J. G. 2007. The soil and water assessment tool historical development, applications, and future research directions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50(4), 1211–1250. DOI: 10.13031/2013.23637

13- Giri, S., Qiu, Z., Prato, T. and Luo, B., 2016. An integrated approach for targeting critical source areas to control nonpoint source pollution in watersheds. *Water Resour Management.* Volume 30, 5087–5100. DOI: 10.1007/s11269-016-1470-z

14- Jingyuan, J., Shiyu, L., Jiatang, H. and Huang, J., 2014 .A modeling approach to evaluating the impacts of policy-induced land management practices on non-point source pollution: A case study of the Liuxi River watershed, China. *Agricultural Water Management Volume* 131:1-16. DOI: 10.1016/j.agwat.2013.09.005

15- Li S., Li J., Xia J. and Hao G., 2021. Optimal control of nonpoint source pollution in the Bahe River Basin, Northwest China, based on the SWAT model. *Environmental Science and Pollution Research*, DOI: 10.1007/s11356-021-14869-4

16- Misaghi, F. and Nouri, M., 2017. Simulating the amount of nitrate entering the river from agricultural land using the SWAT model (case study: Zanjan River). *Iran Water Resources Research*, 14(2): 155-168. DOI: 10.22104/AET.2020.4298.1214 (In Persian)

17- Mohammadi, M., Kavian, a. and Gholmi, L., 2017. Simulation of discharge and water nitrate in Talar watershed using SWAT model. *Watershed Management Research Journal,* 8(15):45-60. DOI: 10.29252/jwmr.8.15.45

18- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*. 50(3): 885-900. DOI: 10.13031/2013.23153

19- Naseri, A.A., Albaji, M., Boroomand Nasab, S., Landi, A., Papan, P., Bavi, A.2009. Land suitability evaluation for principal crops in the Abbas Plain, Southwest Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment*.7 (1): 208-213. DOI: https://doi.org/10.1234/4.2009.1502

20- Nash, J. and Sutcliffe, J., 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6

21- Nazari-Sharabian, M., Taheriyoun, M., Ahmad, S., Karakouzian, M. and A. Ahmadi., 2019. Water quality modeling of Mahabad Dam watershed–reservoir system under climate change conditions, using SWAT and system dynamics. *Water* 2019, 11, 394. DOI: 10.3390/w11020394.

22- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Decumention version 2009 (user, manual). *Texas Water Resources Institute*, 647 pp. DOI: 10.4236/jwarp.2010.25047

23-Nouri, Z., Selajqa, A., Malekian, A. and Moghadamniac, A., 2016. Investigating the effect of the best management measures in reducing point and non-point sources of water pollution using the SWAT model (case study: Simre watershed, Simre river). - *Iran Water and Soil Research*, Volume 48, Number 5, Bahman and Esfand 99-106. DOI: 10.22059/ijswr.2018.225610.667617 (In Persian) .

24- Qiang, W and YuSchilling, H., 2021. Identifying critical source areas of nonpoint source pollution in a watershed with SWAT–ECM and AHP methods. *Hydrology Research,*.52(6), 1184 DOI: 10.2166/nh.2021.010.

25- Schilling, K. E. and Wolter, C.F., 2009. Modeling nitrate-nitrogen load reduction strategies for the Des Moines River, Iowa Using SWAT. *Environmental Management*, 44 (4), 671–682. DOI: 10.1007/s00267-009-9364-y

26- Sheikhi Grakoui, K., Navabian, M., Vazifeh Dost, M., 2017. Investigating the accuracy of salinity simulation using heavy metals and nitrogen cycle in SWAT model (case study: Navroud watershed). *Iran Water and Soil Research*, 94(1): 25-37. DOI: 10.22059/ijswr.2017.207586.667467. (In Persian).

27- Sheikh Zainuddin, A., Esmaili, A. K. and M. Sebet., 2015. Policy incentives to reduce nitrate leaching in agricultural fields: the study area of Drudzen irrigation and drainage network. *Agricultural Economics and Developmen*t, 30(2): 127-135. DOI: 10.22067/jead2.v30i2.40451

28-. The United Nations World Water Development Report 2021**,** Published in 2021 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

29- Wu, Q and Yu, H., 2021. Identifying critical source areas of nonpoint source pollution in a watershed with SWAT–ECM and AHP methods. *Hydrology Research,* 52(6), 1184 DOI: 10.2166/nh.2021.010

30- Zarei Gorkhodi, A., Shahnazari, A. and F. Mohammadi., 2022. Evaluating the effect of dams on two parameters of runoff and sediment using SWAT model (case study: Tejn River watershed, Mazandaran). *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 16(2): 294-307. DOI: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.3.2 (In Persian).

31- Zhang, X. and Zhang, M., 2011. Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff. *Journal of Science of the Total Environment*, 409(10):1949-1958. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.02.012.