



A comprehensive review of integrated modeling studies of surface water and groundwater resources using SWAT and MODFLOW models

Omid Raja^{1✉}, Masoud Parsinejad², and Afshin Khorsand³

1. Corresponding author, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: omid.raja@ut.ac.ir
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: parsinejad@ut.ac.ir
3. Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: af.kh67@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 13 November 2024

Received in revised form 31

January 2025

Accepted 13 April 2025

Available online 22 June 2025

Keywords:

balance component,

MODFLOW-NWT,

recharge,

SWAT,

water resources.

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to comprehensively review the studies conducted on surface water and groundwater resources modeling using SWAT, MODFLOW, and SWAT-MODFLOW models and analyze their limitations and capabilities.

Method: The research team was built by publishing an online environment among colleagues. The project was described in the online environment and the work steps were explained. The sample of articles included 235 articles from SID, Magiran, Scopus and ScienceDirect databases with keywords "SWAT", "MODFLOW", "SWAT-MODFLOW" until 1403. The titles of the articles, abstracts and, if necessary, parts of the articles were studied in order to answer the main question of the study, which is to investigate the limitations and capabilities of surface water and groundwater resource modeling.

Results: Investigations have shown that the uncertainty in determining recharge parameter will have a significant effect on the results of the simulation of the underground water flow and the estimation of the water balance components. Various methods and models have been used to determine the amount of groundwater recharge caused by deep infiltration and irrigation return flows, such as SWAT, WATLAC, HEC_HMS, HYDRUS, MOBIDIC, etc. These models are often used in combination with the MODFLOW groundwater model to increase the accuracy in the simulation of the groundwater level and the effectiveness of different scenarios of combined extraction from surface and groundwater sources on the components of the water balance. In general, the studies have shown that the SWAT model is a comprehensive surface water simulation model for estimating recharge and evapotranspiration at the watershed scale; So that the effect of recharge values obtained from SWAT model as one of the most important input components of groundwater models in the simulation of water level and groundwater balance components using MODFLOW model as a comprehensive and integrated model of surface water and groundwater resources (SWAT-MODFLOW) has been approved in most studies. In total, the results of the research show that SWAT-MODFLOW integrated model can be used as a practical tool in explaining the appropriate exploitation pattern of integrated surface and underground water resources under the influence of different management scenarios.

Conclusions: This study provides an in-depth understanding of the use of surface water and groundwater models to researchers and managers, so that they can use the best tools based on available data and tools, and appropriate to the objectives of the studies. The use of these models can be used as a guide for the optimal and sustainable allocation of surface water and groundwater resources in competitive and highly fragile basins.

Cite this article: Raja, O., Parsinejad, M., & Khorsand, A. (2025). A comprehensive review of integrated modeling studies of surface water and groundwater resources using SWAT and MODFLOW models. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 5 (2), 22-52. <https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11367.1144>



© The Author(s)

<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11367.1144>

Publisher: Razi University.

Introduction

The requirement for planning and managing water resources, especially in critical situations, is a comprehensive understanding of its ambiguous and complex situation. Obviously, the requirement of this knowledge is to have a tool that does not have a general and brief view of these conditions, so that it can take into account all the ongoing processes in the surface and subsurface systems. The components of the surface water and groundwater balance must be determined with proper accuracy. Considering the expansion of numerical models over the past two decades, there is still a lack of comprehensive models for integrated management of surface water and groundwater resources. Especially, the connection of surface water and ground water models; So not only do the results of the surface water models affect the inputs of the groundwater system, but also consider the effect of the groundwater system in the unsaturated zone and especially the root development zone. On the other hand, in recent decades, supplying the required water from groundwater sources has led to the development of management strategies for exploiting surface water and groundwater resources. These models can be used to optimize water consumption according to the pattern of supplying irrigation needs of agricultural lands from consolidated sources

Method

Many studies of SWAT, MODFLOW, and combined SWAT-MODFLOW models have been used in small or large watersheds to estimate water balance components (runoff, recharge, exchange rate, and interaction between surface water and groundwater resources). In this study, a comprehensive review of the use of these models has been done so that the capabilities and limitations of each model have been explained and finally summarized. This work is an effort of Iranian researchers. The research team was built organically by circulating an open invitation for coauthors among colleagues. The invitation described the project, explained the online work environment, listed requirements for coauthorship, and generally followed recommendations for conducting an open, online paper. The sample of papers included 235 articles from the SID, Magiran, Scopus, and ScienceDirect databases with the keywords SWAT, MODFLOW, and SWAT-MODFLOW up through 2024.

Results

Surveys show that groundwater models such as MODFLOW have been accepted as a standard groundwater flow simulation model; however, in this model, the amounts of recharge caused by rainfall and return flows of irrigation water are defined, as one of the most important input components of groundwater models, as a percentage of rainfall and total irrigation water. Investigations have shown that the uncertainty in determining this parameter will have a significant effect on the results of the simulation of the underground water flow and the estimation of the water balance components. Various methods and models have been used to determine the amount of groundwater recharge due to deep percolation and irrigation return flows. These models are often used in combination with the MODFLOW groundwater model to increase the accuracy in the simulation of the groundwater level and the effectiveness of different scenarios of combined extraction from surface water and groundwater sources on the components of the water balance. Investigations have shown that the SWAT model is a comprehensive surface water simulation model for estimating recharge and evapotranspiration at the watershed scale (Aloui et al., 2023). Therefore, the effect of recharge values obtained from the SWAT model as one of the most important input components of groundwater models in the simulation of water table and groundwater balance components using the MODFLOW

model as a comprehensive and integrated model of surface water and groundwater resources has been confirmed in most studies. In other studies, other models of simulating surface runoff, recharge and groundwater were used with the approach of simulating and optimizing the hydrological components of the catchment basin, and finally evaluating the state of combined exploitation of surfacewater and groundwater resources. The effect of water saving solutions and climate changes, in most of them the MODFLOW model has been used, on the groundwater level and water balance components have been investigated.

Conclusions

The use of comprehensive and integrated models of surface and underground water resources such as SWAT-MODFLOW can be a good tool in examining the water balance components and evaluating the implementation of different management and exploitation scenarios; But due to the large volume of information in modeling, the data must have sufficient temporal and spatial distribution and they must have proper accuracy. Because the uncertainty in the use of the data will be effective in achieving the desired results and estimating the components of the water balance. Overall, these models can be used as a guide for optimal allocation and a practical tool in explaining the pattern of sustainable and appropriate exploitation of consolidated surface water and groundwater resources under the influence of different management scenarios in competitive and very fragile basins. This study provides an in-depth understanding of the use of surface water and groundwater models to researchers and managers, so that they can use the best tools based on available data and tools, and appropriate to the objectives of the studies

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data and links available on request from the authors.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

Not applicable.

Acknowledgements

The authors from the University of Tehran and Urmia Lake Restoration Headquarters who provided the access to the information needed to prepare this article express their gratitude

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



مروری جامع بر مطالعات مدل سازی تلفیقی منابع آب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از

مدل های SWAT و MODFLOW

امید رجا^۱، مسعود پارسی نژاد^۲، و افشین خورسند^۳

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: omid.raja@ut.ac.ir

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: parsinejad@ut.ac.ir

۳. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: af.kh67@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف: هدف این مطالعه بررسی جامع مطالعات انجام شده مدل سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل های SWAT، MODFLOW و SWAT-MODFLOW و تجزیه و تحلیل محدودیت ها و قابلیت آن ها بود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

روش پژوهش: تیم تحقیقاتی با انتشار یک محیط آنلاین در میان همکاران ساخته شد. پروژه در محیط آنلاین تشریح و مراحل انجام کار توضیح داده شد. نمونه مقالات شامل ۲۳۵ مقاله از پایگاه های اطلاعاتی Magiran، SID، Scopus و ScinceDirect با کلید واژه های "SWAT"، "MODFLOW"، "SWAT-MODFLOW" تا سال ۱۴۰۳ بود. عناوین مقالات، چکیده ها و در صورت نیاز، بخش هایی از مقالات مطالعه شد تا به سوال اصلی مطالعه یعنی بررسی محدودیت ها و قابلیت های مدل سازی منابع آب سطحی و آب زیرزمینی پاسخ داده شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

یافته ها: بررسی ها نشان داده است که عدم قطعیت در تعیین پارامتر تغذیه آب زیرزمینی، به میزان قابل توجهی در نتایج شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و برآورد مؤلفه های بیلان آب تأثیر خواهد داشت. از روش ها و مدل های متنوعی برای تعیین میزان تغذیه آب های زیرزمینی ناشی از نفوذ عمقی و جریانات برگشتی آبیاری مانند SWAT، WATLAC، HEC_HMS، HYDRUS، MOBIDIC و... استفاده شده است. این مدل ها غالباً در ترکیب با مدل آب زیرزمینی MODFLOW برای افزایش دقت در شبیه سازی سطح آب زیرزمینی و اثربخشی سناریوهای مختلف برداشت توأمان از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر مؤلفه های بیلان آب استفاده شده است. به طور کلی بررسی ها نشان داده است که مدل SWAT به عنوان یک مدل جامع شبیه سازی آب های سطحی برای برآورد تغذیه و تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس حوضه آبریز است؛ به طوری که تأثیر مقادیر تغذیه حاصل از مدل SWAT به عنوان یکی از مهم ترین مؤلفه های ورودی مدل های آب زیرزمینی در شبیه سازی تراز سطح ایستابی و مؤلفه های بیلان آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW به عنوان یک مدل جامع و یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی (SWAT-MODFLOW) در اکثر مطالعات تأیید شده است. در مجموع نتایج تحقیقات نشان می دهد از مدل تلفیقی SWAT-MODFLOW می توان به عنوان یک ابزار کاربردی در تبیین الگوی بهره برداری مناسب از منابع آب تلفیقی سطحی و زیرزمینی تحت تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده کرد.

کلیدواژه ها:

تغذیه،

منابع آب،

مؤلفه بیلان،

MODFLOW-NWT،

SWAT

نتیجه گیری: بررسی این مطالعه بینش عمیقی در استفاده از مدل های آب سطحی و زیرزمینی را در اختیار محققین، پژوهشگران و مدیران قرار می دهد تا بتوانند بر اساس داده ها و ابزارهای موجود و متناسب با اهداف مطالعات و چالش های موجود در مناطق مختلف، بهترین ابزارها را به کار گیرند تا عدم قطعیت و خطاهای مدل سازی را به حداقل برسانند. به طور کلی استفاده از این مدل ها می تواند به عنوان راهنمای تخصیص بهینه و پایدار منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه های رقابتی و بسیار شکننده مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: رجا، امید؛ پارسی نژاد، مسعود؛ و خورسند، افشین. (۱۴۰۴). مروری جامع بر مطالعات مدل سازی تلفیقی منابع آب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از مدل های

SWAT و MODFLOW. فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۵ (۲)، ۵۲-۲۲.

<https://doi.org/10.22126/atwe.2024.11300.1143>

© نویسندگان

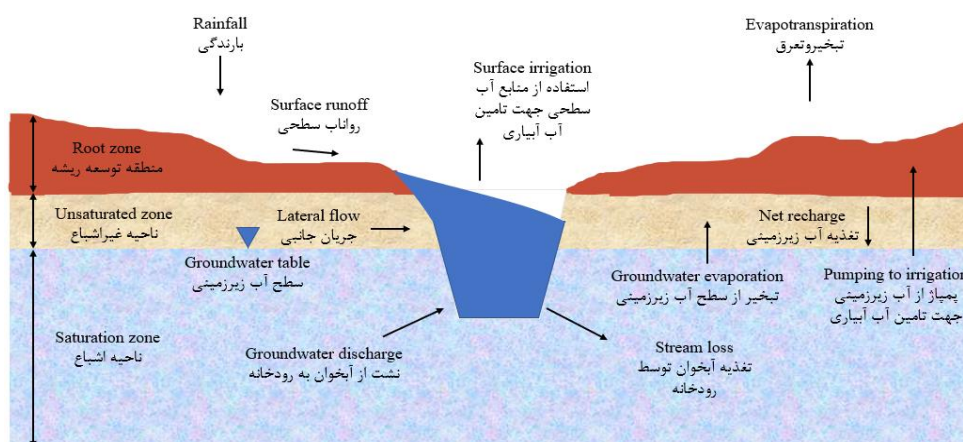
شر: دانشگاه رازی.



مقدمه

تغییرات زمانی و مکانی منابع آب، رابطه مستقیمی با شناخت قوانین حاکم بر چرخه هیدرولوژیک دارد. نگرانی‌ها در خصوص وضعیت منابع آب در شرایطی که حفظ و حتی توسعه شرایط کنونی غیرقابل اجتناب است، پیچیده‌تر نیز می‌گردد (چو و همکاران^۱، ۲۰۱۰). منابع آبی که برای کشاورزی استفاده می‌شود به صورت تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. باتوجه به جانمایی رودخانه‌ها و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری، تبادلات تغذیه و برداشت از منابع آب سطحی و آب زیرزمینی به صورت تومانی صورت می‌گیرد. فعل‌وانفعالات پیچیده بین آب‌های زیرزمینی و سطحی و سطح بالای مداخله انسان در مدیریت تأمین آب آبیاری در مناطق دارای آبخوان و رودخانه یک چالش منحصر به فرد در این زمینه است (وی و ییلی، ۲۰۱۹^۲). باتوجه به این که آب‌های سطحی و زیرزمینی در سامانه هیدرولوژی اجزای جدا از هم نیستند و در مقیاس‌های مختلف مکانی یا زمانی دارای برهم‌کنشی پویا هستند (صابری مهر و همکاران، ۱۳۹۶؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ رجا و همکاران، ۱۴۰۱)؛ لذا برای دستیابی به بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب، مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی و سطحی (تغذیه و تخلیه) و پتانسیل منابع آب زیرزمینی باید بادقت نسبی شناسایی گردد (آرومی و همکاران، ۲۰۰۹^۳).

لازمه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب به‌ویژه در شرایط بحرانی، شناخت کامل و جامع از وضعیت مبهم و پیچیده آن است. بدیهی است لازمه این شناخت، در اختیار داشتن ابزاری است که فاقد نگاه کلی و اجمالی به این شرایط باشد؛ به‌طوری که بتواند کلیه فرآیندهای در حال انجام در سامانه‌های سطحی و زیرسطحی را مدنظر قرار دهد که در شکل (۱) نشان داده شده است؛ بنابراین، ارائه یک مدل جامع با خصوصیات خاص مقیاس زمانی و مکانی که بتواند اثربخشی الگوهای بهره‌برداری تلفیقی بر مؤلفه‌های بیلان آب در محدوده مطالعاتی را برآورد کند به طور قطع خواهد توانست زیرساخت‌های لازم برای حل تناقضات بین عرضه و تقاضای منابع آب را فراهم آورد (کاردان مقدم و همکاران، ۲۰۱۸^۴).



شکل ۱. نمایی از کلیه فرآیندهای سطحی و زیرزمینی

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

مدل MODFLOW به‌عنوان یک مدل استاندارد شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در حالت پایدار و ناپایدار پذیرفته شده است

1. Chu et al
2. Wei & Baiely
3. Arumi et al
4. Kardan Moghaddam et al

(کادرون پالما و بنتلی، ۲۰۰۷^۱؛ بارازولی و همکاران، ۲۰۰۸^۲؛ سیبندا و همکاران، ۲۰۰۹^۳؛ و بدکار و همکاران، ۲۰۱۲^۴). مطالعات متعددی در رابطه با این مدل عددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آن ها اشاره شده است.

۱. مطالعات داخلی

رجا و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعات خود نشان دادند که مقادیر تغذیه حاصل از بارش و نشت از رودخانه ها، کانال های آبیاری و انهار سنتی متأثر از محیط خیس شده متفاوت در مقاطع رودخانه ها و کانال ها بر اساس الگوی متفاوت تشکیل رواناب و برداشت از آن ها در سال های آبی مختلف و همچنین تغذیه ناشی از مدیریت های مختلف آبیاری شامل تأمین مقادیر متفاوت آب آبیاری در سال های مختلف آبی و در پهنه های مختلف دشت حاصل از مدل SWAT به عنوان ورودی مدل آب زیرزمینی MODFLOW مورد استفاده قرار می گیرد.

۲. مطالعات خارجی

اسفوکولئوس^۵ (۲۰۰۵) و اسکالون و همکاران^۶ (۲۰۰۶) در مطالعات خود بیان کردند که در این مدل مقادیر تغذیه ناشی از بارندگی و جریانات برگشتی آب آبیاری به عنوان یکی از مهم ترین مؤلفه های ورودی مدل های آب های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان درصدی از بارندگی و کل آب آبیاری تعریف می شود.

ارزیابی مدل ها در مطالعات اسفوکولئوس و پرکینز^۷ (۲۰۰۰)؛ سان و کورنیش^۸ (۲۰۰۵)؛ و باجورندا و همکاران^۹ (۲۰۰۷) نشان می دهد تلفیق مدل های SWAT و MODFLOW می توانند با ابعاد مختلف مکانی، با شناخت شرایط هیدرولوژیکی در یک منطقه، امکان شبیه سازی دقیق تر تبادلات جریانات آب های سطحی رودخانه ها، انهار طبیعی و زیرزمینی را فراهم آورد.

و در^{۱۰} (۲۰۱۰) در ارزیابی های خود نشان داده است که عدم قطعیت در تعیین این پارامتر، به میزان قابل توجهی در نتایج شبیه سازی جریان آب زیرزمینی تأثیر خواهد داشت. در نتیجه تا زمانی که نرخ دقیق تغذیه به عنوان ورودی مدل جریان آب زیرزمینی برآورد نشود، نمی توان تأثیرات برداشت از آب های زیرزمینی را به درستی ارزیابی کرده و با اطمینان رفتار طولانی مدت یک آبخوان را تحت سناریوهای مختلف مدیریتی تخمین زد.

روش ها و مدل های متنوعی برای تعیین میزان تغذیه آب های زیرزمینی موجود است. در زمینه برآورد دقیق نفوذ عمقی و جریانات برگشتی آبیاری، مدل های مختلفی مانند WATLAC، HEC_HMS، SWAT، HYDRUS، MOBIDIC و... در ترکیب با مدل آب زیرزمینی MODFLOW برای افزایش دقت در شبیه سازی سطح آب زیرزمینی و اثربخشی سناریوهای مختلف برداشت توأمان از منابع آب سطحی و آب زیرزمینی بر مؤلفه های بیلان آب استفاده شده است. بررسی ها نشان داده است که مدل SWAT به عنوان یک مدل جامع شبیه سازی آب های سطحی برای برآورد تغذیه و تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس حوضه آبریز و زیر واحدهای هیدرولوژیکی^{۱۱} (HRU) در سطح حوضه است. از طرفی مدل SWAT در شبیه سازی جریانات زیرسطحی دارای محدودیت است.

در مطالعات نیر و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۱)؛ بیلی و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۶)؛ دولت آبادی و زمردیان^{۱۴} (۲۰۱۶)؛ و چون و همکاران^{۱۵}

1. Calderón Palma & Bentley
2. Barazzuoli et al
3. Sibanda et al
4. Bedekar et al
5. Sophocleous
6. Scanlon et al
7. Sophocleous & Perkins
8. Sun & Cornish
9. Bejranonda et al
10. Wheeler
11. Hydrologic Response Unit
12. Nair et al
13. Bailey et al
14. Dowlatabadi & Zomorodian
15. Chunn et al

(۲۰۱۹) نشان داده شده است که با استفاده همزمان از دو مدل، برآورد نفوذ حاصل از رواناب سطحی و جریان جانبی در خاک به شبکه جریان و امکان بررسی بیلان آب زیرزمینی و برآورد نوسانات سطح ایستابی فراهم است. همچنین، در صورت استفاده همزمان نه تنها محدودیت های دو مدل (برآورد تغذیه در مدل MODFLOW و جریانات زیرسطحی در SWAT) را می توان پوشش داد، بلکه خصوصیات زمانی - مکانی منطقه مورد نظر را به طور مناسبی منعکس کرد (کیم و همکاران،^۱ ۲۰۰۸؛ پارک و بیل،^۲ ۲۰۱۷؛ و وی و همکاران،^۳ ۲۰۱۹).

مزیت مهم دیگر مدل تلفیقی بررسی مؤلفه های بیلان و اندرکنش آب های سطحی و آب زیرزمینی در مقیاس های زمانی و مکانی مؤلفه های بیلان است. درعین حال می توان تغییرات سطح ایستابی و شیب آبخوان تحت الگوهای مختلف برداشت و مدیریت بهره برداری، میزان نرخ برداشت از چاه های بهره برداری از آبخوان تحت سناریوهای مختلف را مدیریت کرد (ایزدی و همکاران،^۴ ۲۰۱۲).

از یک سو سیر گستره نوع فعالیت های بهره برداری از منابع آب و عدم توجه کافی به برنامه ریزی و مدیریت تلفیقی منابع آب و از طرف دیگر عدم توازن مکانی و زمانی توزیع منابع آب و محدودیت های استفاده از آب های سطحی، ضرورت تحقیق در خصوص بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را ایجاب می نماید (کیم و همکاران،^۱ ۲۰۰۸؛ و بیل و همکاران،^۲ ۲۰۱۶). باتوجه به گسترش مدل های عددی طی دو دهه گذشته، هنوز هم کمبود استفاده از مدل های جامع برای ارزیابی و مدیریت همه جانبه و یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد. اتصال مدل های آب سطحی و آب زیرزمینی نه تنها نتایج مدل های آب سطحی، ورودی های سامانه آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می دهد، بلکه تأثیر سامانه آب زیرزمینی در منطقه غیراشباع و به ویژه منطقه توسعه ریشه را نیز مدنظر قرار می دهد. از طرفی در دهه های اخیر، تأمین آب مورد نیاز از منابع زیرزمینی منجر به توسعه استراتژی های مدیریتی توأمان بهره برداری از منابع آب سطحی و آب زیرزمینی شده است. این مدل ها می تواند برای بهینه سازی مصرف آب باتوجه به الگوی تأمین نیاز آبیاری اراضی کشاورزی از منابع تلفیقی مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی در این مطالعه بررسی جامعی از مطالعات شبیه سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط مدل های SWAT، MODFLOW و ترکیب این دو مدل (SWAT-MODFLOW) انجام شده است. هدف اصلی از انجام این مطالعه سنتز مطالعات انجام شده است تا قابلیت ها و محدودیت های مدل های ذکر شده بیان شود تا محققین بتوانند بر اساس این ویژگی ها مدل های مناسب را در مناطق مختلف و چالش های آن ها انتخاب کنند. درعین حال به سایر مقالات جفت شده با مدل MODFLOW نیز در یک بخش به اختصار اشاره شده است.

روش پژوهش

در سال های اخیر مدل های هیدرولوژیکی ظهور کرده است که در آن فرایندهای آب های سطحی و زیرزمینی با هم مرتبط هستند. در این زمینه، مدل های مختلفی در سطح حوضه های رودخانه ای و حتی در مقیاس قاره ای استفاده شده اند. اگرچه اکثریت مدل های به کار گرفته شده در مقیاس کوچک بوده و عمدتاً محدود به مطالعات نظری یا مطالعات خاص دولتی انجام شده و اغلب منتشر نشده اند (گازمن و همکاران،^۵ ۲۰۱۵؛ بارتل و بانزاف،^۶ ۲۰۱۶). برخی از این مدل ها معادلات آب های سطحی و زیرزمینی را همزمان با در نظر گرفتن تبادلات و اندرکنش بین آب های سطحی در کانال ها، رودخانه و آبخوان، در یک بسته نرم افزاری واحد حل می کنند. در حین فرآیند انتخاب مدل های توسعه یافته تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی بایستی ملاحظات از جمله در دسترس بودن داده ها، سهولت استفاده، دقت مطلوب شبیه سازی ها در نظر گرفته شود تا اطمینان حاصل شود که مدل قادر به تأمین خواسته های مطالعه است؛ بنابراین، توسعه یک مدل یکپارچه هیدرولوژیکی همه جانبه که تمام فعل و انفعالات عمده انتقال

1. Kim et al
2. Park & Bailey
3. Wei et al
4. Izady et al
5. Guzman et al
6. Barthel & Banzhaf

آب در یک سامانه کشاورزی در مقیاس بزرگ (در حوضه آبریز) را در کنار اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف و اثربخشی هر کدام از آن‌ها ضروری است؛ به‌طوری‌که با مدیریت منابع آب در سطح این مقیاس می‌توان عوامل انسانی، اجتماعی و مدیریتی همراه با پیچیدگی و ناهمگنی سامانه را شبیه‌سازی و منعکس کرد (ایرواین و همکاران، ۲۰۱۲^۱).

در مطالعات زیادی از مدل‌های SWAT و MODFLOW و همچنین از مدل ترکیبی SWAT-MODFLOW در حوضه‌های آبریز کوچک یا برای تخمین مؤلفه‌های بیلان آب (رواناب، تغذیه، نرخ تبادلات و اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی) استفاده شده است. این مطالعه تلاش محققان ایرانی است. تیم تحقیقاتی با انتشار یک محیط آنلاین در میان همکاران ساخته شد. در این محیط آنلاین، پروژه تشریح و مراحل انجام کار توضیح داده شد. نمونه مقالات شامل ۲۳۵ مقاله از پایگاه‌های اطلاعاتی SID، Magiran، Scopus و ScinceDirect با کلید واژه‌های "SWAT"، "MODFLOW"، "SWAT-MODFLOW" تا سال ۱۴۰۳ بود. عناوین مقالات، چکیده‌ها و در صورت نیاز، بخش‌هایی از مقالات مطالعه شد تا به سوال اصلی مطالعه یعنی بررسی محدودیت‌ها و قابلیت‌های مدل‌سازی منابع آب سطحی توسط مدل SWAT و آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW و ترکیب این دو مدل یعنی SWAT-MODFLOW پاسخ دهند. در این مطالعه بررسی جامعی در خصوص استفاده از این مدل‌ها در مطالعات مختلف پرداخته شده است؛ به‌طوری‌که قابلیت‌ها و محدودیت‌های هر یک از مدل‌ها تشریح و در نهایت جمع‌بندی انجام شد.

یافته‌های پژوهش

۱. مدل SWAT

امروزه برای مطالعه و برنامه‌ریزی پایدار و مؤثر در مدیریت جامع حوضه‌های آبریز از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. SWAT نمونه‌ای از مدل‌های نیمه توزیعی و هیدرولوژیک با مبنای فیزیکی است که بر اساس ویژگی‌های حوضه آبریز و شرایط اقلیمی آن به شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ و همچنین به پیش و محاسبه فرآیندهای مرتبط بیلان آب می‌پردازد (نیتسچ و همکاران، ۲۰۱۱^۲؛ و جان‌جیک و تادیک، ۲۰۲۳^۳). محققین بسیاری از مدل SWAT متناسب با اهداف مطالعه خود برای تحلیل مسائل مربوط به حوضه آبریز استفاده کرده‌اند که در جدول (۱) نشان داده شده است. بررسی نتایج مطالعات حاکی از پیش‌بینی و برآورد قابل قبول جریانات سطحی، اثرات بلندمدت شیوه‌های مدیریت اراضی بر روی اجزای بیلان آب، رسوب و عملکرد مواد شیمیایی، شبیه‌سازی و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه‌های آبریز بزرگ با شرایط متنوع مدیریتی، نوع خاک و کاربری اراضی بوده است (لی و همکاران، ۲۰۱۲^۴؛ و مو و همکاران، ۲۰۲۰^۵).

به‌طور کلی نتایج محققان نشان می‌دهد که مدل SWAT به‌عنوان یک مدل هیدرولوژیکی در مدیریت جامع و پایدار حوضه‌های آبریز معرفی و پذیرفته شده است (آکاکو و همکاران، ۲۰۲۱^۶؛ و آلویی و همکاران، ۲۰۲۳^۷)؛ به‌طوری‌که این مدل با توجه به مبنای فیزیکی و تئوری قادر به شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریانات سطحی، شبیه‌سازی رسوب، مواد مغذی، بررسی تغییر اقلیم، مقادیر تغذیه حاصل از بارندگی و تغذیه مجدد از آبیاری، اثرات بلندمدت شیوه‌های مدیریت اراضی بر روی اجزای بیلان آب، شبیه‌سازی و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب از طریق تعریف و تقسیم‌بندی حوضه‌های بزرگ در مقیاس HRU است (رجا و همکاران، ۱۴۰۰)، اما مدل SWAT در محاسبات جریانات زیرسطحی (آب زیرزمینی) دارای محدودیت است. مدل SWAT، مدلی نیمه توزیعی است که ماژولی برای شبیه‌سازی آب زیرزمینی دارد. ماژول آب زیرزمینی آن کاملاً ساده شده است که در آن سیستم آب زیرزمینی به یک سفره آب زیرزمینی کم عمق و عمیق تقسیم می‌شود (رجا و همکاران، ۱۴۰۲)؛ به‌طوری‌که مؤلفه آب زیرزمینی مدل SWAT بر

1. Irvine et al
2. Neitsch et al
3. Janjić & Tadić
4. Li et al
5. Mo et al
6. Akoko et al
7. Aloui et al

اساس مدل های فله ای^۱ و مخزن خطی پایه گذاری شده است؛ بنابراین، به اندازه کافی دقیق نیست تا بتواند پارامترهای توزیعی هیدروژئولوژی آب های زیرزمینی مانند هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه و مقادیر متغیر پمپاژ را به صورت توزیعی در نظر بگیرد (کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ و علیاری و همکاران، ۲۰۱۹^۲). نهایت فرآیندهای آب زیرزمینی را بیش از حد ساده می کند و سطح آب زیرزمینی را نمی توان به طور دقیق شبیه سازی کرد. علاوه بر این، نمی توان تأثیر برداشت و پمپاژ از چاه ها را بر شیب سطح آب های زیرزمینی شبیه سازی کرد (اسپرویل و همکاران، ۲۰۰۰^۳؛ و چو و شیرمحمدی، ۲۰۰۴^۴). با این حال، در مورد تخلیه از آب های زیرزمینی در فصول و دوره های خشک این امر کمتر اتفاق افتاده است که به احتمال زیاد به دلیل تقسیم آبخوان در مدل SWAT به دو آبخوان مجزا است. علی رغم این کمبود، به طور کلی شبیه سازی ها نتایج رضایت بخشی از تخلیه آب زیرزمینی توسط SWAT نیز داشته است (آیزن و همکاران، ۲۰۰۰^۵؛ آرنولد و فوهرر، ۲۰۰۵^۶؛ و ریسال و همکاران، ۲۰۲۰^۷). در حقیقت، این آبخوان کم عمق است که تخلیه آب زیرزمینی (جریان پایه) را حفظ می کند؛ در حالی که آبخوان عمیق، آب را به رودخانه های خارج از حوضه انتقال می دهد و در بیلان هیدرولوژیکی، مدل SWAT به درستی در نظر گرفته نمی شود (رجا و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین مدل SWAT در شبیه سازی آب زیرزمینی به نهرها و نشت جریان آب به آبخوان محدود شده است، زیرا آبخوان کم عمق را با تعیین آستانه ای برای برآورد تغذیه رودخانه مقایسه می کند و ارتفاع کف رودخانه و عمق آبخوان را در نظر نمی گیرد (فیکلین و همکاران، ۲۰۱۳^۸؛ دیویا و همکاران، ۲۰۱۵^۹؛ نگوین و دیتریچ، ۲۰۱۸^{۱۰}؛ و مولینا-ناوارو و همکاران، ۲۰۱۹^{۱۱}).

جدول ۱. مطالعات انجام شده توسط مدل SWAT به همراه اهداف آن ها

نام مدل	اهداف مطالعه	منابع
SWAT	شبیه سازی بارش - رواناب و رسوب	ون لیو، ۲۰۰۳؛ رستمیان، ۲۰۰۸؛ لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ خو و پنگ، ۲۰۱۳؛ لین و همکاران، ۲۰۱۲؛ پری هان و همکاران، ۲۰۲۰؛ حسینی و خالقی، ۲۰۲۰؛ عثمانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ نوحه گر و همکاران، ۱۳۹۵؛ غلامی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شاهویی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اعلی و همکاران، ۱۳۹۷؛ نیکخو امیری و همکاران، ۱۳۹۸؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۸؛ رجا و همکاران، ۱۴۰۰؛ و چزگی و حامدی، ۱۴۰۲
	بررسی بیلان آب	گوساین و همکاران، ۲۰۰۵؛ جایا کریشان و همکاران، ۲۰۰۵؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ریدوانسیا و همکاران، ۲۰۲۰؛ مو و همکاران، ۲۰۲۰؛ احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ فرخ نیا و همکاران، ۱۳۹۷ا؛ فرخ نیا و همکاران، ۱۳۹۷ب؛ فرخ نیا و همکاران، ۱۳۹۷c؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۲
	بررسی راهکارهای صرفه جویی مصرف آب (تغییر سامانه آبیاری،)	جان جیک و تادیک، ۲۰۲۳؛ احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ فرخ نیا و همکاران، ۱۳۹۷a؛ فرخ نیا و همکاران، ۱۳۹۷b؛ فرخ نیا و همکاران، ۱۳۹۷c؛ و رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۸
	بررسی تغییرات کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر مؤلفه های هیدرولوژیکی	آلویی و همکاران، ۲۰۲۳؛ پاتیل و ناتاراجا، ۲۰۲۰؛ ریدوانسیا و همکاران، ۲۰۲۰؛ چن و همکاران، ۲۰۲۰؛ ریسال و همکاران، ۲۰۲۰؛ جول ژول و همکاران، ۲۰۱۸؛ قدوسی و همکاران، ۱۳۹۳؛ خلیلیان و همکاران، ۱۳۹۹؛ حاجی قاسمی و همکاران، ۱۴۰۰؛ و اصغری سرسکانرود و سعیدی ستا، ۱۴۰۲

1. Models Lumped
2. Aliyari et al
3. Spruill et al
4. Chu & Shirmohammadi
5. Aizen et al
6. Arnold et al
7. Risal et al
8. Ficklin et al
9. Devia et al
10. Nguyen & Dietrich
11. Molina-Navarro et al

۲. مدل MODFLOW

مدل MODFLOW یک مدل آب زیرزمینی سه بعدی جریان غیرماندگار در محیط متخلخل اشباع، غیرهمگن و غیر ایزوتروپ است که به خوبی قادر به شبیه سازی آب زیرزمینی و بررسی ارتباط هیدرولیکی، تبادلات و اندرکنش آبخوان و رودخانه را داراست (اومار و احمد، ۲۰۰۹^۱؛ و لیک و بارلو، ۲۰۱۳^۲). از قابلیت های دیگر این مدل می توان به شبیه سازی و بررسی گزینه های مدیریتی مختلف برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی، توسعه آبخوان با حفر چاه های جدید، حذف برداشت های غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی و سطحی از طریق چاه های غیرمجاز و موتورپمپ ها، تأثیر زهکش ها در مناطق زه دار، اثرات احداث سدها و همچنین تغذیه مصنوعی بر وضعیت آب های سطحی و زیرزمینی اشاره کرد که در جدول (۲) ارائه شده است. بررسی مطالعات مختلف حاکی از برآورد و پیش بینی قابل قبول مدل MODFLOW در شبیه سازی جریان آب زیرزمینی، تلفات نشت از کانال های شبکه آبیاری و اراضی آبی بر سطح آب زیرزمینی، اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی، شبیه سازی سناریوهای مختلف برداشت از آب زیرزمینی، شبیه سازی جبهه آب شور بین آبخوان ساحلی و دریاچه، تعیین نرخ پمپاژ بهینه در راستای پایداری آب زیرزمینی، تأثیر سناریوهای مختلف صرفه جویی مصرف آب از قبیل تغییر الگوی کشت، روش های نوین آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی، بررسی تأثیر حفر چاه های جدید، نصب سامانه زهکش یا حذف چاه های غیرمجاز بر نوسانات سطح آب زیرزمینی، تأثیر تغذیه مصنوعی، سد و مخزن بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان، تأثیر کاربری اراضی و توزیع تغذیه بر نوسانات آب زیرزمینی (کتابچی و همکاران، ۱۳۹۶؛ جنوبی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ولی وند و کتیبه، ۱۳۹۸؛ پائول، ۲۰۰۶^۳؛ و راین و همکاران، ۲۰۰۱^۴) و شبیه سازی کیفی آب زیرزمینی بوده است (جدول ۲). به طور کلی این مدل به عنوان یک مدل استاندارد شبیه سازی آب زیرزمینی پذیرفته شده است. بررسی ها نشان داده است که مقادیر تغذیه حاصل از بارندگی و آب های برگشتی کشاورزی و نشت از رودخانه تأثیر قابل توجهی در تعیین بیلان آب دارد (ال سعید و همکاران، ۲۰۲۰^۵؛ و لانگ وین و همکاران، ۲۰۲۴^۶). همچنین نتایج مطالعات نشان داده است که برآورد مقادیر تغذیه، هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره در شبیه سازی تراز سطح ایستابی بسیار مهم است. عدم برآورد دقیق این پارامترها بر محاسبات بیلان آب مدل تأثیر زیادی می گذارد (خالدی علمداری و همکاران، ۱۴۰۱؛ و وی و بیلی، ۲۰۱۹).

1. Umar & Ahmed
2. Leake & Barlow
3. Paul
4. Rayne et al
5. El Saeed et al
6. Langevin et al

جدول ۲. مطالعات انجام‌شده توسط مدل MODFLOW به همراه اهداف آن‌ها

نام مدل	اهداف مطالعه	منابع
MODFLOW (SEAWAT, MT3DMS, MT3D, MODPATH)	شبیه‌سازی آب زیرزمینی (شرایط موجود و پیش‌بینی آینده)	جوادی و همکاران، ۲۰۱۸؛ آلی و همکاران، ۲۰۱۹؛ لانگ‌وین و همکاران، ۲۰۲۴؛ چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۴؛ و موحیدیان و چیت‌سازان، ۱۳۹۵
	شبیه‌سازی تلفات نشت از کانال‌های شبکه آبیاری و اراضی آبی بر سطح آب زیرزمینی	رودریگوز و همکاران، ۲۰۰۶؛ آرومی و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ و رجائیان و همکاران، ۲۰۲۴
	اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی	رودریگوز و همکاران، ۲۰۰۶؛ آرومی و همکاران، ۲۰۰۹؛ کارول و همکاران، ۲۰۱۰؛ لیک و بارلو، ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۴؛ موحیدیان و چیت‌سازان، ۱۳۹۵؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۸؛ سروری و همکاران، ۱۳۹۸؛ دادآفرید و همکاران، ۱۳۹۸؛ سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۱
	شبیه‌سازی سناریوهای مختلف برداشت از آب چاه‌ها بر نوسانات آب زیرزمینی آبخوان	عبداله، ۲۰۰۹؛ لین و همکاران، ۲۰۱۲؛ آلوارز و همکاران، ۲۰۱۲؛ نگوین و دیتریچ، ۲۰۱۸؛ آلفایفی و همکاران، ۲۰۱۷؛ تریکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۴؛ شیخی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷؛ قبادی علمداری و همکاران، ۱۳۹۸؛ لایسائوی و همکاران، ۲۰۱۸؛ شاکور و همکاران، ۲۰۱۸؛ عقل‌مند و عباسی، ۲۰۱۹؛ تراس‌وینا-کاریلو و همکاران، ۲۰۱۹؛ ال‌سعید و همکاران، ۲۰۲۰؛ موندتیا و همکاران، ۲۰۲۴؛ رضایی و همکاران، ۱۴۰۱؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۱
	شبیه‌سازی کیفی آب زیرزمینی	جوادی و همکاران، ۲۰۱۸؛ بالوشا و همکاران، ۲۰۱۹؛ چودهاری و رهنوما، ۲۰۲۳؛ زانگ و همکاران، ۲۰۲۴؛ و طاهریان و همکاران، ۱۳۹۷
	تأثیر سناریوهای مختلف صرفه‌جویی مصرف آب (تغییر الگوی کشت، روش‌های نوین آبیاری بر	آلی و همکاران، ۲۰۱۹؛ راحیم و همکاران، ۲۰۲۳؛ و جنوبی و همکاران، ۱۳۹۷
	تأثیر تغذیه مصنوعی، سد و مخزن بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان	وانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ پارسا‌صدر و همکاران، ۱۳۹۵؛ شیخی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷؛ عباس‌نوبین‌پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ ولی‌وند و کتیبه، ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران، ۱۴۰۱؛ و کرباسی معروف و همکاران، ۱۴۰۲
	بررسی تأثیر حفر چاه‌های جدید، نصب سامانه زهکش یا حذف چاه‌های غیرمجاز بر نوسانات سطح آب زیرزمینی	کینگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ جُداری و همکاران، ۲۰۲۴؛ کتابچی و همکاران، ۱۳۹۶؛ و سروری و همکاران، ۱۳۹۸
	تأثیر کاربری اراضی و توزیع تغذیه بر نوسانات آب زیرزمینی	راین و همکاران، ۲۰۰۱؛ پائول، ۲۰۰۶؛ جنوبی و همکاران، ۱۳۹۷؛ کتابچی و همکاران، ۱۳۹۶؛ و ولی‌وند و کتیبه، ۱۳۹۸

در این مدل محاسبه‌ی تغذیه‌ی توزیعی آب زیرزمینی حاصل از مقادیر بارندگی و آبیاری دارای عدم قطعیت زیاد بوده و با مشکل مواجه است (بیلی و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ورودی مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مقادیر تغذیه حاصل از بارش و تغذیه مجدد از طریق آبیاری است و تعریف نادرست و غیر دقیق این مقادیر در شبیه‌سازی آب زیرزمینی منجر به کاهش دقت در نتایج و در نتیجه مدیریت منابع آب زیرزمینی خواهد شد (ال یائوتی و همکاران، ۲۰۰۸^۱؛ و تایی سمیرومی و کوچ،^۲

1. El Yaouti et al

2. Taie Semiromi and Koch

۲۰۱۹). در نتیجه تا زمانی که نرخ تغذیه به عنوان ورودی مورد نیاز مدل سازی جریان آب زیرزمینی دقیق برآورد نشود، نمی توان تأثیرات برداشت از آب های زیرزمینی از آبخوان ها را به درستی ارزیابی کرده و رفتار طولانی مدت یک آبخوان را تحت سناریوهای مختلف مدیریتی با اطمینان تخمین زد (اسفوکولئوس و پرکینز، ۲۰۰۰؛ چانگ و همکاران، ۲۰۱۰^۱؛ مولینا- ناوارو و همکاران، ۲۰۱۹؛ و راحیم و همکاران، ۲۰۲۳^۲). مدل های متنوعی برای تعیین میزان تغذیه آب های زیرزمینی با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر میزان تغذیه موجود است. حتی علی رغم اینکه تلاش های زیادی برای افزایش دقت تخمین نرخ تغذیه در مدل MODFLOW از طریق ترکیب فرآیندهای منطقه غیراشباع، به عنوان مثال از طریق بسته جریان منطقه غیراشباع^۳ (UZFI) (نیس وانگر و همکاران، ۲۰۱۱^۴) انجام شده است، اما باز هم نمی توان فرآیندهای مربوط به آب و هوایی را به درستی در مدل به کار برد؛ بنابراین، ارزیابی شیوه های مدیریتی زمین و تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر فعل و انفعالات آب های سطحی و زیرزمینی حتی باتوجه به پیشرفت و توسعه های صورت گرفته در مدل جریان آب زیرزمینی با عدم قطعیت قابل توجهی روبرو است؛ زیرا مدل MODFLOW فرآیندهای سطحی مانند فعل و انفعالات زمین و جو، نفوذ عمقی و رواناب سطحی، رشد گیاه و تأثیر شیوه های مدیریتی در سامانه های کشاورزی را شبیه سازی نمی کند (گازمن و همکاران، ۲۰۱۵؛ و چانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

۳. مدل SWAT-MODFLOW

به دلیل محدودیت های هر یک از کدهای SWAT و MODFLOW، تلفیق این دو مدل در طی سال های اخیر کاربردهای موفقیت آمیز گسترده ای داشته است که در جدول (۳) نتایج آن ارائه شده است. مدل SWAT دارای ویژگی های نیمه توزیعی است و بخش آب زیرزمینی آن پارامترهای توزیع شده مانند هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره را در نظر نمی گیرد (پوتی ویدها و لانامسی، ۲۰۱۱^۵؛ نگوین و دیتریچ، ۲۰۱۸؛ و مولینا- ناوارو و همکاران، ۲۰۱۹). برآورد دقیق مقادیر تغذیه آب زیرزمینی به اندازه محاسبه تراز آب زیرزمینی و میزان نرخ پمپاژ و توزیع آن دشوار و مهم است. از طرف دیگر از مهم ترین ورودی های شرایط مرزی در شبیه سازی جریان آب زیرزمینی مقادیر تغذیه، تبخیر و تعرق و نحوه توزیع آن ها در هر دشت و منطقه ای است (سعادت پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ رجا و همکاران، ۱۴۰۱؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۲). تعریف نادرست از این مقادیر در شبیه سازی آبخوان منجر به کاهش دقت و عدم کارایی مدل در مدیریت منابع آب زیرزمینی می گردد. برای حل این مشکل، از نتایج شبیه سازی جریان آب سطحی با مدل SWAT برای مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق به عنوان ورودی های مدل MODFLOW استفاده می شود (کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ و بیلی و همکاران، ۲۰۱۶). کلیه فرایند مدل سازی تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل ترکیبی SWAT-MODFLOW در شکل (۲) نشان داده شده است. در واقع در مدل سازی ترکیبی، مقادیر تغذیه با قطعیت بالاتر و توزیع مناسب تری قابل تعریف است. به عبارت دیگر به منظور حل این مشکل روشی پیشنهاد شده است که به موجب آن مشخصات واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRUs) در مدل SWAT با سلول های مدل MODFLOW مبادله می شود (وی و بیلی، ۲۰۱۹؛ تابی سمیرومی و کوچ، ۲۰۱۹). با استفاده از این رابط از طریق تبدیل سلول HRU می توان میزان تغذیه آب زیرزمینی توزیع شده و تبخیر و تعرق آب زیرزمینی را به طور مؤثرتری برآورد و شبیه سازی کرد.

1. Chung et al
2. Raheem et al
3. Unsaturated-Zone Flow
4. Niswonger et al
5. Putthividhya and Laonamsai

جدول ۳. مطالعات مرتبط با استفاده از مدل ترکیبی SWAT-MODFLOW برای بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی

نام مدل	اهداف مطالعه	منابع
SWAT-MODFLOW	شبیه‌سازی رواناب سطحی و مقادیر تغذیه حاصل از بارش و جریان برگشتی آب آبیاری در افزایش دقت مدل‌سازی آب زیرزمینی	کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ دولت آبادی و زمردیان، ۲۰۱۶؛ اتیات و همکاران، ۲۰۱۸؛ مولینا-ناوارو و همکاران، ۲۰۱۹؛ موساسه و همکاران، ۲۰۱۹؛ وار و همکاران، ۲۰۲۳؛ و سعادت‌پور و همکاران، ۱۳۹۸
	شبیه‌سازی اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی بین آبخوان و رودخانه	گال‌بیاتی و همکاران، ۲۰۰۶؛ اتیات و همکاران، ۲۰۱۸؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ دب و همکاران، ۲۰۱۹؛ موساسه و همکاران، ۲۰۱۹؛ سی‌سای و همکاران، ۲۰۲۳؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۱
	ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی	اسفوکولئوس و پرکینز، ۲۰۰۰؛ چانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ سلمانی و همکاران، ۲۰۲۳؛ سعادت‌پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۱
	شبیه‌سازی کمی و کیفی یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی	اتیات و همکاران، ۲۰۱۸؛ کورریا-گونزالز و همکاران، ۲۰۲۳؛ و یفرو و همکاران، ۲۰۲۴
	شبیه‌سازی سناریوهای مختلف برداشت از منابع آب زیرزمینی بر سطح آب زیرزمینی و مؤلفه‌های بیلان آب	مینکینگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ چانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ مولینا-ناوارو و همکاران، ۲۰۱۹؛ یفرو و همکاران، ۲۰۲۴؛ سعادت‌پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ و رجا و همکاران، ۱۴۰۱
	شبیه‌سازی تأثیر سناریوهای مختلف صرفه‌جویی مصرف آب از قبیل افزایش راندمان آبیاری، تغییر الگوی کشت، تغییر سامانه آبیاری، کاهش میزان آب آبیاری بر مؤلفه‌های بیلان آب و اندرکنش منابع آب سطحی و	وی و بیلی، ۲۰۱۹؛ تای سمیرومی و کوچ، ۲۰۱۹؛ دب و همکاران، ۲۰۱۹
	بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوا و تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و مؤلفه‌های بیلان آب	اسفوکولئوس و پرکینز، ۲۰۰۰؛ و آسلاام و همکاران، ۲۰۲۲

با در نظر گرفتن تعامل بین شبکه جریان (رودخانه) و آبخوان جفت‌شدن دو مدل کامل می‌شود (چون و همکاران، ۲۰۱۹). برای این منظور، از بسته رودخانه^۱ در مدل MODFLOW برای تعامل رودخانه-آبخوان استفاده می‌شود (رجا و همکاران، ۱۴۰۱). در واقع امکان برآورد و شبیه‌سازی اندرکنش بین آبخوان و رودخانه و شاخه‌های جریان را فراهم می‌کند (اتیات و همکاران، ۲۰۱۸؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ دب و همکاران، ۲۰۱۹؛ موساسه و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین با در نظر گرفتن مزایای هر دو مدل، به کمیت درآوردن کامل مؤلفه‌های هیدرولوژیکی امکان‌پذیر است. اگر تغذیه‌ی آب زیرزمینی به‌دست آمده بر اساس واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان ورودی MODFLOW مورد استفاده قرار گیرد، خصوصیات زمانی-مکانی حوضه‌ی آبریز به‌طور مناسبی منعکس خواهند شد (کیم و همکاران، ۲۰۰۸).

مزایا و معایب استفاده از مدل‌های SWAT، MODFLOW و مدل ترکیبی SWAT-MODFLOW در جدول (۴) آورده شده است. به‌طور کلی مدل ترکیبی قادر به شبیه‌سازی قابل قبول رواناب سطحی و مقادیر تغذیه حاصل از بارش و جریان برگشتی

1. River Package
2. Ehtiat et al
3. Gao et al
4. Deb et al
5. Mosase et al

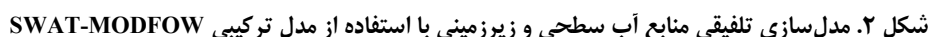
آب آبیاری در افزایش دقت مدل سازی آب زیرزمینی، اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی بین آبخوان و رودخانه، ارزیابی وضعیت بهره برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی، شبیه سازی کمی و کیفی یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی، سناریوهای مختلف برداشت از منابع آب زیرزمینی بر سطح آب زیرزمینی و مؤلفه های بیلان آب، شبیه سازی تأثیر سناریوهای مختلف صرفه جویی مصرف آب از قبیل افزایش راندمان آبیاری، تغییر الگوی کشت، تغییر سامانه آبیاری، کاهش میزان آب آبیاری بر مؤلفه های بیلان آب و اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی و بررسی تأثیر تغییرات آب و هوا و تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و مؤلفه های بیلان آب بوده است که در جدول (۴) گردآوری شده است. با این حال به دلیل حجم گسترده اطلاعات در مدل سازی با توزیع زمانی و مکانی کافی (از جمله داده های آب و هوا، خاک، کاربری اراضی، داده های مدیریتی آبیاری، تأمین تلفیقی آبیاری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و غیره) و واسنجی چندمنظوره مدل ترکیبی، فرایند شبیه سازی پیچیده تر شده و زمان شبیه سازی و به کارگیری از مدل طولانی تر می شود. البته در سال های اخیر توسعه مدل ترکیبی به سمت ایجاد رابط گرافیکی کاربرپسند پیش رفته است تا مشکلات مربوط به کد نویسی، جفت کردن مدل ها و نحوه واسنجی آن ها برطرف شده و کاربران بتوانند به راحتی از این مدل استفاده کنند.

جدول ۴. مزایا و معایب در استفاده از مدل های SWAT، MODFLOW و SWAT-MODFLOW

نام مدل	مزایا	معایب
SWAT	• مدل جامع هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبریز	• ماژول آب زیرزمینی کاملاً ساده
	• مدل نیمه توزیعی با مبنای فیزیکی	• عدم توزیع دقیق پارامترهای توزیعی هیدروژئولوژی آب های زیرزمینی
	• شبیه سازی و برآورد مؤلفه های بیلان آب در حوضه های آبریز بزرگ با شرایط متنوع مدیریتی، نوع خاک و کاربری اراضی	• عدم شبیه سازی دقیق تأثیر برداشت و پمپاژ از چاه ها بر شیب سطح آب های زیرزمینی
	• شبیه سازی جریان های سطحی، عملکرد و تبخیر و تعرق محصولات	• محدودیت در شبیه سازی آب زیرزمینی به نهرها و نشت جریان آب به آبخوان
	• در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و تغییر اقلیم در شبیه سازی در مقیاس بزرگ	
	• شبیه سازی اثرات بلندمدت شیوه های مدیریت اراضی بر روی اجزای بیلان آب	
	• شبیه سازی رسوب و مواد مغذی عملکرد مواد شیمیایی	

ادامه جدول ۴. مزایا و معایب در استفاده از مدل‌های SWAT، MODFLOW و SWAT-MODFLOW

نام مدل	مزایا	معایب
MODFLOW	مدل آب زیرزمینی سه‌بعدی جامع در شرایط جریان غیرماندگار در محیط متخلخل اشباع، غیرهمگن و غیر ایزوتروپ	عدم شبیه‌سازی شیوه‌های مدیریت اراضی، نوع خاک و کاربری اراضی بر روی
	شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی در سطح آبخوان	عدم شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تعرق محصولات
	بررسی ارتباط هیدرولیکی، تبادلات و اندرکنش بین آبخوان و رودخانه	عدم برآورد دقیق تغذیه حاصل از بارندگی و آب‌های برگشتی کشاورزی
	شبیه‌سازی و بررسی گزینه‌های مدیریتی مختلف برداشت از منابع زیرزمینی بر نوسانات آب زیرزمینی آبخوان	عدم در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و تغییر اقلیم در شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ
	- قابلیت شبیه‌سازی توسعه آبخوان با حفر چاه‌های جدید و یا حذف برداشت‌های غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌های غیرمجاز و موتورپمپ‌ها - شبیه‌سازی تأثیر زهکش‌ها در مناطق زه دار - قادر به شبیه‌سازی اثرات احداث سد‌ها و همچنین تغذیه مصنوعی بر وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی - توزیع دقیق پارامترهای توزیعی هیدروژئولوژی آب‌های زیرزمینی	
SWAT-MODFLOW	- شبیه‌سازی کلیه فرایندهای منابع آب سطحی و زیرزمینی در سطح آبخوان، دشت و حوضه - رفع محدودیت‌های مربوط به مدل‌های SWAT و MODFLOW - شبیه‌سازی کلیه مؤلفه‌های بیلان آب شامل رواناب سطحی، تبخیر و تعرق، عملکرد محصولات، سطح آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق از سطح آب زیرزمینی - شبیه‌سازی اندرکنش و تبادلات بین آبخوان و رودخانه - شبیه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر مؤلفه‌های بیلان آب	- حجم گسترده اطلاعات در مدل‌سازی با توزیع زمانی و مکانی کافی (از جمله داده‌های آب‌وهوا، خاک، کاربری اراضی، داده‌های مدیریتی آبیاری، تأمین تلفیقی آبیاری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و غیره) - واسنجی چندمنظوره مدل و پیچیده‌تر و طولانی‌تر شدن فرایند محاسبات در مدل ترکیبی



شناخت جامع از وضعیت پیچیده یک سامانه هیدرولوژیکی لازمه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع است. ابزاری که بتواند بدون نگاه کلی و اجمالی به یک سامانه هیدرولوژیک بسیار پیچیده، ارتباط فرآیندهای مختلف و چگونگی مدیریت و کنترل آن‌ها را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف مطابق با شرایط سامانه و نیازهای آن بررسی کند، به‌طور قطع خواهد توانست زیرساخت‌های لازم را برای حل و مدیریت چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب را فراهم کند. الگوی تأمین آب مورد نیاز و بهره‌برداری توان‌آمان از منابع آب سطحی و زیرزمینی ضرورت استفاده از مدل‌های جامع برای ارزیابی و مدیریت همه‌جانبه و یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی را نشان می‌دهد. علاوه بر لزوم تلفیق مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی، امکان استفاده از نتایج مدل‌های آب سطحی، به‌عنوان ورودی‌های سامانه آب زیرزمینی و همچنین لحاظ کردن تأثیر سامانه آب زیرزمینی در منطقه غیراشباع به‌خصوص منطقه توسعه ریشه در ارائه تصویر جامعی از تبادلات منابع آب سطحی و زیرزمینی ضروری است. درک تغییرات زمانی - مکانی نفوذ و تغذیه در مدل‌سازی آب زیرزمینی در مناطق تحت آبیاری بسیار مهم است. در واقع مقادیر تغذیه ناشی از نفوذ بارندگی و جریانات برگشتی آب آبیاری یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ورودی مدل‌های آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

در بیشتر پژوهش‌های پیشین در ایران و حتی در مطالعات خارج از کشور، مقادیر تغذیه به صورت درصدی از میانگین بارش منطقه برای تغذیه و مقادیر تبخیر ثبت شده در ایستگاه‌های تبخیرسنجی برای تبخیر و تعرق تعریف و با روند سعی و خطا در مرحله واسنجی مدل MODFLOW استفاده شده است. حال آنکه این مقادیر مستقل از فرآیندهای هیدرولوژیکی سطحی نبوده و با عواملی مانند بارش، رواناب سطحی و ویژگی‌های جریان در ناحیه غیراشباع خاک در ارتباط است. بررسی‌ها نشان داده است که عدم قطعیت در تعیین این پارامتر، به میزان قابل توجهی در نتایج شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی تأثیر خواهد داشت. همچنین مدل

MODFLOW فاقد تعیین شرایط از نظر فرآیندهای هیدرولوژیکی در سطح زمین و حوضه است. از آنجاکه نرخ تغذیه آب‌های زیرزمینی به دلیل شرایط آب‌وهوایی، کاربری زمین و ناهمگنی هیدروژئولوژیکی از تنوع مکانی - زمانی برخوردار است، برای غلبه بر این محدودیت‌ها، استفاده از یک روش توسعه‌یافته تخمین تغذیه بر اساس اجزای تعادل آب و مرتبط با مدل یکپارچه آب زیرزمینی و سطحی ضروری است؛ بنابراین، این مدل MODFLOW اغلب با مدل‌های هیدرولوژیکی (آب سطحی) متصل و جفت می‌شود. در زمینه برآورد دقیق نفوذ عمقی و جریانات برگشتی آبیاری مدل‌های مختلفی مانند HEC_HMS, WATLAC, MOBIDIC, SWAT, HYDRUS و... در ترکیب با مدل آب زیرزمینی MODFLOW برای افزایش دقت در شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی و اثربخشی سناریوهای مختلف برداشت تومانی از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر مؤلفه‌های بیلان آب استفاده شده است. هر کدام از این مدل‌ها توانسته‌اند با دقت قابل قبولی متناسب با اهداف مطالعات این نقیصه را برطرف کنند. با این حال، نتایج مطالعات نشان داده است که استفاده از مقادیر تغذیه برآورد شده مدل SWAT می‌تواند امکان شبیه‌سازی و برآورد دقیق‌تر نوسانات سطح ایستابی و بیلان آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW را با ابعاد مختلف مکانی فراهم کند.

به‌طور کلی بررسی نتایج حاصل از تحقیقات مبین این نکته است که استفاده هم‌زمان از دو مدل MODFLOW و SWAT برای شناخت شرایط هیدرولوژیکی در یک منطقه به‌خوبی توانسته است نقایص مرتبط با محدودیت‌های نیمه توزیعی و توزیعی بودن دو مدل را پوشش دهد. در اکثر این مطالعات تمرکز اصلی روی دو پارامتر تغذیه و تبخیر و تعرق و تلاش در راستای افزایش دقت مقادیر این دو پارامتر در شبیه‌سازی‌ها بوده است. همچنین استفاده از مدل‌های جامع و یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی مانند SWAT-MODFLOW می‌تواند ابزار خوبی در بررسی مؤلفه‌های بیلان آب و ارزیابی اعمال سناریوهای مدیریتی و بهره‌برداری مختلف باشد. همچنین مدل ترکیبی قادر خواهد بود اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی در پهنه‌های مختلف دشت و آبخوان متناسب با تفاوت‌های سهم تأمین آب کشاورزی از منابع آب تلفیقی را شبیه‌سازی کند. بررسی اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از یک مدل تلفیقی آب سطحی و آب زیرزمینی در تأمین آب کشاورزی قادر به پیش‌بینی تبادلات مابین آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد که تأثیر قابل توجهی بر جریانات سطحی و نوسانات سطح ایستابی در پهنه‌های مختلف دشت دارد. چالش اصلی بررسی برهم‌کنش و پایش سطح ایستابی و جریانات سطحی در دامنه حریم جریانات طبیعی است. در واقع مدل تلفیقی باید قادر باشد مقادیر تبادلات بین منابع آب سطحی و زیرزمینی را با توجه به شیب هیدرولیکی بین آب زیرزمینی و جریان رودخانه برآورد کند.

با این حال لازم به ذکر است که به دلیل حجم گسترده اطلاعات در مدل‌سازی، باید داده‌ها دارای توزیع زمانی و مکانی کافی (از جمله داده‌های خاک، کاربری اراضی، داده‌های مدیریتی آبیاری، تأمین تلفیقی آبیاری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و غیره) بوده و باید از دقت مناسبی برخوردار باشند؛ زیرا عدم قطعیت در استفاده از داده‌های مذکور در دستیابی به نتایج مطلوب و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب تأثیرگذار خواهد بود. واسنجی چندمنظوره مدل ترکیبی منجر به پیچیده‌تر شدن فرایند و زمان شبیه‌سازی می‌شود. البته توسعه و ایجاد رابط گرافیکی کاربرپسند برای مدل ترکیبی در سال‌های اخیر باعث کاهش مشکلات مربوط به کدنویسی، جفت کردن مدل‌ها و نحوه واسنجی آن‌ها توسط کاربران می‌شود. همچنین استفاده از داده‌های میدانی از جمله عملکرد و تبخیر و تعرق محصولات با مقیاس مکانی و زمانی مناسب در واسنجی مدل بر دقت و اعتبار نتایج خواهد افزود. تبخیر و تعرق مهم‌ترین مصرف و خروجی از دشت در مناطق با سطح زیر کشت آبی است؛ بنابراین مقادیر تبخیر و تعرق محصولات باید با داده‌های میدانی از جمله لایسیمتر و یا برآورد تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شود؛ چرا که مقادیر این مؤلفه بر سایر مؤلفه‌های بیلان آب تأثیر مستقیم می‌گذارد. از طرف دیگر در صورت برداشت‌های غیرمجاز از منابع آب سطحی و زیرزمینی از طریق موتورپمپ‌ها و چاه‌های غیرمجاز بایستی در مدل‌سازی تعریف شود؛ زیرا در صورت عدم لحاظ این مقادیر، مؤلفه‌های بیلان آب در محدوده با خطا و عدم قطعیت برآورد خواهد شد. در این مطالعه بررسی جامعی در خصوص مدل‌سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل‌های SWAT، MODFLOW و مدل ترکیبی SWAT-MODFLOW انجام شده است؛ درحالی‌که مدل‌های دیگر و حتی الگوریتم‌های مختلف شبکه عصبی برای شبیه‌سازی آب سطحی و زیرزمینی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی در جهت شبیه‌سازی منابع آب تلفیقی استفاده می‌شوند که بایستی در مطالعات آینده به آن‌ها توجه شود. بررسی این مطالعه بینش عمیقی در استفاده از

مدل های آب سطحی و زیرزمینی را در اختیار محققین، پژوهشگران و مدیران قرار می دهد تا بتوانند بر اساس داده ها و ابزارهای موجود متناسب با اهداف مطالعات و بر اساس چالش های موجود در مناطق مختلف، بهترین ابزارها را به کار گیرند تا عدم قطعیت و خطاهای مدل سازی را به حداقل برسانند. به طور کلی استفاده از این مدل ها می تواند به عنوان راهنمای تخصیص بهینه و پایدار منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه های رقابتی و بسیار شکننده مورد استفاده قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

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 آنها است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم سازی مقاله و نوشتن پیش نویس های اصلی و بعدی مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

نگارندگان از دانشگاه تهران و ستاد احیای دریاچه ارومیه که امکان دسترسی به اطلاعات مورد نیاز تنظیم این مقاله را فراهم آوردند مراتب قدردانی و سپاس خود را اعلام می دارند.

منابع

- ابراهیمی، پیام، سلیمی کوچی، جمیله، و محسنی ساروی، محسن. (۱۳۹۷). واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در شبیه سازی رواناب، مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۰ (۳)، ۲۷۹-۲۶۶. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.117332>
- احمدزاده، حجت، مرید، سعید، و دلاور، مجید. (۱۳۹۳). ارزیابی تغییرات عملکرد محصولات کشاورزی و ورودی به دریاچه ارومیه در حوضه زرنه رود تحت تاثیر تغییر سیستم های آبیاری از سطحی به تحت فشار با استفاده از مدل SWAT. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱ (۸)، ۱-۱۵. https://idj.iaid.ir/article_54532.html
- اصغری سرسکانرود، صیاد، و سعیدی ستا، علیرضا. (۱۴۰۲). بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی روی رواناب حوضه رودخانه قره چای با استفاده از مدل SWAT. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۴ (۳)، ۹۵-۱۱۸. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.134432.1535>
- اعلمی، محمدتقی، عباسی، حبیب، و نیک سخن، محمدحسین. (۱۳۹۷). مقایسه دو روش متفاوت واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT در برآورد میزان رواناب و بار مواد جامد معلق حوضه. *مجله دانش آب و خاک*، ۲۸ (۳)، ۵۳-۶۴. https://water-soil.abrizu.ac.ir/article_8123.html
- پارسا صدر، حسین، محمدزاده، حسین، و ناصری، حمیدرضا. (۱۳۹۵). شبیه سازی عددی آبخوان دشت روداب سبزوار و بررسی اثرات احداث سد روداب بر آن، *مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۲۳ (۱)، ۱۱۹-۱۳۵. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3022>
- پریسان، طاهریان، انصاری، حسین، داوری، کامران، بهشتی، علی اصغر، و ضیایی، علی نقی. (۱۴۰۰). مدلسازی جریان و تغییرات کیفی (شوری) آب زیرزمینی در دشت نیشابور توسط کدهای MODFLOW و MT3DMS. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵ (۱)، ۳۷-۲۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.1.3.3>
- جنوبی، رزا، رضادری نژاد، وحید، بهمنش، جواد، و عباسپور، کریم. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت میاندوآب متأثر از مدیریت بهره برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW-NWT. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۹ (۲)، ۴۶۷-۴۸۱. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.239340.667731>
- چزگی، جواد، و حامدی، احسان. (۱۴۰۲). اولویت بندی سیلخیزی زیرحوضه های رودخانه سرباز با استفاده از مدل SWAT. *مجله پژوهش های خشکسالی و تغییر اقلیم*، ۳ (۱)، ۷۳-۸۶. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2023.6478.1026>
- چیت سازان، منوچهر، جوادچاوشی، زهرا، و ناصری، حمیدرضا. (۱۳۹۴). پیش بینی اثر متقابل آبخوان- رودخانه در دشت دوسلق، استان خوزستان با استفاده از مدل MODFLOW. *مجله پژوهش آب ایران*، ۹ (۴)، ۱۳۹-۱۴۷. https://iwrj.ku.ac.ir/article_11104.html
- حاجی قاسمی، شهاب، ذاکری نیری، محمود، و نجفی جیلانی، عطااله. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب سطحی با مدل SWAT (مورد مطالعه: رودخانه مزلقان). *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵ (۱)، ۱۳۷-۱۲۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.1.11.1>
- حیدری، جواد، چیت سازان، منوچهر، و میرزایی، سیدیحیی. (۱۳۹۸). مدل سازی رابطه هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت صحنه- بیستون با رودخانه گاماسیاب و مدیریت آبخوان. *مجله هیدروژئولوژی*، ۴ (۱)، ۱۴۰-۱۵۲. <https://doi.org/10.22034/hydro.2019.8447>

- خالدی علمداری، محمد، مجنونی هریس، ابوالفضل، و فاخری فرد، احمد. (۱۴۰۱). برآورد هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره آبخوان دشت شبستر با استفاده از مدل عددی. مجله هیدروژئولوژی، ۷ (۱)، ۴۲-۵۲.
- https://hydro.abrizu.ac.ir/article_13724.html
- خلیلیان، سودابه، سرائی تبریزی، مهدی، بابازاده، حسین، و صارمی، علی. (۱۳۹۹). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به سد زاینده رود. مجله علوم آب و خاک، ۲۴ (۴)، ۲۷۱-۲۵۵. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.24.4.7492>
- دادآفرید، سمانه، حصار، بهزاد، و عبقری، هیراد. (۱۳۹۸). مدل سازی اندرکنش سطح آب دریاچه ارومیه و آبخوان ساحلی با استفاده از GMS. مجله پژوهش آب ایران، ۱۳ (۳۳)، ۱۳۷-۱۲۹. https://iwrij.ku.ac.ir/article_10648.html
- دوستی رضایی، مهرنگ، زینالزاده، کامران، بشارت، سینا، و امیرعطایی، بابک. (۱۴۰۱). تأثیر سناریوهای مدیریتی و اقلیمی در تغییرات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی مدلسازی عددی در آبخوان دشت سلماس). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶ (۲)، ۲۹۳-۲۸۰. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1401.16.2.2.1>
- رجا، امید، پارسی نژاد، مسعود، و تجریشی، مسعود. (۱۴۰۰). واسنجی چندمنظوره مدل SWAT در برآورد رواناب، تبخیر و تعرق و عملکرد محصولات (مطالعه موردی: دشت مهاباد). مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷ (۴)، ۳۴-۱۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.4.1.8>
- رجا، امید، پارسی نژاد، مسعود، و تجریشی، مسعود. (۱۴۰۱). ارزیابی اندرکنش آبخوان و رودخانه با استفاده از مدل تلفیقی SWAT-MODFLOW-NWT (مطالعه موردی: دشت مهاباد). مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۵ (۴)، ۷۲-۴۹. <https://doi.org/10.22055/jise.2022.40163.2018>
- رجا، امید، پارسی نژاد، مسعود، و تجریشی، مسعود. (۱۴۰۱). شبیه سازی بیلان آب زیرزمینی با استفاده از مدل تلفیقی و جامع آب سطحی و زیرزمینی SWAT-MODFLOW-NWT (مطالعه موردی: دشت مهاباد). مجله آب و خاک، ۳۶ (۱)، ۵۲-۳۱. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.74890.1138>
- رجا، امید، پارسی نژاد، مسعود، و تجریشی، مسعود. (۱۴۰۲). برآورد و ارزیابی مولفه های بیلان آب با واسنجی مدل SWAT. مطالعه موردی: دشت مهاباد. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۵ (۱)، ۱۲۹-۱۰۹. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.357631.1957>
- رضایی مقدم، محمدحسین، حجازی، میراسداله، و بهبودی، عبدالله. (۱۳۹۸). برآورد میزان رواناب حوضه آبریز لنبران چای در استان آذربایجان شرقی: کاربرد مقایسه ای روش های واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸ (۳۱)، ۷۵-۵۹. <https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.81998>
- رضایی مقدم، محمدحسین، رحیم پور، توحید، و نخستین روحی، مهسا. (۱۳۹۵). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه های آبریز منتهی به دشت تبریز). <https://doi.org/10.22059/ije.2016.60026> ۳۷۹-۳۸۹، ۳ (۳).
- سروری، سعید، ضیائی، علی نقی، و جودوی، عطااله. (۱۳۹۸). بررسی اندرکنش رودخانه و آبخوان در دشت بجنورد به وسیله اندازه گیری های میدانی و مدل سازی عددی. آب و خاک، ۳۳ (۵)، ۶۸۳-۶۷۱. <https://doi.org/10.22067/jsw.v33i5.72735>
- سعادت پور، عالییه، علیزاده، امین، نقی ضیائی، علی، و ایزدی، عزیزاله. (۱۳۹۸). مدل سازی یکپارچه آب سطحی و زیرزمینی در مناطق متکی بر سیستم کشاورزی آبی با استفاده از مدل SWAT-MODFLOW (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). آب و خاک، ۳۳ (۴)، ۵۳۶-۵۲۱. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.74658>

- سلطانی، فرزانه، جوادی، سامان، روزبهرانی، عباس، مساح بوانی، علیرضا، و لطفی، سعید. (۱۴۰۱). شبیه سازی تبادلات آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW-OWHM (منطقه مورد مطالعه: دشت شازند). نشریه /کوهیدرولوژی، ۹ (۱)، ۲۱۰-۱۹۹. <https://doi.org/10.22059/ije.2022.336586.1595>
- شاهویی، سیدوحید، پرهت، جهانگیر، صدقی، حسین، حسینی، مجید، و صارمی، علی. (۱۳۹۷). شبیه سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و بررسی و ارزیابی مدل در دوره های واسنجی و اعتبارسنجی، مطالعه موردی: حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه در کشور ایران. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰ (۳)، ۴۷۷-۴۶۴. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.109516.1273>
- شیخی پور، بنفشه، جوادی، سامان، و بنی حبیب، محمد ابراهیم. (۱۳۹۷). ارزیابی اثربخشی سناریوهای احیای آبخوان توسط شاخص های پایداری و بهره برداری منابع آب، مطالعه موردی: آبخوان شهرکرد. مجله آب و خاک، ۳۲ (۲)، ۲۸۱-۲۶۷. <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i1.68794>
- صابری مهر، صادق، اصغری مقدم، اصغر، و ندیری، عطاله. (۱۳۹۶). شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دشت شبستر با استفاده از نرم افزار GMS. دو فصلنامه کوآرترنری / ایران، ۳ (۱)، ۵۰-۴۱. <https://doi.org/10.22034/irqua.2017.701896>
- عابدی کویابی، جهانگیر، و گلابچیان، مریم. (۱۳۹۴). برآورد ضرایب هیدرودینامیک منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز کوهپایه- سگری با استفاده از مدل MODFLOW. مجله علوم آب و خاک، ۱۹ (۷۲)، ۲۸۱-۲۹۲. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.24>
- عباس نوین پور، اسفندیار، محمد حسین زاده، مهسا، و رضایی، حسین. (۱۳۹۸). اثر احداث سد مخزنی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد مخزنی شهرچای، دشت ارومیه، ایران). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۶ (۴)، ۹۳-۷۵. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.16103.3144>
- عثمانی، هیوا، معتمد وزیری، بهارک، و معینی، ابوالفضل. (۱۳۹۲). شبیه سازی دبی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، مطالعه موردی: حوضه بالادست سد لتیان تهران. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۵ (۲)، ۱۴۳-۱۳۴. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2013.101809>
- غلامی، عباس، شاهدی، کاکا، حبیب نژاد روشن، محمود، وفاخواه، مهدی، و سلیمانی، کریم. (۱۳۹۶). ارزیابی کارایی مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه سازی جریان رودخانه ای (مطالعه موردی حوضه آبخیز تالار استان مازندران). مجله تحقیقات آب و خاک / ایران، ۴۸ (۳)، ۴۷۶-۴۶۳. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.63414>
- فرخ نیا، اشکان، مرید، سعید، دلاور، مجید، و عباسپور، کریم. (۱۳۹۷). توسعه مدل SWAT-LU برای بررسی و شبیه سازی علل افت تراز دریاچه ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه کارهای مطرح در احیای آن (نقش عوامل انسانی و اقلیمی در تغییرات هیدرولوژیکی حوضه و دریاچه). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲ (۵)، ۱۰۵۸-۱۰۴۱. https://idj.aid.ir/article_81775.html
- فرخ نیا، اشکان، مرید، سعید، دلاور، مجید، و عباسپور، کریم. (۱۳۹۷b). توسعه مدل SWAT-LU برای بررسی و شبیه سازی علل افت تراز دریاچه ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه کارهای مطرح در احیای آن بخش سوم: تحلیل حسابداری آب و ارزیابی راه کارهای احیای دریاچه ارومیه. مجله آبیاری و زهکشی / ایران، ۱۲ (۶)، ۱۳۸۱-۱۳۶۲. https://idj.iaid.ir/article_85904.html
- فرخ نیا، اشکان، مرید، سعید، عباسپور، کریم، و دلاور، مجید. (۱۳۹۷c). توسعه مدل SWAT-LU برای بررسی و شبیه سازی علل افت تراز دریاچه ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه کارهای مطرح در احیای آن بخش اول: توسعه، واسنجی و صحت سنجی

مدل SWAT-LU. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲ (۳)، ۶۶۵-۶۴۷.

https://idj.iaid.ir/article_73673.html

قبادی علمداری، شعله، اصغری مقدم، اصغر، و شهسواری، علی اکبر. (۱۳۹۸). امکان سنجی استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت دهلران با استفاده از مدل MODFLOW. مجله علوم آب و خاک، ۲۳ (۴)، ۵۷-۴۵.

<http://dx.doi.org/10.47176/jwss.23.4.33561>

قدوسی، میثم، دلاور، مجید، و مرید، سعید. (۱۳۹۳). اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۲۵ (۲)، ۱۳۳-۱۲۳.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2014.51614>

کتاجچی، حامد، محمودزاده، داود، و فرهودی هفدران، رضا. (۱۳۹۶). برآورد تبادل آب بین تالاب و آبخوان (مطالعه موردی: تالاب کنای برازان). مجله اکوهیدرولوژی، ۳ (۴)، ۷۰۹-۶۹۹.

<https://doi.org/10.22059/ije.2017.62503>

کرباسی معروف، محمدتقی، ناصری، حمیدرضا، و علیجانی، فرشاد. (۱۴۰۲). نشت آب و تأثیر انحلال در پایداری سد بار نیشابور، مجله زمین شناسی ایران، (۶۵)، ۳۲-۱۹.

<https://dori.net/dor/20.1001.1.17357128.1402.17.65.2.4>

موحدیان، علی، و چیت سازان، منوچهر. (۱۳۹۵). بررسی اثر متقابل آبخوان و رودخانه کارون در دشت گتوند- عقیلی، با استفاده از مدل MODFLOW. مجله پژوهش های آبخیزداری، ۱۱۱، ۹-۱۸.

<https://doi.org/10.22092/wmej.2016.113417>

نوحه گر، احمد، ملکیان، آرش، حسینی، مجید، حلی ساز، ارشک، و تقوای سلیمی، ادریس. (۱۳۹۵). تفاوت الگوریتم های SUFI-2 و GLUE در شبیه سازی رواناب حوزه های آبخیز جنگلی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز شفارود. مجله مهندسی

و مدیریت آبخیز، ۸ (۴)، ۳۸۹-۳۹۹.

<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107185>

نیکخوا امیری، صدیقه، خوش روش، مجتبی، و نوروز ولاشدی، رضا. (۱۳۹۸). شبیه سازی سری زمانی جریان در محل خروجی سد شهید رجایی با استفاده از مدل SWAT. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰ (۳۷)، ۸۰-۶۷.

<https://doi.org/10.22125/iwe.2019.95875>

ولی وند، فرشته، و کتیبه، همایون. (۱۳۹۸). ارزیابی اثرات کمی بلندمدت شرایط مدیریت و بهره برداری کنونی بر آبخوان دشت ورامین. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۶ (۲)، ۲۶۱-۲۵۱.

<https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.15448.3067>

یوسفی، علی، سرائی تبریزی، مهدی، پرهمت، جهانگیر، و بابازاده، حسین. (۱۴۰۱). مطالعه طرح تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی هشتگرد). مجله پژوهش آب ایران، ۱۶ (۲)، ۳۲-۱۵.

<https://doi.org/10.22034/iwrj.2022.10020.2340>

References

- Aalami, M., Abbasi, H., & Niksokhan, M. (2018). Comparison of two Calibration-Uncertainty Methods for Soil and Water Assessment Tool in Stream Flow and Total Suspended Solids Modeling. *Water and Soil Science*, 28(3), 53-64. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_8123.html (In Persian)
- Abbas NovinPour, E., Mohammad Hoseinzadeh, M., & Rezaie, H. (2019). The effect of reservoir dam construction on groundwater fluctuations (Case study Reservoir Dam ShahreChay, Urmia Plain, IRAN). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 75-93. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.16103.3144> (In Persian)
- Abdalla, O.A. (2009). Groundwater modeling in semiarid Central Sudan: adequacy and long-term abstraction. *Arabian Journal of Geosciences*, 2(4), 321-335. <https://doi.org/10.1007/s12517-009-0042-4>
- Abedi Koupai, J., & Golabchian, M. (2015). Estimation of Hydrodynamic Parameters of Groundwater Resources in Kouhpayeh- Segzi Watershed Using MODFLOW. *Journal of Water and Soil Science*, 19 (72), 281-293. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.24> (In Persian)
- Abiye, T., Masindi, K., Mengistu, H., & Demlie, M. (2018). Understanding the groundwater level fluctuations for better management of groundwater resource: a case in the Johannesburg region. *Groundw. Sustain. Develop.*, 7, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.02.004>
- Aghlmand, R., & Abbasi, A. (2019). Application of MODFLOW with boundary conditions analyses based on limited available observations: A case study of Birjand plain in East Iran. *Water*, 11(9), 1904. <https://doi.org/10.3390/w11091904>
- Ahmadzadeh, H., Morid, S., & Delavar, M. (2014). Assessment of changes in agricultural crop yields and inflows to Lake Urmia in Zarrinehrud River basin due to changing irrigation systems from surface to pressurized using the SWAT model. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 8(1), 1-15. https://idj.iaid.ir/article_54532.html (In Persian)
- Ahmed, K. A., & Altunkaynak, A. (2020). Modeling groundwater flow and seawater intrusion in the Terkos Lake aquifer due to Canal Istanbul excavation. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4983-y>
- Aizen, V., Aizen, E., Glazirin, G., & Loaiciga, H. A. (2000). Simulation of daily runoff in Central Asian alpine watersheds. *Journal of hydrology*, 238(1-2), 15-34. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00319-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00319-X)
- Akoko, G., Le, T. H., Gomi, T., & Kato, T. (2021). A review of SWAT model application in Africa. *Water*, 13(9), 1313. <https://doi.org/10.3390/w13091313>
- Alfaifi, H. J., Abdelfatah, M. S., Abdelrahman, K., Zaidi, F. K., Ibrahim, E., & Alarifi, N. S. (2017). Groundwater management scenarios for the Biyadh-Wasia aquifer systems in the eastern part of Riyadh region, Saudi Arabia. *Journal of the Geological Society of India*, 89(6), 669-674. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0676-x>
- Aliyari, F., Bailey, R. T., Tasdighi, A., Dozier, A., Arabi, M., & Zeiler, K. (2019). Coupled SWAT-MODFLOW model for large-scale mixed agro-urban river basins. *Environmental Modelling & Software*, 115, 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.02.014>
- Aloui, S., Mazzoni, A., Elomri, A., Aouissi, J., Boufekane, A., & Zghibi, A. (2023). A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) studies of Mediterranean catchments: Applications, feasibility, and future directions. *Journal of Environmental Management*, 326, 116799. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116799>

- Alvarez, M., Trovatto, M. M., Hernández, M. A., & González, N. (2012). Groundwater flow model, recharge estimation and sustainability in an arid region of Patagonia, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 66(7), 2097-2108. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1435-8>
- Aly, M. M., Sakr, S. A., & Fayad, S. A. (2019). Evaluation of the impact of Lake Nasser on the groundwater system in Toshka under future development scenarios, Western Desert, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(17), 553. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4701-9>
- Arnold, J. G., & Fohrer, N. (2005). SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 563-572. <https://doi.org/10.1002/hyp.5611>
- Arumí, J. L., Rivera, D., Holzapfel, E., Boochs, P., Billib, M., & Fernald, A. (2009). Effect of the irrigation canal network on surface and groundwater interactions in the lower valley of the Cachapoal river, Chile [Efecto de la red de canales de riego en las interacciones de agua superficial y subterránea en la parte baja del valle del Río Cachapoal, Chile]. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69, Nr. 1, 69(1), 12-20. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392009000100002>
- Asghari Sersekanroud, S., & Saeedi Seta, A. (2023). Investigating the Effects of Land Use Changes on the Runoff of Qara Chai River Basin Using the SWAT Model. *Geography and Environmental Planning*, 34(3), 95-118. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.134432.1535> (In Persian)
- Aslam, R. A., Shrestha, S., Usman, M. N., Khan, S. N., Ali, S., Sharif, M. S., ... & Arshad, A. (2022). Integrated SWAT-MODFLOW modeling-based groundwater adaptation policy guidelines for lahore, Pakistan under projected climate change, and human development scenarios. *Atmosphere*, 13(12), 2001. <https://doi.org/10.3390/atmos13122001>
- Baalousha, H. M., Fahs, M., Ramasomanana, F., & Younes, A. (2019). Effect of pilot-points location on model calibration: Application to the northern karst aquifer of Qatar. *Water*, 11(4), 679. <https://doi.org/10.3390/w11040679>
- Bailey, R. T., Wible, T. C., Arabi, M., Records, R. M., & Ditty, J. (2016). Assessing regional-scale spatio-temporal patterns of groundwater-surface water interactions using a coupled SWAT-MODFLOW model. *Hydrological processes*, 30(23), 4420-4433. <https://doi.org/10.1002/hyp.10933>
- Barazzuoli, P., Nocchi, M., Rigati, R., & Salleolini, M. (2008). A conceptual and numerical model for groundwater management: a case study on a coastal aquifer in southern Tuscany, Italy. *Hydrogeology Journal*, 8(16), 1557-1576. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0324-z>
- Barthel, R., & Banzhaf, S. (2016). Groundwater and surface water interaction at the regional-scale—a review with focus on regional integrated models. *Water resources management*, 30(1), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1163-z>
- Bedekar, V., Niswonger, R.G., Kipp, K., Panday, S., & Tonkin, M. (2012). Approaches to the simulation of unconfined flow and perched groundwater flow in MODFLOW. *Ground Water*, 187–198. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2011.00829.x>
- Bejranonda, W., Koontanakulvong, S., & Koch, M. (2007). Surface and Groundwater Dynamic Interactions in the Upper Great Chao Phraya Plain of Thailand: Semi-Coupling of SWAT and MODFLOW; Groundwater and Ecosystems, IAH Selected Papers on Hydrogeology; International Association of Hydrology: Goring, UK, 17–21. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1007-y>
- Berihun, M. L., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Dile, Y. T., Tsubo, M., Fenta, A. A., ... & Srinivasan, R. (2020). Evaluating runoff and sediment responses to soil and water

- conservation practices by employing alternative modeling approaches. *Science of the Total Environment*, 747, 141118. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141118>
- Calderón Palma, H., & Bentley, L. R. (2007). A regional-scale groundwater flow model for the Leon-Chinandega aquifer, Nicaragua. *Hydrogeology Journal*, 15(8), 1457-1472. <https://doi.org/10.1007/s10040-007-0197-6>
- Carroll, R. W., Pohll, G., McGraw, D., Garner, C., Knust, A., Boyle, D., ... & Pohlmann, K. (2010). Mason Valley Groundwater Model: Linking Surface Water and Groundwater in the Walker River Basin, Nevada 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(3), 554-573. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00434.x>
- Chen, Y., Niu, J., Sun, Y., Liu, Q., Li, S., Li, P., ... & Li, Q. (2020). Study on streamflow response to land use change over the upper reaches of Zhanghe Reservoir in the Yangtze River basin. *Geoscience Letters*, 7, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40562-020-00155-7>
- Chezgi, J., & Hamed, E. (2023). Flood Prioritization of Sarbaz River Sub-Basins Using SWAT Model. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(3), 73-86. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2023.6478.1026> (In Persian)
- Chitsazan, M., javadchavoshi, Z., & Nassery, H. (2015). Predicting aquifer-river interactions using MODFLOW in the Dosalagh plain, Khuzestan Province. *Iranian Water Researches Journal*, 9(4), 139-147. https://iwrij.sku.ac.ir/article_11104.html (In Persian)
- Chowdhury, A., & Rahnema, M. (2023). Groundwater contaminant transport modeling using MODFLOW and MT3DMS: a case study in Rajshahi City. *Water Practice & Technology*, 18(5), 1255-1272. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.076>
- Chu, J., Zhang, C., & Zhou, H. (2010). Study on interface and frame structure of SWAT and MODFLOW models coupling. *Geophysical Research Abstracts*, V12, EGU2010-4559. <https://www.semanticscholar.org/paper/Study-on-interface-and-frame-structure-of-SWAT-and-Chu-Zhang/fca1754a98b1c68a4089fc29f8802f62e63acc00>
- Chu, T. W., & Shirmohammadi, A. (2004). Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland. *Transactions of the ASAE*, 47(4), 1057-1073. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1227.2011.00164>
- Chung, I. M., Kim, N. W., Lee, J., & Sophocleous, M. (2010). Assessing distributed groundwater recharge rate using integrated surface water-groundwater modelling: application to Mihocheon watershed, South Korea. *Hydrogeology Journal*, 18(5), 1253. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0593-1>
- Chunn, D., Faramarzi, M., Smerdon, B., & Alessi, D. S. (2019). Application of an integrated SWAT-MODFLOW model to evaluate potential impacts of climate change and water withdrawals on groundwater-surface water interactions in West-Central Alberta. *Water*, 11(1), 110. <https://doi.org/10.3390/w11010110>
- Correa-González, A., Hernández-Bedolla, J., Martínez-Cinco, M. A., Sánchez-Quispe, S. T., & Hernández-Hernández, M. A. (2023). Assessment of nitrate in groundwater from diffuse sources considering spatiotemporal patterns of hydrological systems using a coupled SWAT/MODFLOW/MT3DMS model. *Hydrology*, 10(11), 209. <https://doi.org/10.3390/hydrology10110209>
- Dadafarid, S., Hessari, B., & Abghari, H. (2019). Modelling of interaction between Urmia Lake water level and costal aquifer with GMS. *Iranian Water Researches Journal*, 13(2), 129-137. https://iwrij.sku.ac.ir/article_10648.html (In Persian)
- Deb, P., Kiem, A. S., & Willgoose, G. (2019). A linked surface water-groundwater modelling approach to more realistically simulate rainfall-runoff non-stationarity in semi-arid regions. *Journal of Hydrology*, 575, 273-291. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.039>

- Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic procedia*, 4, 1001-1007. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>
- Dousti Rezaie, M., Zeinalzadeh, K., Besharat, S., & Amirataee, B. (2022). Effects of Management and Climate Scenarios on Groundwater Level Changes: Case Numerical Modeling Study in Salmas Plain Aquifer. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16(2), 280-293. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1401.16.2.2.1> (In Persian)
- Dowlatabadi, S., & Ali Zomorodian, S. M. (2016). Conjunctive simulation of surface water and groundwater using SWAT and MODFLOW in Firoozabad watershed. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 485-496. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0354-8>
- Ebrahimi, P., Salimi Kochi, J., & Mohseni Saravi, M. (2018). Calibration and validation of SWAT Model in runoff simulation, case study: Neka Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 266-279. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.117332> (In Persian)
- Ehtiat, M., Jamshid Mousavi, S., & Srinivasan, R. (2018). Groundwater modeling under variable operating conditions using SWAT, MODFLOW and MT3DMS: A catchment scale approach to water resources management. *Water resources management*, 32, 1631-1649. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1895-z>
- El Saeed, G. H., Abdelmageed, N. B., Riad, P., & Komy, M. (2020). Ensuring sustainable development through groundwater management, area one, south western desert, Egypt. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 17(3), 1584-1593. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i3.pp1584-1593>
- El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D., & Kaufmann, O. (2008). Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). *Journal of Hydro-environment Research*, 2(3), 192-209. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2008.08.003>
- Eltarabily, M. G. A., & Negm, A. M. (2019). Groundwater management for sustainable development east of the Nile delta aquifer. *Groundwater in the Nile Delta*, 687-708. https://doi.org/10.1007/698_2017_102
- Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R., & Yang, H. (2009). Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(3), 486-501. <https://doi.org/10.1002/hyp.7160>
- Farokhnia, A., Morid, S., Abbaspour, K., & Delavar, M. (2018). Development of SWAT-LU model for simulation of Lake Urmia water level decrease and assessment of the proposed actions for its restoration; Part 1: Development, calibration and validation of SWAT-LU model. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(3), 647-665. https://idj.iaid.ir/article_73673.html (In Persian)
- Farokhnia, A., Morid, S., Delavar, M., & Abbaspour, K. (2018). Development of SWAT-LU Model for Simulation of Urmia Lake Water Level Decrease and Assessment of the Proposed Actions for its Restoration; (Role of Anthropogenic and Climatic Factors on Hydrological Change of the Basin and Lake). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(5), 1041-1058. https://idj.iaid.ir/article_81775.html (In Persian)
- Farokhnia, A., Morid, S., Delavar, M., & Abbaspour, K. (2019). Development of SWAT-LU Model for Simulation of Urmia Lake Water Level Decrease and Assessment of the Proposed Actions for its Restoration; Part 3: Water Accounting Analysis and Assessment of the Proposed Actions for Restoration of Urmia Lake. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(6), 1362-1380. https://idj.iaid.ir/article_85904.html (In Persian)
- Ficklin, D. L., Luo, Y., & Zhang, M. (2013). Watershed modelling of hydrology and water quality in the Sacramento River watershed, California. *Hydrological processes*, 27(2), 236-250. <https://doi.org/10.1002/hyp.9222>

- Galbiati, L., Bouraoui, F., Elorza, F. J., & Bidoglio, G. (2006). Modeling diffuse pollution loading into a Mediterranean lagoon: development and application of an integrated surface–subsurface model tool. *Ecological Modelling*, 193(1-2), 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.036>
- Gao, F., Feng, G., Han, M., Dash, P., Jenkins, J., & Liu, C. (2019). Assessment of surface water resources in the big sunflower river watershed using coupled SWAT–MODFLOW model. *Water*, 11(3), 528. <https://doi.org/10.3390/w11030528>
- Ghobadi Alamdari, S., Asghari Moghaddam, A., & Shahsavari A. (2019). The Feasibility of the Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources in Dehloran Plain by Using the MODFLOW Model. *Journal of Water and Soil Science*, 23 (4), 45-57. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.23.4.33561> (In Persian)
- Ghodousi, M., Delavar, M., & Morid, S. (2014). Impact of Land Use Changes on Hydrology of Ajichai Basin and its Input to Urmia Lak. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(2), 123-133. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2014.51614> (In Persian)
- Gholami, A., Shahedi, K., Habibnejad Rooshan, M., Vafakhah, M., & Soleimani, K. (2017). Assesment about Efficiency of SWAT Semi-Distribution Model for Simulation of Streamflow (Case Study in Talar Watershed, Mazandaran Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(3), 463-476. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.63414> (In Persian)
- Gosain, A. K., Rao, S., Srinivasan, R., & Reddy, N. G. (2005). Return-flow assessment for irrigation command in the Palleru River basin using SWAT model. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 673-682. <https://doi.org/10.1002/hyp.5622>
- Guzman, J. A., Moriasi, D. N., Gowda, P. H., Steiner, J. L., Starks, P. J., Arnold, J. G., & Srinivasan, R. (2015). A model integration framework for linking SWAT and MODFLOW. *Environmental Modelling & Software*, 73, 103-116. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.08.011>
- HajiGhasemi, S., Zakeri Niri, M., & Najafi Jilani, A. (2021). Investigating of Climate Change Effects on the Surface Runoff with SWAT Model (Case study: Mazlaghan River). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(1), 121-137. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.1.11.1> (In Persian)
- Heydari, J., Chitsazan, M., & Mirzaei, S.Y. (2019). Modeling the Hydrogeological Relationship of Sahneh-Bistoon Plain Aquifer with Gamasiab River and Aquifer Management. *Hydrogeology*, 4(1), 140-152. <https://doi.org/10.22034/hydro.2019.8447> (In Persian)
- Hosseini, S. H., & Khaleghi, M. R. (2020). Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: The Zoshk–Abardeh watershed). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2003-2013. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00846-2>
- Irvine, D. J., Brunner, P., Franssen, H. J. H., & Simmons, C. T. (2012). Heterogeneous or homogeneous? Implications of simplifying heterogeneous streambeds in models of losing streams. *Journal of Hydrology*, 424, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.051>
- Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ghahraman, B., Sadeghi, M., & Moghaddamnia, A. (2012). Application of "panel-data" modeling to predict groundwater levels in the Neishaboar Plain, Iran. *Hydrogeology Journal*, 20(3), 435. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0814-2>
- Janjić, J., & Tadić, L. (2023). Fields of application of SWAT hydrological model—a review. *Earth*, 4(2), 331-344. <https://doi.org/10.3390/earth4020018>
- Javadi, S., Kardan Moghaddam, H., & Neshat, A. (2018). Evaluation and Simulation of Groundwater Flow in Aquifers Enclosed with Desert Saline Areas (Case Study: Isfahan

- Province-Ardestan Aquifer). *Water Harvesting Research*, 3(1&2), 15-27. <https://doi.org/10.22077/jwhr.2019.1052>
- Jayakrishnan, R. S. R. S., Srinivasan, R., Santhi, C., & Arnold, J. G. (2005). Advances in the application of the SWAT model for water resources management. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 749-762. <https://doi.org/10.1002/hyp.5624>
- Jódar, J., Urrutia, J., Herrera, C., Custodio, E., Martos-Rosillo, S., & Lambán, L. J. (2024). The catastrophic effects of groundwater intensive exploitation and Megadrought on aquifers in Central Chile: Global change impact projections in water resources based on groundwater balance modeling. *Science of the Total Environment*, 914, 169651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169651>
- Jolejole, M. E., Kim, B. J., Jeon, D. J., Cayetano, M., & Kim, J. H. (2018). Scenario study of the effect of different land use to a sub-basin in Yeongsan River basin using SWAT model. *Desalination and Water Treatment*, 120, 198-204. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22884>
- Jonubi, R., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., & Abbaspour, K. (2018). Investigation of quantitative changes in the groundwater table of Miandoab plain affected by surface and groundwater resources management using the MODFLOW-NWT mathematical model, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(2), 467-481. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.239340.667731> (In Persian)
- Karbasi Maroof, M.T., Nasser, H.R., & Alijani, F. (2023). Effect of water seepage and dissolution on the stability of Neyshabur bar dam, *Iranian Journal of Geology*, 65(17):19-32. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17357128.1402.17.65.2.4> (In Persian)
- Kardan Moghaddam, H., Banihabib, M. E., & Javadi, S. (2018). Quantitative sustainability analysis of aquifer system (case study: South Khorasan-Birjand aquifer). *Water and Soil*, 31(6), 1587-1601. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i6.66959>
- Ketabchi, H., Mahmoodzadeh, D., & Farhodi Hafdar, R. (2017). Estimation of wetland-aquifer exchanges (Case Study: Kaniborazan wetland). *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(3), 699-709. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.62503> (In Persian)
- Khaledi Alamdari, M., Majnooni Heris, A., & Fakheri Fard, A. (2022). Estimation of Hydraulic conductivity and Specific storage of Shabestar Plain Aquifer Using Numerical model. *Hydrogeology*, 7(1), 42-52. https://hydro.tabrizu.ac.ir/article_13724.html (In Persian)
- Khalilian, S., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., & Saremi, A. (2021). Assessing the Impact of Climate Change on the Inflow on Zayandehrood Dam. *Journal of Water and Soil Science*, 24 (4), 255-271. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.24.4.7492> (In Persian)
- Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S., & Arnold, J. G. (2008). Development and application of the integrated SWAT–MODFLOW model. *Journal of hydrology*, 356(1-2), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.02.024>
- King, K. W., Fausey, N. R., & Williams, M. R. (2014). Effect of subsurface drainage on streamflow in an agricultural headwater watershed. *Journal of hydrology*, 519, 438-445. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.035>
- Laïssaoui, M., Mesbah, M., Madani, K., & Kinouar, H. (2018). Quantitative groundwater modelling for a sustainable water resource exploitation in a Mediterranean alluvial aquifer. *In AIP Conference Proceedings*, 1968(1), AIP Publishing, Washington, USA. <https://doi.org/10.1063/1.5039184>
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Provost, A. M., Russcher, M. J., & Panday, S. (2024). MODFLOW as a Configurable Multi-Model Hydrologic Simulator. *Groundwater*, 62(1), 111-123. <https://doi.org/10.1111/gwat.13351>

- Leake, S. A., & Barlow, P. M. (2013). Understanding and managing the effects of groundwater pumping on streamflow (No. 2013-3001). *US Geological Survey*. <https://doi.org/10.3133/fs20133001>
- Li, M., Li, Q., Cai, T., Li, P., & Zou, Z. (2012). Modeling the effects of land-use change on runoff generation in the upper Huaihe River basin, China. *In 2012 International Symposium on Geomatics for Integrated Water Resource Management*, 1-4. IEEE. <https://doi.org/10.1109/giwrn.2012.6349642>
- Lin, H. T., Tan, Y. C., Chen, C. H., Lin, W. S., & Liu, C. W. (2012). Multivariate approaches optimize locations of groundwater pumping facilities for different hydrogeological scales. *Hydrological Processes*, 26(19), 2985-2996. <https://doi.org/10.1002/hyp.8307>
- Menking, K. M., Syed, K. H., Anderson, R. Y., Shafike, N. G., & Arnold, J. G. (2003). Model estimates of runoff in the closed, semiarid Estancia basin, central New Mexico, USA. *Hydrological sciences journal*, 48(6), 953-970. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.6.953.51424>
- Mo, G., Zhang, Y., Huang, Y., Mo, C., & Yang, Q. (2020). Evaluation and hydrological impact of land-use changes in the Longtan basin. *Journal of Earth System Science*, 129, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-01458-1>
- Molina-Navarro, E., Bailey, R. T., Andersen, H. E., Thodsen, H., Nielsen, A., Park, S., ... & Trolle, D. (2019). Comparison of abstraction scenarios simulated by SWAT and SWAT-MODFLOW. *Hydrological Sciences Journal*, 64(4), 434-454. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1590583>
- Mosase, E., Ahiablame, L., Park, S., & Bailey, R. (2019). Modelling potential groundwater recharge in the Limpopo River Basin with SWAT-MODFLOW. *Groundwater for sustainable development*, 9, 100260. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100260>
- Movahediyani, A., & Chitsazan, M. (2016). Analysis of interactions of groundwater and Karun River in Gotvand-Aghili plain using MODFLOW model. *Watershed Management Research*, 29(2), 9-18. <https://doi.org/10.22092/wmej.2016.113417> (In Persian)
- Mundetia, N., Sharma, D., & Sharma, A. (2024). Groundwater sustainability assessment under climate change scenarios using integrated modelling approach and multi-criteria decision method. *Ecological Modelling*, 487, 110544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110544>
- Nair, S. S., King, K. W., Witter, J. D., Sohngen, B. L., & Fausey, N. R. (2011). Importance of crop yield in calibrating watershed water quality simulation tools 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 47(6), 1285-1297. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00570.x>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. *Texas Water Resources Institute*. <https://doi.org/10.13031/2013.23634>
- Nguyen, V. T., & Dietrich, J. (2018). Modification of the SWAT model to simulate regional groundwater flow using a multicell aquifer. *Hydrological processes*, 32(7), 939-953. <https://doi.org/10.1002/hyp.11466>
- Nikkhoo Amiri, S., khoshravesh, M., & Norooz Valashedi, R. (2019). Simulation of Outflow Time Series at Shahid Rajaee Dam using SWAT model. *Irrigation and Water Engineering*, 10(1), 66-80. <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.95875> (In Persian)
- Niswonger, R. G., Panday, S., & Ibaraki, M. (2011). MODFLOW-NWT, a Newton formulation for MODFLOW-2005. *US Geological Survey Techniques and Methods*, 6(A37), 44. <https://doi.org/10.3133/tm6a37>
- Nohegar, A., Malekian, A., Hosseini, M., Holisaz, A., & Taghvaye Salimi, E. (2016). Comparison SUFI-2 and GLUE algorithms on runoff simulation in the forest catchments, a

- case study in the Shafaroud Catchment. *Watershed Engineering and Management*, 8(4), 389-399. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107185> (In Persian)
- Omar, P. J., Dwivedi, S. B., & Dikshit, P. K. S. (2020). Sustainable development and management of groundwater in Varanasi, India. *In Advances in Water Resources Engineering and Management: Select Proceedings of TRACE 2018*, 201-209. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2_15
- Osmani, H., Motamedvaziri, B., & Moeni, A. (2013). Simulation of discharge, calibration and validation of SWAT model, case study: Tehran Latyan dam upstream. *Watershed Engineering and Management*, 5(2), 134-143. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2013.101809> (In Persian)
- Park, S., & Bailey, R. T. (2017). SWAT-MODFLOW tutorial: Documentation for preparing model simulations. Department of Civil and Environmental Engineering, *Colorado State University: Fort Collins, CO, USA*. <https://doi.org/10.21926/obm.icm.2104043>
- Parsa Sadr, H., Mohammadzadeh, H., & Nassery, H. R. (2016). Numerical simulating of Sabzevar Roudab aquifer and checking of influences of constructing Sabzevar Roudab dam on it. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(1), 119-135. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3022> (In Persian)
- Parsinejad, M., Raja, O., & Chehrenegar, B. (2022). Practical analysis of remote sensing estimations of water use for major crops throughout the Urmia Lake basin. *Agricultural water management*, 260, 107232. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107232>
- Patil, N. S., & Nataraja, M. (2020). Effect of land use land cover changes on runoff using hydrological model: a case study in Hiranyakeshi watershed. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 2345-2357. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00808-8>
- Paul, M. J. (2006). Impact of land-use patterns on distributed groundwater recharge and discharge: A case study of western Jilin, China. *Chinese Geographical Science*, 16, 229-235. <https://doi.org/10.1007/s11769-006-0229-5>
- Putthividhya, A. and Laonamsai, J. 2011. SWAT and MODFLOW Modeling of Spatio-Temporal Runoff and Groundwater Recharge Distribution. *In World Environmental and Water Resources Congress 2017* (pp. 51-65). <https://doi.org/10.1061/9780784480618.006>
- Raheem, A., Ahmad, I., Arshad, A., Liu, J., Rehman, Z. U., Shafeeqe, M., ... & Iqbal, U. (2023). Numerical Modeling of Groundwater Dynamics and Management Strategies for the Sustainable Groundwater Development in Water-Scarce Agricultural Region of Punjab, Pakistan. *Water*, 16(1), 34. <https://doi.org/10.3390/w16010034>
- Raja, O., Parsinejad, M., & Tajrishi, M. (2022). Simulation of Groundwater Balance Using Integrated Surface and Groundwater SWAT-MODFLOW-NWT Model (Case Study: Mahabad Plain). *Water and Soil*, 36(1), 31-52. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.74890.1138> (In Persian)
- Raja, O., Parsinejad, M., & Tajrishy, M. (2022). Multipurpose Calibration of SWAT Model in Estimating Runoff, Evapotranspiration, and Crop Yield (A Case Study: Mahabad Plain). *Iran-Water Resources Research*, 17(4), 11-34. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.4.1.8> (In Persian)
- Raja, O., Parsinejad, M., & Tajrishy, M. (2023). Estimation and evaluation of water balance components by calibrated SWAT Model, case study: Mahabad Plain. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 109-129. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.357631.1957> (In Persian)
- Raja, O., Parsinejad, M., & Tajrishy, M. (2023). Evaluation of Interaction between Aquifer and river Using Integrated SWAT-MODFLOW-NWT Model (Case study: Mahabad

- plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(4), 49-72. <https://doi.org/10.22055/jise.2022.40163.2018> (In Persian)
- Rajaeian, S., Ketabchi, H., & Ebadi, T. (2024). Investigation on quantitative and qualitative changes of groundwater resources using MODFLOW and MT3DMS: a case study of Hashtgerd aquifer, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 4679-4704. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02904-4>
- Rayne, T. W., Bradbury, K. R., & Muldoon, M. A. (2001). Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite, Sturgeon Bay, Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal*, 9, 432-450. <https://doi.org/10.1007/s100400100154>
- Rezaei Moghaddam, M.H., Hejazi, M.A., & Behbody, A. (2019). Estimation of Runoff Catchment in East Azerbaijan Province: Comparative Application of Calibration Methods and Uncertainty Analysis of SWAT Model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(3), 59-75. <https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.81998> (In Persian)
- Rezaei Moghaddam, M.H., Rahimpour, T., & Nakhostinrouhi, M. (2016). Potential Detection of the Groundwater Resources Using Analytic Network Process in Geographic Information System (Case Study: Basins Leading to Tabriz Plain). *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(3), 379-389. <https://doi.org/10.22059/ije.2016.60026> (In Persian)
- Ridwansyah, I., Rustini, H. A., Yulianti, M., & Harsono, E. (2020). Water balance of Maninjau watershed with SWAT hydrological model. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 535(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012035>
- Risal, A., Parajuli, P. B., Dash, P., Ouyang, Y., & Linhoss, A. (2020). Sensitivity of hydrology and water quality to variation in land use and land cover data. *Agricultural Water Management*, 241, 106366. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106366>
- Rodríguez, L. B., Cello, P. A. and Vionnet, C. A. 2006. Modeling stream-aquifer interactions in a shallow aquifer, Choele Choel Island, Patagonia, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 14(4), 591-602. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0472-3>
- Rostamian, R., Jaleh, A., Afyuni, M., Mousavi, S. F., Heidarpour, M., Jalalian, A., & Abbaspour, K. C. (2008). Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *Hydrological sciences journal*, 53(5), 977-988. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.5.977>
- Saadatpour, A., Alizadeh, A., Ziaei, A.N., & izady, A. (2019). Integrated Surface and Groundwater Flow Modeling in Neishaboor Watershed with SWAT-MODFLOW. *Water and Soil*, 33(4), 521-536. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.74658> (In Persian)
- Saberimehr, S., Asghari moghaddam, A., & Nadiri, A. (2017). Modeling groundwater flow and salinity intrusion at Shabestar plain aquifer using GMS software model. *Quaternary Journal of Iran*, 3(1), 41-50. <https://doi.org/10.22034/irqua.2017.701896> (In Persian)
- Salmani, H., Javadi, S., Eini, M. R., & Golmohammadi, G. (2023). Compilation simulation of surface water and groundwater resources using the SWAT-MODFLOW model for a karstic basin in Iran. *Hydrogeology Journal*, 31(3), 571-587. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02620-x>
- Sarvari, S., Ziaei, A.N., & Joodavi, A. (2019). Investigation of River-aquifer Interactions in Bojnourd Plain Using Reach Measurements and Numerical Modeling. *Water and Soil*, 33(5), 671-683. <https://doi.org/10.22067/jsw.v33i5.72735> (In Persian)
- Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, W. M., & Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(15), 3335-3370. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>

- Shahoei, S. V., Porhemmat, J., Sedghi, H., Hosseini, M., & Saremi, A. (2018). Monthly runoff simulation through SWAT hydrological model and evaluation of model in calibration and validation periods, case study: Ravansar Sanjabi Basin in Kermanshah Province, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 464-477. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.109516.1273> (In Persian)
- Shakoor, A., Arshad, M., Ahmad, R., Khan, Z. M., Qamar, U., Farid, H. U., ... & Ahmad, F. (2018). Development of Groundwater Flow Model (MODFLOW) to Simulate the Escalating Groundwater Pumping in the Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 55(3). <https://doi.org/10.21162/pakjas/18.4909>
- Sheikhipour, B., Javadi, S., & Banihabib, M. E. (2018). Assessing the Effectiveness of Aquifer Regeneration Scenarios by Sustainability Index and Water Exploitation Indicators of Water Resources, Case Study: Shahrekord Aquifer. *Water and Soil*, 32(2), 267-281. <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i1.68794> (In Persian)
- Sibanda, T., Nonner, J. C., & Uhlenbrook, S. (2009). Comparison of groundwater recharge estimation methods for the semi-arid Nyamandhlovu area, Zimbabwe. *Hydrogeology journal*, 17(6), 1427. <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0445-z>
- Sisay, B. M., Nedaw, D., Birhanu, B., & Gigar, A. G. (2023). Application of SWAT and MODFLOW models for characterization of surface-groundwater interaction in the Modjo River catchment, central Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, 82(13), 341. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10988-y>
- Soltani, F., Javadi, S., Roozbahani, A., Massah Bavani, A. R., & Lotfi, S. (2022). Simulation of surface water-groundwater interaction using MODFLOW-OWHM (case study: Shazand plain). *Iranian journal of Ecohydrology*, 9(1), 199-210. <https://doi.org/10.22059/ije.2022.336586.1595> (In Persian)
- Sophocleous, M. (2005). Groundwater recharge and sustainability in the High Plains aquifer in Kansas, USA. *Hydrogeology Journal*, 13, 351-365. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0385-6>
- Sophocleous, M., & Perkins, S. P. (2000). Methodology and application of combined watershed and ground-water models in Kansas. *Journal of hydrology*, 236(3-4), 185-201. [https://doi.org/10.1016/s0022-1694\(00\)00293-6](https://doi.org/10.1016/s0022-1694(00)00293-6)
- Spruill, C. A., Workman, S. R., & Taraba, J. L. (2000). Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Transactions of the ASAE*, 43(6), 1431-1439. <https://doi.org/10.13031/2013.3041>
- Sun, H., & Cornish, P. S. (2005). Estimating shallow groundwater recharge in the headwaters of the Liverpool Plains using SWAT. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 795-807. <https://doi.org/10.1002/hyp.5617>
- Taherian, P., Ansari, H., Davari, K., Beheshti, A., & Ziai, A. N. (2021). Modeling the groundwater quality (salinity) variations in Neyshabour plain using MODFLOW and MT3DMS. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15(1), 27-37. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.1.3.3> (In Persian)
- Taherian, P., Ansari, H., Davari, K., beheshti, A., & Ziai, A. N. (2021). Modeling the groundwater quality (salinity) variations in Neyshabour plain using MODFLOW and MT3DMS. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(1), 27-37. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.1.3.3> (In Persian)
- Taie Semiromi, M., & Koch, M. (2019). Analysis of spatio-temporal variability of surface-groundwater interactions in the Gharehsoo river basin, Iran, using a coupled SWAT-MODFLOW model. *Environmental Earth Sciences*, 78(6), 201. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8206-3>

- Trasviña-Carrillo, J. A., Wurl, J., & Imaz-Lamadrid, M. A. (2019). Groundwater flow model and statistical comparisons used in sustainability of aquifers in arid regions. *Resources*, 8(3), 134. <https://doi.org/10.3390/resources8030134>
- Triki, C., Zekri, S., Al-Maktoumi, A., & Bazargan-Lari, M. R. (2020). Optimal location of wells for storage and recovery of surplus desalinated water in coastal aquifers. *Groundwater*, 58(5), 831-841. <https://doi.org/10.1111/gwat.12951>
- Upadhyay, P., Linhoss, A., Kelble, C., Ashby, S., Murphy, N., & Parajuli, P. B. (2022). Applications of the SWAT model for coastal watersheds: review and recommendations. *Journal of the ASABE*, 65(2), 453-469. <https://doi.org/10.13031/ja.14848>
- Valivand, F., & Katibeh, H. (2019). Assessment of The Long-Term Quantitative Effects of Management Conditions and Current Abstraction on Varamin Plain Aquifer. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(2), 251-261. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.15448.3067> (In Persian)
- Van Liew, M. W., Arnold, J. G., & Garbrecht, J. D. (2003). Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transactions of the ASAE*, 46(6), 1539-1551. <https://doi.org/10.13031/2013.15643>
- Wang, W., Chen, Y., Wang, W., Zhu, C., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, T. (2023). Water quality and interaction between groundwater and surface water impacted by agricultural activities in an oasis-desert region. *Journal of Hydrology*, 617, 128937. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128937>
- Wang, X., Sun, Y., Xu, Z., Zheng, J., & Zhang, C. (2020). Feasibility prediction analysis of groundwater reservoir construction based on GMS and Monte Carlo analyses: a case study from the Dadougou Coal Mine, Shanxi Province, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4978-8>
- Ware, H. H., Mengistu, T. D., Yifru, B. A., Chang, S. W., & Chung, I. M. (2023). Assessment of Spatiotemporal Groundwater Recharge Distribution Using SWAT-MODFLOW Model and Transient Water Table Fluctuation Method. *Water*, 15(11), 2112. <https://doi.org/10.3390/w15112112>
- Wei, X., & Bailey, R. T. (2019). Assessment of system responses in intensively irrigated stream-aquifer systems using SWAT-MODFLOW. *Water*, 11(8), 1576. <https://doi.org/10.3390/w11081576>
- Wei, X., Bailey, R. T., Records, R. M., Wible, T. C., & Arabi, M. (2019). Comprehensive simulation of nitrate transport in coupled surface-subsurface hydrologic systems using the linked SWAT-MODFLOW-RT3D model. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104242. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.012>
- Wheater, H.S. (2010). Hydrological processes, groundwater recharge and surface-water/groundwater interactions in arid and semi-arid areas. Groundwater Modeling in Arid and Semi-Arid Areas, 1st ed. Howard S. Wheeler, Simon A. Mathias and Xin Li. Published by Cambridge University Press, 5-37. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511760280.003>
- Xu, K., & Peng, H. Q. (2013). Estimating runoff and environment protection in Tao River Basin based on SWAT Model. *Applied Mechanics and Materials*, 340, 942-946. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.340.942>
- Yifru, B. A., Lee, S., Bak, S., Bae, J. H., Shin, H., & Lim, K. J. (2024). Estimating exploitable groundwater for agricultural use under environmental flow constraints using an integrated SWAT-MODFLOW model. *Agricultural Water Management*, 303, 109024. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109024>
- Yousefi, A., Sarai Tabrizi, M., Porhemmat, J., & Babazadeh, H. (2022). Studying Groundwater Resources Balancing Plan under Climate Change Conditions (Case Study: Hashtgerd Study

- Area). *Iranian Water Researches Journal*, 16(2). <https://doi.org/10.22034/iwrj.2022.10020.2340> (In Persian)
- Zhang, L., Li, X., Han, J., Lin, J., Dai, Y., & Liu, P. (2024). Identification of surface water-groundwater nitrate governing factors in Jianghuai hilly area based on coupled SWAT-MODFLOW-RT3D modeling approach. *Science of the Total Environment*, 912, 168830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168830>