



## Simulation of Nahand reservoir water allocation and its performance evaluation under developed scenarios using the water evaluation and planning (WEAP) model

Mohsen Salimi <sup>1</sup> , Mohammad Taghi Sattari <sup>2\*</sup> , Javad Parsa <sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

### Abstract

#### Introduction

Effective approaches and policies including identifying priorities and optimal water allocation techniques, especially in basins with different users are considered essential for sustainable development in each region. With 1100 m<sup>3</sup> of renewable water per person per year, Iran is considered to be the most critical region in the world in terms of water resources. Unfortunately, most plans in the water sector of such countries are based on local economic growth, and no attention is paid to the amount of available water resources. Considering the issue of a water crisis and the droughts of the last few years, the issue of water resources management has gained high importance. To overcome the mentioned problems, it is inevitably essential to use newly developed water management techniques based on advanced approaches. Although optimization techniques are well-known tools in these issues, the simulation method is utilized as a helpful approach. To simulate water management in the basin, there are various available models. RIBASIM, MIKE BASIN, WEAP, and MODSIM models are famous and user-friendly ones in this collection. WEAP software is a comprehensive and advanced water resource system simulation tool widely used in watershed management and can consider physical and hydrological processes. The scenarios that can be investigated with this software include population growth, economic development, changing the policy of operating reservoirs, extracting more from underground water resources, saving water, allocating ecosystem needs, integrated use of surface and underground water, reuse of water, etc.

#### Materials and Methods

This study was conducted in the Nahand catchment area which is located in East Azerbaijan province. Nahand river is the main draining course of this catchment, on which a dam has been built to supply a part of Tabriz's drinking water. To control the performance indicators of the reservoir, several management and exploitation scenarios were developed and evaluated in the WEAP model. The WEAP model was presented in 1990 by the Stockholm Environment Institute (SEI). It is a comprehensive and advanced model for simulating water resource systems, which is extensively used in the management of water resources in watersheds. This model has provided a practical tool for water resource planning and policy analysis to put all the issues related to water resources and uses in a single environment. The WEAP model is capable of simulating issues related to consumption such as water consumption patterns, water reuse strategies, costs, and water allocation patterns, as well as issues related to resources such as river flow, groundwater resources, reservoirs, and water transmission lines. The inputs of the WEAP model include data on the population of Tabriz City, per capita consumption of drinking water per person, the amount of water wastage in the distribution network, the inlet discharge of the Nahand reservoir, the information of the Nahand dam, the amount of cultivated area, etc., and to evaluate the model R<sup>2</sup>, RMSE, and MAE statistical indicators were used in two periods of calibration and validation. Then, various operating conditions were investigated by compiling the Reference (continuation of the status quo), SC1 (increase of input flow by 10%), and SC2 (decrease of input flow by 10%) scenarios. Besides, Reservoir performance indicators are used to measure its performance under different operating circumstances.

#### Results and Discussion

The simulation results of the studied area indicated that the WEAP model with evaluation criteria including R<sup>2</sup>, RMSE, and MAE in the calibration stage was 0.89, 1.16, and 1.01 MCM, respectively, and in the validation stage were 0.88, 6.22, and 6.01 MCM, respectively. The results also showed that the amount of water demand for the near future period (2021-2040) will increase due to the increase in population, and therefore, the resources in the basin will not be able to meet all assumed needs. The findings showed that the studied system for the near future period (2021-2040) under the reference (continuation of the status quo), SC1 (increase in flow by 10 %) and SC2 (decrease in flow by 10 %) scenarios from the drinking water supply point



of view, will result in a shortage of 28.1, 7.3 and 44.3%, respectively, and from the supply of agricultural needs point of view will result in 31.4, 18.3 and 44.4%, respectively. Also, by evaluating the reservoir's performance indicators, it was found that under all assumed scenarios, the system will fail under the condition of supplying 100% and 80% of the needs, whereas the reservoir will be more sustainable by applying the SC1 scenario in comparison with the other two scenarios.

### Conclusion

To choose the best management and exploitation scenarios, due to existing circumstances and limitations such as time limitation, cost, possible risks to the environment, etc., it is not possible to apply all scenarios in the basins and, thence, it is logical to choose the most suitable scenario. Therefore, software tools can help experts to make decisions by considering all limitations. By examining the results of the reservoir performance indicators, it can be seen that the reservoir will encounter failure in supplying 100 and 80% of the needs in the future period under all scenarios and the sustainability index of the reservoir (remedial stability) in supplying 100%. The needs under the Reference, SC1, and SC2 scenarios will reach 31, 49, and 22%, respectively, and in meeting 80% of the needs, the sustainability index will be slightly higher.

**Keywords:** Nahand dam, Performance indicators of the reservoir, Water demand, Reservoir simulation, Water evaluation and planning model (WEAP)

**Article Type:** Research Article

### Acknowledgment

Special thanks to the East Azerbaijan Water Resources Management and Water and Wastewater Company for providing the data for this research.

### Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

### Data availability statement

All data generated during the manuscript analysis are included in the article. Further datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

### Authors' contribution

**Mohsen Salimi:** Software, writing, original draft preparation; **Mohammad Taghi Sattari:** Conceptualization, supervision; **Javad Parsa:** Final editing

\*Corresponding Author, E-mail: mtsattar@tabrizu.ac.ir

**Citation:** Salimi, M., Sattari, M.T., & Parsa, J. (2024). Simulation of Nahand reservoir water allocation and its performance evaluation under inflow increase and decrease scenarios using the water evaluation and planning (WEAP) model. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(2), 295-310.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12308.1223

Received: 07 February 2023, Received in revised form: 02 May 2023, Accepted: 04 May 2023, Published online: 04 May 2023

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 295-310

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## شبیه‌سازی تخصیص آب مخزن سد نهند و ارزیابی عملکرد آن تحت سناریوهای تدوین شده در مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP)

محسن سلیمی<sup>۱</sup>، محمدتقی ستاری<sup>۲\*</sup>، جواد پارسا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

### چکیده

توسعه منابع آب ارتباط مستقیمی با پیشرفت اقتصادی و اجتماعی جوامع مختلف دارد. محدودیت آب‌های شیرین همیشه مردم مناطق مختلف را با مشکلاتی روبه‌رو کرده است. از این‌رو برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب محدود جزء بخش اجتناب‌ناپذیر هر سیستم کارآمد محسوب می‌شود. در این پژوهش از مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP) جهت برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه و تقاضا در مخزن سد نهند واقع در استان آذربایجان شرقی که یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب شهر تبریز محسوب می‌شود، استفاده شد. برای شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه در مدل WEAP از داده‌های تعداد جمعیت شهر تبریز، سرانه مصرف آب شرب به ازای هر نفر، میزان هدررفت آب در شبکه توزیع، دبی ورودی مخزن نهند، اطلاعات سد نهند، میزان سطح زیرکشت و غیره استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که میزان تقاضای آب برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) به علت افزایش جمعیت روند صعودی خواهد داشت و از این‌رو منابع موجود در حوضه، توانایی تأمین همه نیازها را نخواهند داشت. یافته‌های تحقیق نشان داد سامانه مورد مطالعه برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای مرجع (ادامه وضع موجود)، SC1 (افزایش جریان ورودی به میزان ۱۰ درصد) و SC2 (کاهش جریان ورودی به میزان ۱۰ درصد) از نقطه نظر تأمین آب مورد نیاز شرب، شهر تبریز به ترتیب ۲۸/۱، ۷/۳ و ۴۴/۳ درصد و از نقطه نظر تأمین نیاز کشاورزی به ترتیب ۳۱/۴، ۱۸/۳ و ۴۴/۴ درصد کمبود را تجربه خواهد کرد. همچنین، با ارزیابی شاخص‌های عملکرد مخزن، مشخص شد که تحت تمامی سناریوها، سامانه با شرط تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصدی نیازها، با شکست مواجه خواهد شد و لذا مخزن با اعمال سناریوی SC1 نسبت به دو سناریوی دیگر از پایداری بیش‌تری برخوردار خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** تقاضای آب، سد نهند، شبیه‌سازی مخزن، شاخص‌های عملکرد مخزن، مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP)

### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mtsattar@tabrizu.ac.ir

**استناد:** سلیمی، محسن، ستاری، محمدتقی، و پارسا، جواد (۱۴۰۳). شبیه‌سازی تخصیص آب مخزن سد نهند و ارزیابی عملکرد آن تحت سناریوهای تدوین شده در مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۲۹۵-۳۱۰.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12308.1223

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴

*مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۲۹۵ تا ۳۱۰

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

(Mardanian et al., 2020).

تاکنون مطالعات زیادی با مدل WEAP انجام گرفته، از جمله (Ahmadi et al., 2018) در تحقیقی از مدل‌های WEAP و Vensim جهت برنامه‌ریزی و مدیریت آب حوضه رودخانه نازلوچای استفاده کردند. طبق نتایج به دست آمده، بیش‌ترین کمبود آب مربوط به تأمین نیاز کشاورزی در ماه سپتامبر است که با احداث سد، متوسط تأمین در این ماه از ۱۵/۸ به ۹۴ درصد حجم تقاضا افزایش می‌یابد. به طور کلی، بدون احداث سد، مصارف شرب و صنعت و محیط زیست منطقه در حد زیاد و قابل‌قبولی تأمین می‌شود، ولی در مصارف آب در کشاورزی کمبودهای قابل‌توجهی وجود خواهد داشت. در تحقیق دیگری، (Hejipour et al., 2019) به بررسی تأثیر سناریوهای مرتبط با میزان تأمین تقاضا و منابع آب موجود، مدیریت مصرف آب یکپارچه در بخش شهری و اعمال سیستم فاضلاب بر منطقه بجنورد پرداختند. در این مطالعه با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP و اتصال آن به مدل MODFLOW، مصارف بخش‌های مختلف دشت بجنورد را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که استفاده هم‌زمان راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب، بهتر از حالت استفاده منفرد از هر کدام از آنها است. در ادامه، (Mardanian et al., 2020) به منظور بررسی تخصیص و تغییرات مکانی منابع آب، مدل تخصیص حوضه آبریز خانمیرزا را در محیط WEAP با تعریف سال پایه (۱۳۹۳)، سال افق طرح (۱۴۰۳) و گام‌های زمانی یک ماهه توسعه دادند. چهار سناریوی محتمل شامل سناریوی مرجع، سناریوی بدبینانه، سناریوی خوش‌بینانه و سناریوی واقع‌گرایانه در ۱۰ سال آینده در مدل WEAP بررسی شده‌اند و نتایج آن‌ها نشان داده است که به ترتیب در سناریوی مرجع، بدبینانه، خوش‌بینانه و واقع‌گرایانه ۵۱، ۷۹، ۳۰ و ۴۱ میلیون مترمکعب از حجم تقاضا قابل تأمین نیست. در حوضه آبریز خاش واقع در استان سیستان و بلوچستان نیز (Pourmohammadi et al., 2021) اثر فن‌آوری بارورسازی ابرها بر افزایش آب را با مدل WEAP بررسی کردند. نتایج نشان داده که با افزایش بارش به میزان ۲۰ درصد در اثر بارورسازی ابرها، اثر مثبتی روی منابع آب حوضه خواهد گذاشت. در کشور چین (Li et al., 2015) در منطقه ساحلی بین‌های<sup>۴</sup> با مدل WEAP استراتژی‌های مدیریت منابع آب را تحت سه سناریوی شهرنشینی، تعدیل ساختار صنعتی و تغییر سیاست تخصیص منابع آب بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داده که با تداوم شرایط موجود، فشار بر منابع آبی این منطقه در آینده افزایش خواهد یافت. در تحقیقی (Sattari et al., 2020) تأثیر

ماهیت پیچیده مسائل آب، رشد سریع جمعیت و منابع محدود آب برای تأمین نیازها، نیازمند روش‌های جدیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب است تا دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، محیط زیستی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب به هم پیوسته گردآوری نماید (Dehghan et al., 2015). مدیریت منابع آب به‌عنوان اصلی‌ترین راه‌کار ممکن برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) است که یکی از روش‌های اصولی برای دستیابی به منابع آبی پایدار در سطح ملی و بین‌المللی است (Loucks and Van Beek, 2017). امروزه اکثر مطالعات منابع آب با بهره‌گیری از میانگین درازمدت آماری به بررسی میزان آب در دسترس و میزان برداشت مجاز از منابع آب موجود می‌پردازد. در صورتی که با وقوع پدیده‌هایی هم‌چون؛ تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های متعدد و از طرفی افزایش میزان تقاضا با افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، در عصر حاضر میزان عرضه و تقاضای آب دچار تغییرات چشم‌گیری شده است. به طوری که با وقوع دوره‌های خشکسالی مداوم و کاهش میانگین بارش سالانه، از میزان آب در دسترس و به تبع آن، مقدار برداشت مجاز از رودخانه‌ها کاسته شده است (Tsanov et al., 2020).

برای شبیه‌سازی مدیریت و برنامه‌ریزی در سطح حوضه، مدل‌های مختلفی موجود است. از جمله مدل‌های مطرح در این خصوص می‌توان به مدل‌های MIKE BASIN<sup>۱</sup>، RIBASIM<sup>۲</sup>، WEAP<sup>۳</sup> و MODSIM اشاره نمود (Hamlat et al., 2013). نرم‌افزار WEAP یک ابزار جامع و پیشرفته شبیه‌ساز سیستم منابع آب است که در مدیریت حوضه آبریز کاربرد گسترده‌ای دارد و قادر به لحاظ کردن توأم فرآیندهای فیزیکی و هیدرولوژیکی است (Dehghan et al., 2015). سناریوهایی که با این نرم‌افزار قابل بررسی است، شامل رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تغییر سیاست بهره‌برداری از مخازن، برداشت بیش‌تر از منابع آب زیرزمینی، صرفه‌جویی آب، تخصیص نیاز اکوسیستم، استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی، استفاده مجدد از آب، استفاده از روش‌هایی با راندمان بیش‌تر برای آبیاری، تغییر الگوی کشت، تغییر اقلیم، تأثیر آلاینده‌ها در بالادست بر مناطق پایین‌دست، تغییر کاربری اراضی و غیره است. در انتخاب مدل مناسب، توجه به قابلیت‌ها، داده‌های در دسترس و ساختار مدل اهمیت زیادی دارد

<sup>۱</sup> Integrated water resources management<sup>۲</sup> River basin simulation<sup>۳</sup> Water evaluation and planning<sup>۴</sup> Binhai

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز نهندچای منطقه‌ای کوهستانی از زیرحوضه‌های شرقی حوضه دریاچه ارومیه بوده که رودخانه نهند زهکش اصلی منطقه است. این رودخانه یکی از شاخه‌های اصلی رودخانه آجی چای است. همچنین، برای تأمین آب شرب تبریز، سد خاکی روی آن احداث شده است. حوضه آبریز رودخانه نهندچای بین عرض جغرافیایی ۳۸° ۱۳' تا ۳۸° ۲۹' و طول شرقی ۴۶° ۲۰' تا ۴۶° ۳۳' با حداکثر ارتفاع ۲۸۲۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۴۴۹ متر و مساحتی برابر ۳۴۶/۶ کیلومترمربع در شمال شرق تبریز واقع شده است. مساحت حوضه آبریز این رودخانه در بالادست سد نهند و در محل ورودی سد نهند (ایستگاه هیدرومتری نهند)، ۲۲۹ کیلومترمربع است. سد نهند در فاصله ۴۳ کیلومتر شمال شهر تبریز، در نزدیکی روستای تازه‌کند قرار دارد و اقلیم منطقه نیمه‌خشک است. میانگین بلندمدت دمای سالانه این حوضه ۷/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بلندمدت بارش سالانه در سطح حوضه ۲۹۰/۲۵ میلی‌متر است (Rostami et al., 2021). در این مطالعه داده‌های مشاهداتی رواناب ایستگاه هیدرومتری سد نهند واقع در این حوضه در بازه زمانی (۲۰۲۰-۲۰۰۰)، و اطلاعات سد نهند از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و نیز اطلاعات آب شرب تبریز هم از شرکت آب و فاضلاب شهرستان تبریز برای سال (۲۰۱۶-۲۰۲۰) اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده در تحقیق حاضر در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

### جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در محدوده مطالعاتی

#### نهند، ایران

Table 1- The location of existing hydrometric stations in the study area of Nahand, Iran

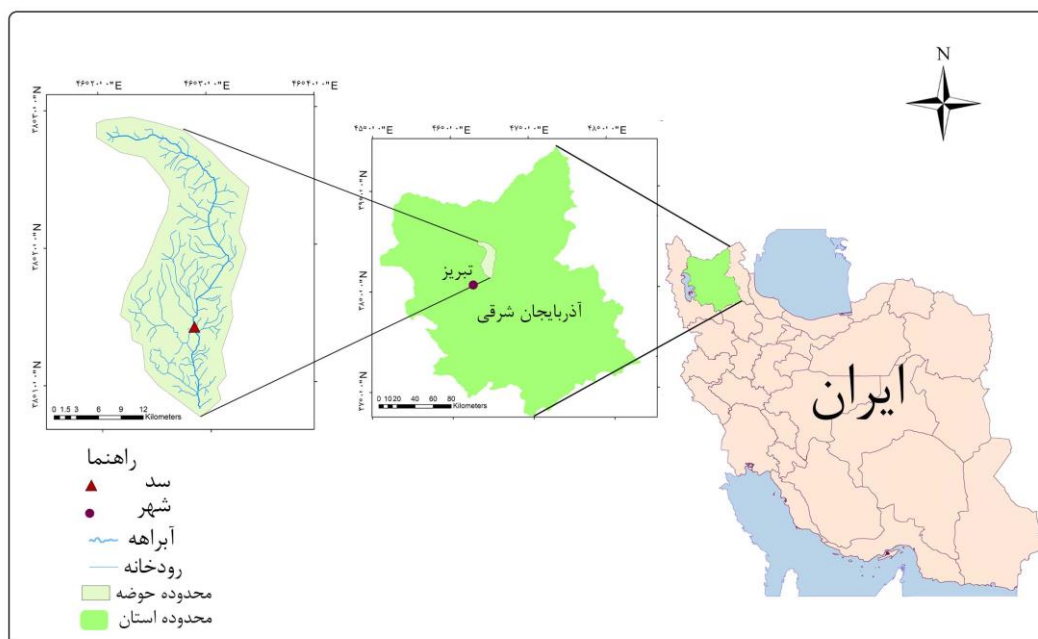
نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)
ایستگاه هیدرومتری سد نهند	31107	46.28	38.11	1470

سناریوهای کاهش جریان و افزایش تقاضای آب آبیاری بر تخصیص آب سد زروز واقع در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از مدل پویایی سیستم بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داده است در صورت عدم تغییر منابع و نیازهای آبی موجود، میزان آب ذخیره شده در مخزن، ۹۱ درصد از نیاز آب آبیاری و ۹۹ درصد آب مورد نیاز محیط زیست را تأمین می‌کند و در صورت کاهش آب ورودی به مخزن (سناریوی اول) و افزایش نیاز آب آبیاری (سناریوی دوم) در ۱۰ سال آینده، تحت هر دو سناریو نیاز آبی آبیاری به‌اندازه کافی تأمین نخواهد شد و کمبود آب در سیستم وجود خواهد داشت. همچنین، Boudjebieur et al. (2021) با هدف امکان استفاده منطقی و مدیریت یکپارچه از منابع آب در منطقه گولما<sup>۱</sup> واقع در شمال شرقی الجزایر، از مدل WEAP استفاده کردند. نتایج نشان داد که در سال پایه (۲۰۱۷) به میزان ۵۰/۵ میلیون مترمکعب در این حوضه کمبود وجود دارد. در حالی این کمبود در سال ۲۰۲۴ به ۳۱ میلیون مترمکعب و در سال ۲۰۵۰ به ۱۰۴/۲ میلیون مترمکعب خواهد رسید. در نهایت، Carpenter and Choudhary (2022) از مدل WEAP به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم برای مدیریت عرضه و تقاضای آب در رودخانه نرمدادا<sup>۲</sup> هند، استفاده کردند. نتایج نشان داد آب تأمین نشده تا سال ۲۰۱۱ و ۲۰۳۰ به‌ترتیب به‌میزان ۹۵۸ و ۹۶۵ میلیون مترمکعب تحت سناریوهای تدوین شده در این مدل خواهد رسید.

برای مدیریت کارآمد مخازن سدها لازم است، تصمیمات و سیاست‌های مختلف بهره‌برداری و تخصیص آب برای مصارف متعدد را قبل از اجرا ارزیابی کرده و مناسب‌ترین سناریو را انتخاب کرد. در همین راستا، هدف از این تحقیق بررسی و شبیه‌سازی عملکرد مخزن سد نهند تحت سناریوهای مختلف افزایشی و کاهش جریان ورودی به مخزن با توجه به نوسانات احتمالی جریان در آینده و تغییرات نرخ رشد جمعیت شهر تبریز در سال‌های آتی با مدل WEAP است. تاکنون تحقیقات زیادی برای مدیریت منابع آب و ارزیابی سناریوهای مختلف با مدل WEAP انجام گرفته است، اما هیچ تحقیقی در منطقه مورد مطالعه با این مدل انجام نگرفته است و از این نظر حائز اهمیت است. از طرفی با توجه به این‌که شهر تبریز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای شمال‌غرب کشور محسوب می‌شود در این تحقیق سناریوهای تأثیرگذاری از جمله افزایش یا کاهش نرخ رشد جمعیت، افزایش یا کاهش نرخ سرانه مصرف آب شرب و غیره مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

<sup>۱</sup> Guelma

<sup>۲</sup> Narmada



شکل ۱- محدوده جغرافیایی مطالعاتی نهند، ایران  
Figure 1- Geographical scope of Nahand study area, Iran

مدل WEAP شامل داده‌های نقاط نیاز (شهری، کشاورزی و غیره) و مشخصات سد نهند به ترتیب در جدول ۲ و ۳، میزان تأمین ماهانه هر یک از منابع تأمین (زیرنه‌رود، آب زیرزمینی و سد نهند) برای سال پایه (۲۰۱۶) و میزان آورد رودخانه نهند در سال پایه به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به گزارشات شرکت آب منطقه‌ای تبریز، نیاز محیط زیستی در این سد تخصیص نمی‌یابد به همین دلیل این نیاز در تحقیق حاضر بررسی نشده است.

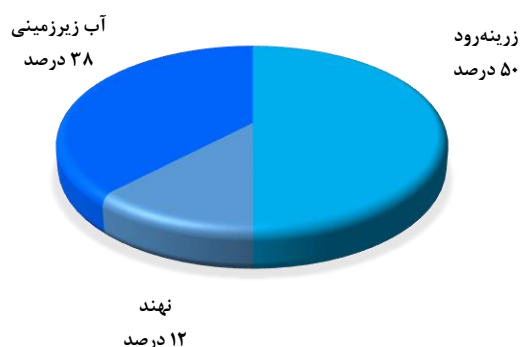
در حال حاضر با توجه به گزارشات شرکت آب و فاضلاب شهرستان تبریز، آب شرب تبریز از سه منبع اصلی زیرنه‌رود، آب زیرزمینی و سد نهند تأمین می‌شود. بیش‌ترین سهم تأمین با توجه به آمار آب و فاضلاب شهرستان تبریز مربوط به خط انتقال زیرنه‌رود به میزان ۵۰ درصد از کل نیاز آب شرب تبریز است. شکل ۲، درصد تأمین هر یک از منابع را نشان می‌دهد (Water and Waste water Company, 2022).

جدول ۲- داده‌های نقاط نیاز برای ورودی به مدل WEAP در منطقه مورد مطالعه برای سال پایه (۲۰۱۶)

نقطه نیاز	سطح فعالیت (جمعیت، سطح کشت)	نیاز هر سطح فعالیت
شهری	1558693 نفر	71 مترمکعب در سال برای هر نفر
کشاورزی	70 هکتار	5000 مترمکعب در سال برای هر هکتار

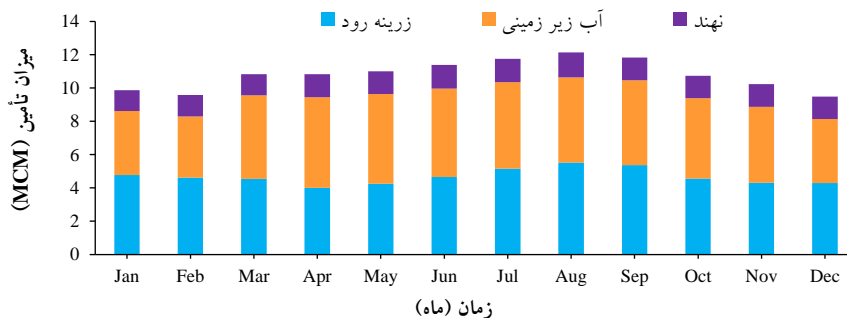
جدول ۳- حجم کل، حجم مفید و حجم مرده مخزن سد نهند  
Table 3- Total volume, useful volume and dead volume of Nahand dam reservoir

نام سد	ظرفیت کل مخزن (MCM)	حجم مفید مخزن (MCM)	حجم مرده مخزن (MCM)
سد نهند	24.8	21.06	0.48

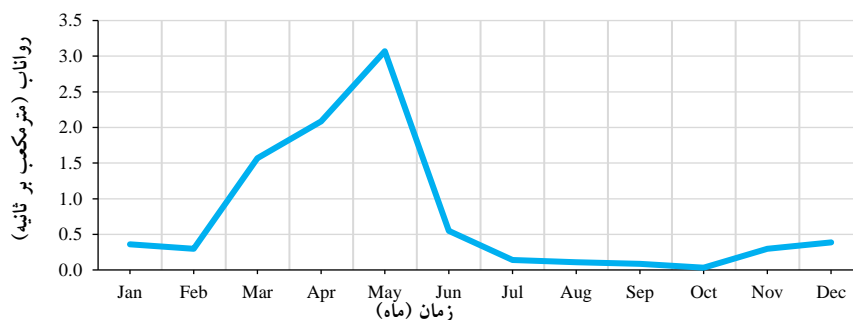


شکل ۲- متوسط تأمین آب شرب تبریز از هر سه منبع زیرنه‌رود، آب زیرزمینی و سد نهند بر حسب درصد  
Figure 2- Average supply of drinking water in Tabriz from three sources of Zarinneh River, groundwater and Nahand dam in percentage

اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه در

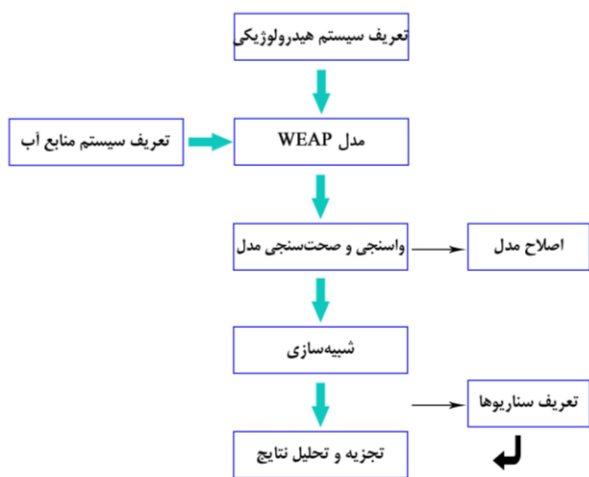


شکل ۳- میزان تأمین ماهانه هر یک از منابع تأمین برای سال پایه (۲۰۱۶) در منطقه مورد مطالعه  
Figure 3- The amount of monthly supply of each supply source for the base year (2016) in the study area



شکل ۴- روناب رودخانه نهند در سال پایه (۲۰۱۶)  
Figure 4- Nahand River runoff in the base year (2016)

منظور یک مدل بهینه‌سازی خطی در الگوریتم محاسباتی آن تعریف شده که تابع هدف آن حداکثر نمودن درصد پوشش نیاز است (WEAP21, 2007). شکل ۵ مدل مفهومی منطقه شبیه‌سازی شده در مدل WEAP را نشان می‌دهد.



شکل ۵- مدل مفهومی منطقه شبیه‌سازی شده در مدل WEAP  
Figure 5- Conceptual model of the simulated area in the WEAP model

با استفاده از مدل WEAP می‌تواند سناریوهایی ساخته شوند و با یک‌دیگر از نظر آب مورد نیاز، هزینه، تأثیرات محیط

#### ۲-۲- مدل WEAP

مدل WEAP در سال ۱۹۹۰ توسط مؤسسه محیط زیست استکهلم (SEI)<sup>۱</sup> ارائه شده است. یک مدل جامع و پیشرفته شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب است که در مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز کاربرد گسترده‌ای دارد. این نرم‌افزار از نقطه نظر ابزار تحلیلی، تمام ابعاد مدیریت آب و چاره‌اندیشی‌های متفاوت را می‌تواند ارزیابی کند و مصارف چندمنظوره و رقابتی را در یک سیستم منابع آب مدل نماید. این مدل با منظور نمودن کلیه مسائل مرتبط با منابع و مصارف آب در یک محیط، ابزاری کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب و تحلیل سیاست‌ها را فراهم آورده است. مدل WEAP قادر است مسائل مربوط به مصارف از قبیل الگوهای مصرف آب، راهبردهای استفاده مجدد از آب، هزینه‌ها و الگوهای تخصیص آب و مسائل مربوط به منابع از قبیل جریان رودخانه، منابع آب زیرزمینی، مخازن و خطوط انتقال آب را شبیه‌سازی کند (Lévyte et al., 2003). مدل WEAP در تخصیص منابع به نقاط نیاز تعریف شده در حوضه آبریز همواره بر این اساس کار می‌کند که درصد پوشش نیاز را حداکثر نماید. این تخصیص براساس اولویت تخصیص از منابع و اولویت تخصیص به نقاط نیاز صورت می‌پذیرد. بدین

<sup>1</sup> Stockholm environment institute

مختلف مدیریتی تدوین و تأثیر این سناریوها بر وضعیت منابع آب مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۴ مشخصات و شرایط کلی سناریوها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به این که آب شرب مورد نیاز شهر تبریز از منابع آبی دیگر (زیرنه‌رود و آب زیرزمینی) نیز تأمین می‌شود، شرایط منابع دیگر در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بدون اعمال هیچ‌گونه تغییر و با شرایط سال پایه (۲۰۱۶) در نظر گرفته شده است.

زیست و غیره مقایسه شوند. سناریوها باید کاربردی، منطقی و قابل اجرا بوده و با شرایط منطقه مورد مطالعه تطابق داشته باشند (Faiz et al., 2018). هر سناریو می‌تواند به صورت یک جمله «چه می‌شود اگر» تعریف شود. مثلاً چه می‌شود اگر رشد جمعیت و الگوهای مصرف را تغییر دهیم؟ چه می‌شود اگر یک برنامه بازیافت آب را اجرا کنیم؟ و غیره. در همین راستا، برای ارزیابی مخزن سد نهند و تأمین نیازهای پایین‌دست، سناریوهای

جدول ۴- مشخصات و شرایط کلی سناریوها

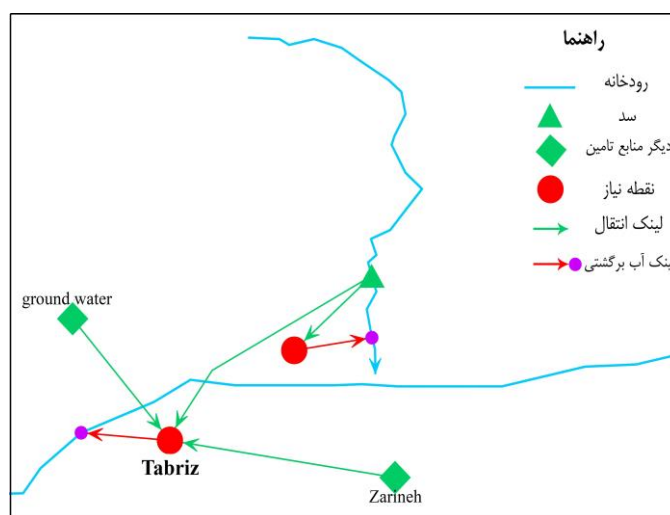
Table 4- Specifications and general conditions of the scenarios

شرح	نام سناریو	گروه سناریو
ادامه وضع موجود بدون هیچ‌گونه تغییر در عرضه و تقاضای آب و نرخ رشد جمعیت (نرخ رشد جمعیت در سال 2016، 0.96 درصد)		مرجع
افزایش میزان جریان رودخانه نهند به میزان 10 درصد	Nahand Inc 10%	SC1
کاهش نرخ رشد جمعیت از 0.96 به 0.85 درصد	Population Dec 0.85%	
کاهش مصرف آب شرب به میزان 15 درصد	Consumption Dec 15%	
صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان 50 درصد در اثر استفاده از روش‌های نوین آبیاری	irrigation	
کاهش هدر رفت آب در شبکه توزیع از 16 درصد به 8 درصد	Dec Losses up 8%	SC2
کاهش میزان جریان رودخانه نهند به میزان 10 درصد	Nahand Dec 10%	
افزایش نرخ رشد جمعیت از 0.96 به 1.3 درصد	Population Dec 1.3%	
افزایش مصرف آب شرب به میزان 10 درصد	Consumption Inc 10%	
افزایش سطح کشت کشاورزی تا 30 درصد	Agri Inc 30%	SC2
افزایش هدر رفت آب در شبکه توزیع از 16 درصد به 24 درصد	Inc Losses up 24%	

و سال‌های شبیه‌سازی و سال پایه مدل مشخص شد. شکل ۶ شماتیک ترسیم شده در مدل WEAP را نشان می‌دهد.

### ۳-۲- مراحل شبیه‌سازی مدل WEAP

در این تحقیق برای شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه در مدل WEAP، ابتدا نقشه‌های حوضه آبریز تهیه و وارد مدل شد. سپس رودخانه‌ها، نقاط نیاز و منابع تأمین در شماتیک مشخص



شکل ۶- شماتیک سیستم منابع آب حوضه مورد مطالعه در مدل WEAP

Figure 6- Schematic of the water resources system of the studied basin in the WEAP model

تدوین سناریوها به بررسی نتایج سناریوها پرداخته شد. شکل ۷ مراحل کلی مدل شبیه‌سازی در تخصیص منابع آب را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

در ادامه اطلاعات مورد نیاز از جمله میزان تقاضای هر نقطه نیاز، میزان تأمین هر یک از منابع، تعداد جمعیت و غیره وارد مدل شدند و در نهایت پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل با





شکل ۷- نمای کلی مدل شبیه‌سازی سد نهند  
Figure 7- Overview of the simulation model of Nahand Dam

سیستم برآورد شود این دوره، دوره شکست نامیده می‌شود.

۲-۵-۲- قابلیت اطمینان زمانی<sup>۴</sup>

قابلیت اعتماد زمانی در واقع به‌صورت احتمال این‌که سیستم در طول دوره بهره‌برداری در حالت بهره‌برداری نرمال (بدون شکست) به‌سر برد، تعریف می‌شود و رابطه ریاضی آن به‌صورت زیر است (Hashimoto et al., 1982):

$$\delta = \left(1 - \frac{f}{T}\right) \quad (4)$$

در رابطه بالا،  $\delta$  قابلیت اعتماد زمانی ( $0 \leq \delta \leq 1$ )،  $f$  تعداد کل دوره‌های شکست و  $T$  تعداد کل دوره‌های بهره‌برداری است.

۲-۵-۳- آسیب‌پذیری<sup>۵</sup>

آسیب‌پذیری در واقع بیان‌گر شدت و اندازه شکست، که به‌صورت نسبت کل کمبود آب به کل تقاضای طرح در طول دوره شکست تعریف می‌شود و طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Karamouz and Kerachian, 2008; Hashimoto et al., 1982):

$$\eta = \frac{\sum_{t \in f} R_t^* - \sum_{t \in f} R_t}{\sum_{t \in f} R_t^*} \quad (5)$$

در رابطه (۵)،  $\eta$  بزرگی شکست،  $R_t^*$ : تقاضای طرح در طول  $t$  امین دوره شکست،  $R_t$  مقدار آب رها شده از سیستم در طول  $t$  امین دوره شکست و  $f$  تعداد کل دوره‌های شکست است.

۲-۵-۴- برگشت‌پذیری<sup>۱</sup>

۲-۴- معیارهای ارزیابی عملکرد مدل WEAP

در این تحقیق برای ارزیابی مدل WEAP از سه معیار آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (RMSE) و میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> (MAE) استفاده شد. این آماره‌ها به صورت روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{N} \quad (3)$$

در رابطه‌های بالا،  $O_i$  و  $S_i$  به‌ترتیب معرف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده،  $\bar{O}$  و  $\bar{S}$  نیز میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی و  $N$  تعداد داده‌ها است.

۲-۵-۵- شاخص‌های عملکرد مخزن

جهت سنجش عملکرد مخزن تحت شرایط متفاوت بهره‌برداری از شاخص‌های زیر استفاده می‌شود.

۲-۵-۱- دوره شکست<sup>۳</sup>

در صورتی‌که در یک دوره زمانی تمام تقاضای طرح نتواند توسط

<sup>۴</sup> Time-based reliability

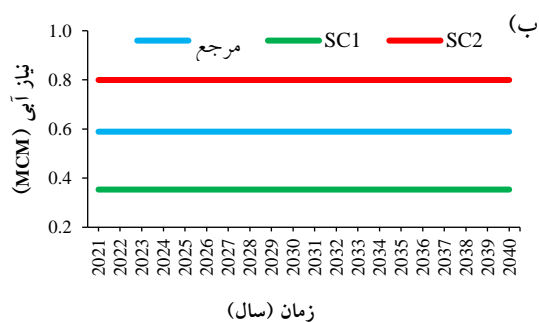
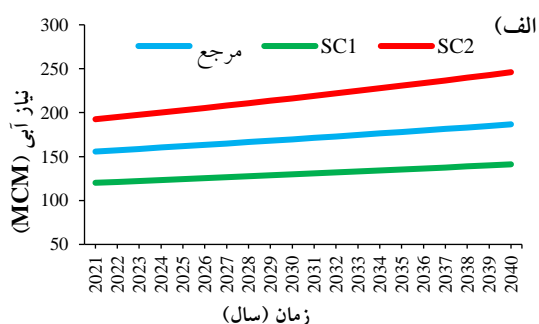
<sup>۵</sup> Vulnerability

<sup>۱</sup> Root mean squar error

<sup>۲</sup> Mean absolute error

<sup>۳</sup> Failure period

با بررسی معیارهای ارزیابی مدل WEAP مشاهده می‌شود که این مدل با ضریب تعیین ( $R^2$ ) ۰/۸۹ در دوره واسنجی و ۰/۸۸ در دوره صحت‌سنجی و با جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱/۱۶ میلیون مترمکعب در دوره واسنجی و ۶/۲۲ میلیون مترمکعب در دوره صحت‌سنجی این منطقه را شبیه‌سازی کرده است. به‌منظور بررسی سناریوهای تعریف شده در مدل شبیه‌سازی شده حوضه نهند برای مصارف مختلف، شاخص میزان آب مورد نیاز، نیاز تأمین نشده به تفکیک بخش‌های مختلف مصرف بررسی شده است. در مدل WEAP اولویت تخصیص به بخش‌های مختلف نقطه نیازها به ترتیب اهمیت آن‌ها تعریف شده است. از آنجایی‌که هدف اصلی احداث سد نهند تأمین بخشی از آب شرب تبریز است این نیاز در اولویت اول و سپس بخش کشاورزی در اولویت بعدی قرار دارد.



شکل ۸- میزان تقاضای نقطه نیاز شهر تبریز (الف) و کشاورزی نهند (ب) برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP در حوضه آبریز نهند

Figure 8- Amount of point demand of Tabriz city (a) and Nahand agricultural sector (b) for the period 2021-2040 under the scenarios developed in the WEAP model in the Nahand watershed

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که نیاز آبی شهر تبریز نسبت به سال پایه (۲۰۱۶) در همه سناریوها افزایش خواهد یافت و در نقطه نیاز کشاورزی نهند چون تغییرات سطح زیرکشت و نیاز آب در سال‌های مختلف یکسان در نظر گرفته شده و فقط در سناریوها این تغییرات اعمال شده است پس تغییرات نیاز در این سری زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) شیب ناچیزی

شاخص برگشت‌پذیری اغلب برای ارزیابی توانایی یک سیستم ذخیره در پوشاندن یک شکست، ضروری است. این شاخص نشان می‌دهد که یک سیستم ذخیره با چه سرعتی از یک شکستی که اتفاق افتاده است به حالت بهره‌برداری نرمال بر خواهد گشت و به‌صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود (Hashimoto et al., 1982). در این رابطه  $\lambda$  شاخص برگشت‌پذیری،  $f_s$  تعداد سری دوره‌های شکست پیوسته و  $f$  تعداد کل دوره‌های شکست است.

$$\lambda = \frac{1}{\frac{f}{f_s}} \quad (6)$$

### ۲-۵-۵- شاخص پایداری<sup>۲</sup>

به‌منظور تعیین مقدار انعطاف‌پذیری مخزن در طراحی و بهره‌برداری Loucks (1997) سه شاخص قابلیت اعتماد زمانی و برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری را به‌صورت زیر باهم ترکیب کردند. همچنین، Sandoval-Soils et al. (2011) رابطه بالا را در قالب رابطه (۸) اصلاح و نتیجه‌گیری نمودند که رابطه جدید نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد.

$$\varphi = \delta\lambda(1 - \eta) \quad (7)$$

$$\varphi = [\delta\lambda(1 - \eta)]^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

در این روابط  $\varphi$  انعطاف‌پذیری،  $\delta$  قابلیت اعتماد زمانی،  $\lambda$  برگشت‌پذیری و  $\eta$  آسیب‌پذیری است.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- نتایج مدل WEAP

به‌منظور ایجاد اطمینان در مدل شبیه‌سازی مخزن، واسنجی و اصلاح مدل به‌وسیله تنظیم پارامترهای مدل (ورودی مدل) به منظور به‌دست آوردن نتایج شبیه‌سازی شده‌ای (خروجی مدل) که به‌طور منطقی نزدیک به سوابق داده‌های واقعی باشند، انجام گرفت. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی در دوره آماری ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- معیارهای ارزیابی شبیه‌سازی مدل WEAP برای حجم مخزن سد نهند در ایستگاه مورد مطالعه

دوره	MAE (MCM)	RMSE (MCM)	$R^2$
واسنجی	1.01	1.16	0.89
صحت‌سنجی	6.01	6.22	0.88

<sup>۱</sup> Resilience

<sup>۲</sup> Sustainability

شود. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد تأمین در نقطه نیاز شهری به ترتیب مربوط به ماه‌های آوریل و دسامبر به میزان ۱۰۰ و ۴۸/۴ درصد تحت سناریوهای SC1 و SC2 خواهد بود. همچنین، متوسط سالانه درصد تأمین نیاز شهری در این دوره تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 به ترتیب ۷۱/۹، ۹۲/۷ و ۵۵/۷ درصد خواهد رسید و تحت سناریوی SC2 شرایط بسیار بحرانی‌تر از سناریوهای دیگر خواهد بود. همچنین، با بررسی درصد تأمین آب کشاورزی نهند مشخص شد چون در ماه‌های ژانویه، فوریه، نوامبر و دسامبر آبیاری در این منطقه انجام نمی‌شود، مدل WEAP همه نیازهای کشاورزی را با درصد تأمین ۱۰۰ درصد برآورد کرده است. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد تأمین فصلی نقطه نیاز کشاورزی به جز فصل زمستان (به دلیل عدم آبیاری اراضی کشاورزی) به ترتیب مربوط به فصل‌های بهار و تابستان به میزان ۹۱/۱ و ۳۲/۵ درصد تحت سناریوهای SC1 و SC2 برآورد شده است. متوسط سالانه درصد تأمین در نقطه نیاز کشاورزی تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) به ترتیب ۶۸/۶، ۸۱/۷ و ۵۵/۶ درصد خواهد رسید. با توجه به محدودیت فیزیکی پروژه انتقال آب (کوچک بودن قطر خط لوله انتقال) نمی‌توان کل نیازهای شرب و سپس کشاورزی را تأمین کرد. در تحقیقی، Nivesh et al., (2022) نشان دادند تا سال ۲۰۵۰ رشد فزاینده جمعیت، توسعه صنعتی و افزایش سطح زیرکشت در کشاورزی، تقاضای آب را به‌طور چشم‌گیری در حوضه رودخانه داسان هند افزایش خواهد داد و تهدیدی جدی برای انسان و محیط زیست خواهد بود.

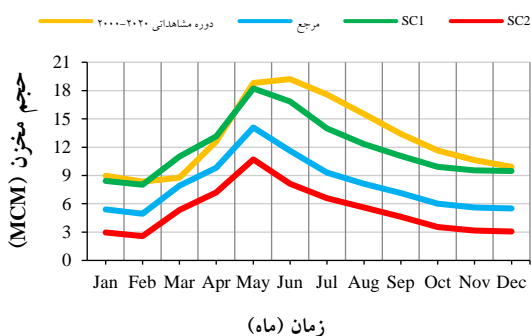
دارند. میزان نیاز آبی تحت سناریوی SC2 در هر دو نقطه نیاز شهری و کشاورزی بیش‌تر از دو سناریوی مرجع و SC1 است. این نمودارها نشان می‌دهند که با کاهش نرخ رشد جمعیت، کاهش تلفات شبکه توزیع، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و سایر اقدامات موثر بر میزان مصرف آب، می‌توان میزان نیاز آبی را کاهش داد. با بررسی تقاضای هر یک از نقطه نیازها مشخص شد که آب مورد نیاز با افزایش روبه‌رو خواهد شد، پس در صورت ثابت ماندن منابع تأمین باید انتظار کمبود آب در بخش‌های مختلف را داشت.

با ارزیابی آب مورد نیاز برای تقاضای شهری و کشاورزی، مشخص شد که آب مورد تقاضا در حال افزایش است. در حالی که منابع تأمین این تقاضاها محدود و از طرفی با کاهش در رواناب ورودی به مخزن سد نهند تحت شرایط مختلف از جمله تأثیر پدیده تغییر اقلیم باید انتظار تشدید کمبود منابع آبی را نیز داشت (karimi ahmad abad and Nabizadeh, 2018; Salimi et al., 2023). پس انتظار می‌رود تحت این شرایط همه نیازها تأمین نشود. در ادامه به بررسی نیازهای تأمین شده در دو بخش آب شرب شهر تبریز و کشاورزی حوضه نهند تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 در مدل WEAP برای آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) پرداخته شد. میانگین درصد تأمین ماهانه، فصلی و سالانه نیازها برای نقطه نیاز شهر تبریز و نقطه نیاز کشاورزی نهند در جدول ۶ برای دوره آینده ارائه شده است. با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که، نیازها در نقطه نیاز شهری تحت سناریوهای تدوین شده در بیش‌تر ماه‌ها به‌طور کامل تأمین نمی

جدول ۶- درصد تأمین نیاز آب شرب تبریز و کشاورزی نهند برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP

Table 6- The supply percentage of the drinking water needs of Tabriz and Nahand agricultural sector for the future (2021-2040) under the scenarios developed in the WEAP model

نقطه نیاز کشاورزی			نقطه نیاز شهری			زمان
SC2	SC1	مرجع	SC2	SC1	مرجع	
100.0	100.0	100.0	51.3	85.6	65.4	ژانویه
100.0	100.0	100.0	51.5	85.9	65.6	فوریه
34.8	99.8	84.7	58.8	99.0	75.5	مارس
38.6	76.7	52.2	63.1	100.0	84.1	آوریل
54.4	96.6	73.4	63.0	99.6	80.3	می
40.1	84.1	59.5	62.6	99.5	79.9	ژوئن
31.4	66.1	45.1	56.2	99.7	76.7	جولای
25.9	57.0	39.1	54.5	95.8	70.7	آگوست
21.0	50.3	33.7	51.8	88.6	66.1	سپتامبر
21.2	50.4	35.2	55.8	93.1	71.2	اکتبر
100.0	100.0	100.0	51.1	85.2	65.1	نوامبر
100.0	100.0	100.0	48.4	80.8	61.7	دسامبر
42.6	91.1	70.1	61.6	99.5	80.0	بهار
32.5	69.1	47.9	57.8	98.3	75.7	تابستان
47.4	66.9	56.3	52.9	89.0	67.5	پاییز
100.0	100.0	100.0	50.4	84.1	64.3	زمستان
55.6	81.7	68.6	55.7	92.7	71.9	متوسط سالانه



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر متوسط حجم ماهانه مخزن سد نهند برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۰-۲۰۲۰) تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP

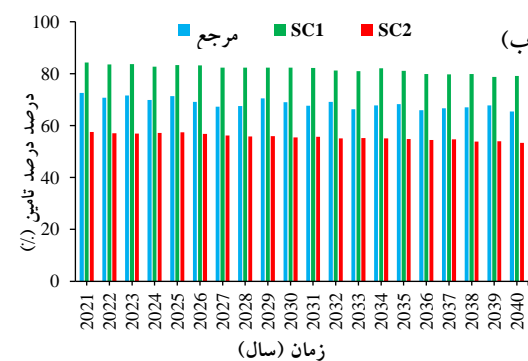
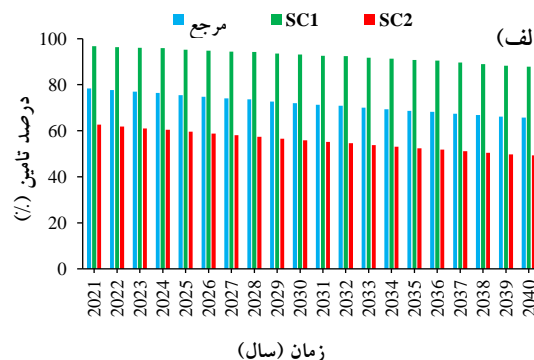
Figure 10- Comparison of the average monthly volume of the Nahand Dam reservoir for the period of 2021-2040 compared to the observation period (2000-2020) under the scenarios developed in the WEAP model

مطابق شکل ۱۰ مشخص شد که، میانگین حجم مخزن نهند در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با کاهش شدیدی روبه‌رو خواهد بود و مخزن در همه سناریوها و ماه‌ها به‌جز در سناریوی SC1 در ماه مارس کاهش خواهد یافت. این درحالی است که، در سناریوی SC1 میزان آورد رودخانه نهند ۱۰ درصد افزایش و مصرف آب شرب ۱۵ درصد کاهش در نظر گرفته شد. لذا مشخص است که میزان افزایش جمعیت تأثیر زیادی در مصرف آب خواهد گذاشت. همچنین، در صورت ثابت ماندن متغیرهای تأثیرگذار (افزایش جمعیت، سرانه مصرف آب، میزان تلفات شبکه توزیع، سطح کشت در کشاورزی و غیره) در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ادامه روند سال پایه (۲۰۱۶) طبق سناریوی مرجع، حجم مخزن با کاهش زیادی روبه‌رو خواهد شد. در مطالعه‌ای (Feizi and Aghajani Jomayran 2021) تخصیص و مدیریت منابع آب سد یامچی واقع در استان اردبیل را با مدل WEAP ارزیابی کردند. نتایج نشان داده است که سناریوی تغییر هم‌زمان الگوی کشت و افزایش بازدهی آبیاری ۶۵ درصد مناسب‌ترین گزینه از بین سناریوهای مورد بررسی بوده و اطمینان‌پذیری زمانی و حجمی نیاز شرب و کشاورزی را به صورت ۱۰۰ درصد تأمین می‌کند.

### ۳-۲- نتایج شاخص‌های عملکرد مخزن

به‌منظور بررسی عملکرد مخازن سدها لازم است که تحت شرایط مختلف از جمله سناریوهای افزایش یا کاهش نرخ رشد جمعیت، تأثیر پدیده تغییر اقلیم و پدیده‌های دیگر روی جریان رودخانه و سیاست‌های بهره‌برداری تحلیل شوند. از این‌رو در این بخش به بررسی شاخص‌های عملکرد مخزن در تأمین ۱۰۰ و

با ارزیابی سری زمانی درصد تأمین در دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۲۱) با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که، تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP در هیچ یک از سناریوها همه نیازهای متوسط سالانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تأمین نخواهد شد و این شرایط تحت سناریوی SC2 بحرانی‌تر از دو سناریوی دیگر خواهد بود.



شکل ۹- درصد تأمین سالانه نقطه نیاز شهر تبریز (الف) و کشاورزی نهند (ب) برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP در حوضه آبریز نهند

Figure 9- The percentage of annual supply of the need point of Tabriz city (a) and Nahand agricultural sector (b) for the period of 2021-2040 under the scenarios developed in the WEAP model in the Nahand watershed

میانگین کمبود در این دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 به‌ترتیب در نقطه نیاز شهر تبریز به میزان ۲۸/۱، ۷/۳ و ۴۴/۳ درصد و در نقطه نیاز کشاورزی نهند به میزان ۶۸/۶، ۸۱/۷ و ۵۵/۶ درصد خواهد رسید. با ارزیابی مخزن سد نهند تحت شرایط سناریوهای تدوین شده، مشاهده می‌شود که متوسط حجم مخزن در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۰-۲۰۲۰) با کاهش رو به رو خواهد شد (شکل ۱۰).

سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 به ترتیب به میزان ۳۱، ۴۹ و ۲۲ درصد است، پس در نتیجه، سیستم با اعمال سناریوی SC1 پایداری بیش‌تری نسبت به سایر سناریوها خواهد داشت.

با توجه به این‌که مشاهده شد مخزن در تأمین ۱۰۰ درصد نیازها شرایط مناسبی نخواهد داشت و در تأمین نیازها با شکست‌های متعددی روبه‌رو خواهد شد، پس با اعمال قید تأمین ۸۰ درصدی نیازها به بررسی شاخص‌های عملکرد مخزن در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) پرداخته شد. مطابق جدول ۸، مشاهده می‌شود که مخزن در برخی از ماه‌ها تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 نتوانسته ۸۰ درصد از نیازها را تأمین کند و با شکست مواجه شده است. به طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین دوره شکست به ترتیب مربوط به سناریوی SC2 و SC1 است و نیز بیش‌ترین و کم‌ترین قابلیت اطمینان زمانی به ترتیب مربوط به سناریوهای SC1 و SC2 به میزان ۸۷ و ۳۵ درصد است. در بررسی آسیب‌پذیری سیستم مشخص شد که سیستم تحت سناریوی SC1 کم‌ترین و تحت سناریوی SC2 بیش‌ترین آسیب را در دوره آینده متحمل خواهد شد. در بررسی پایداری سیستم، مشاهده می‌شود که تحت سناریوی SC1 سیستم پایداری بیش‌تری نسبت به سایر سناریوها خواهد داشت. در مطالعه‌ای که با استفاده از مدل WEAP برای ارزیابی و مدیریت مصرف سد ایوشان واقع در استان لرستان انجام شد نتایج نشان داده است که، در شرایط افزایش جمعیت و افزایش میزان آب مصرفی حجم ذخیره مخزن کمتر و با شکست مواجه خواهد شد (RabieiFar et al., 2022).

#### ۴- نتیجه‌گیری

برای انتخاب بهترین سناریوهای مدیریتی و بهره‌برداری به دلیل محدودیت‌های موجود از جمله محدودیت زمان، هزینه، خطرات احتمالی به محیط زیست و غیره نمی‌توان همه سناریوها را در حوضه‌ها به کار گرفت و بایستی از بین آن‌ها مناسب‌ترین سناریو انتخاب شود. از این‌رو ابزارهای نرم‌افزاری می‌توانند بدون هیچ محدودیتی برای تصمیم‌گیری، در ارزیابی هر یک از سناریوهای ممکن و انتخاب کارآمدترین سناریو را فراهم نمایند. مدل WEAP یکی از بهترین ابزارها برای مدیران و سیاست‌گذاران منابع آب برای اتخاذ بهترین تصمیمات و سیاست‌گذاری محسوب می‌شود که با رویکرد یکپارچه، می‌تواند همه جنبه‌های یک سیستم را ارزیابی و بهترین سناریو را ارائه دهد. هدف از این تحقیق، بررسی شاخص‌های عملکرد مخزن سد نهند تحت سناریوهای مدیریتی و بهره‌برداری در مدل WEAP است. در این تحقیق با در نظر گرفتن سه سناریوی مرجع، SC1 و SC2 به ارزیابی عملکرد مخزن در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) پرداخته

۸۰ درصد از نیازها پرداخته شد که نتایج آن در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. به دلیل بررسی شاخص‌های عملکرد مخزن، میزان تأمین و نیاز هر دو نقطه نیاز که از سد نهند تأمین می‌شوند به صورت هم‌زمان در نظر گرفته شد.

جدول ۷- شاخص‌های عملکرد مخزن با شرط تأمین ۱۰۰ درصدی نیازهای ماهانه تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰

Table 7- Performance indicators of the reservoir with the condition of 100% supply of monthly needs under the considered scenarios in the WEAP model in the period of 2021-2040

۲۰۲۱-۲۰۴۰			شاخص عملکرد
SC2	SC1	مرجع	
180	73	160	دوره شکست
0.25	0.70	0.33	قابلیت اعتماد زمانی
0.51	0.21	0.39	آسیب‌پذیری
0.11	0.21	0.13	برگشت‌پذیری
0.01	0.12	0.03	پایداری
0.22	0.49	0.31	پایداری (اصلاحی)

جدول ۸- شاخص‌های عملکرد مخزن با شرط تأمین ۸۰ درصدی نیازهای ماهانه تحت سناریوهای تدوین شده در مدل WEAP در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰

Table 8- Performance indicators of the reservoir with the condition of supplying 80% of monthly needs under the scenarios developed in the WEAP model in the period of 2021-2040

۲۰۲۱-۲۰۴۰			شاخص عملکرد
SC2	SC1	مرجع	
155	32	128	دوره شکست
0.35	0.87	0.47	قابلیت اعتماد زمانی
0.42	0.05	0.25	آسیب‌پذیری
0.14	0.28	0.20	برگشت‌پذیری
0.03	0.23	0.07	پایداری
0.31	0.61	0.41	پایداری (اصلاحی)

مطابق جدول ۷ مشاهده می‌شود که مخزن با شرط تأمین ۱۰۰ درصدی نیازهای شرب شهر تبریز و کشاورزی نهند تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در برخی از ماه‌ها با شکست روبه‌رو خواهد بود. بیش‌ترین دوره شکست مربوط به سناریوی SC2 است و در نتیجه کم‌ترین قابلیت اطمینان زمانی را دارد و آسیب‌پذیری سیستم نیز تحت این سناریو ۵۱ درصد برآورد شده است. کم‌ترین دوره شکست در این دوره مربوط به سناریوی SC1 است. هم‌چنین، این سناریو در بین سناریوهای دیگر از بیش‌ترین قابلیت اطمینان زمانی به میزان ۷۰ درصد و کم‌ترین آسیب‌پذیری به میزان ۲۱ درصد برخوردار است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان برگشت‌پذیری از شکست در تأمین ۱۰۰ درصدی نیازها در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، به ترتیب مربوط به سناریوهای SC1 و SC2 به مقدار ۲۱ و ۱۱ درصد است. شاخص پایداری (اصلاحی) در این دوره، تحت

شد. نتایج نشان داد تحت همه سناریوها درصد تأمین هم برای نقطه نیاز شهر تبریز و هم برای نقطه نیاز کشاورزی نهند کاهش خواهد یافت و این شرایط تحت سناریوی SC2 بسیار بحرانی‌تر از دو سناریوی دیگر خواهد بود. همچنین، حجم ذخیره مخزن نیز نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۰-۲۰۲۰) کاهش پیدا خواهد کرد، به طوری که حجم ذخیره مخزن در دوره آینده در ماه ژوئن به میزان ۵۷/۷ درصد تحت سناریوی SC2 نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد داشت. با بررسی نتایج شاخص‌های عملکرد مخزن مشاهده شد که مخزن در تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصدی نیازها در دوره آینده تحت همه سناریوها با شکست روبه‌رو خواهد شد و شاخص پایداری مخزن (پایداری اصلاحی) در تأمین ۱۰۰ درصدی نیازها تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 به ۳۱، ۴۹ و ۲۲ درصد خواهد رسید و در تأمین ۸۰ درصدی نیازها، نسبت به تأمین ۱۰۰ درصدی نیازها شاخص پایداری تحت سناریوهای مرجع، SC1 و SC2 به ترتیب به میزان ۳۲/۳، ۲۴/۵ و ۴۰/۹ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. پس با توجه به اهمیت سد نهند در تأمین بخشی از آب شرب شهر تبریز باید سیاست‌های مناسبی اتخاذ شود تا در آینده تأمین آب شرب این کلان‌شهر با کمبود آب مواجه نشود. همچنین، با توجه به تأثیر نرخ رشد جمعیت به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد شرایط بحرانی در تأمین آب باید تصمیمات جدی اتخاذ شود.

### سپاسگزاری

از شرکت مدیریت منابع آب و شرکت آب و فاضلاب آذربایجان شرقی به دلیل تأمین داده‌های پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این تحقیق ندارند.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این تحقیق از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

### مشارکت نویسندگان

محسن سلیمی: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ محمدتقی ستاری: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ جواد پارسا: ویرایش نهایی مقاله

### منابع

- احمدی، لعیا، موسوی، سیدفرهاد، و کرمی، حجت (۱۳۹۷). تخصیص آب با استفاده از نرم‌افزارهای WEAP و Vensim (مطالعه موردی: حوضه نازلوچای). *دانش آب و خاک*، ۲۸(۴)، ۲۱۱-۲۲۳. <https://www.sid.ir/paper/147795/fa>
- پورمحمدی، سمانه، فاطمی، مهران، رسایی، فائزه، هاشمی‌منفرد، سید آرمان، و خسروی، محمود (۱۴۰۰). اثرات اجرای پروژه‌های تعدیل آب و هوا بر منابع آب حوضه آبریز خاش با استفاده از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲۱(۲)، ۱۴-۲۴. doi: 10.22098/mmws.2021.1253
- حجی‌پور، مجید، ذاکری‌نیا، مهدی، نقی‌ضیائی، علی، و حسام، موسی (۱۳۹۸). مدیریت تلفیقی تقاضای آب در بخش شرب و صنعت به کمک اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW (مطالعه موردی: شهر بجنورد). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۶(۱)، ۱۷۸-۲۰۳. doi: 10.22069/jwsc.2019.13385.2807
- دهقان، زهرا، دلبری، معصومه، و محمدرضایپور، ام‌البنی (۱۳۹۴). برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مدیریتی در حوضه گرگانود. *دانش آب و خاک*، ۲۵(۳)، ۱۱۷-۱۳۲. <https://www.sid.ir/paper/147742/fa>
- رستمی، فرزاد، اعلمی، محمدتقی، عباسی، حبیبه، و ملکانی، لیلا (۱۴۰۰). شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز سد نهند و شناسایی مناطق بحرانی حوضه از نظر فرسایش با استفاده از مدل SWAT. *اکوهیدرولوژی*، ۸(۴)، ۹۷۵-۹۸۸. doi: 10.22059/ije.2022.328000.1529
- امینی، قاسم، ربیعی‌فر، حمیدرضا، محمدی، قدرت‌الله، حسینی، سید عظیم (۱۴۰۱). استفاده از مدل WEAP جهت ارزیابی مدیریت مصرف سد ایوشان برای مصارف مختلف. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۴۴-۵۹. doi: 10.22098/mmws.2022.11450.1135
- سلیمی، محسن، ستاری، محمدتقی، پارسا، جواد (۱۴۰۲). بررسی اثر تغییر اقلیم بر اساس سناریوهای مختلف بر رواناب و جریان ورودی به مخزن سد نهند. *دانش آب و خاک*، ۳۳(۴)، ۱۳۳-۱۴۷. doi: 10.22034/ws.2022.52756.2486
- شرکت آب و فاضلاب آذربایجان شرقی، (۱۴۰۱). منابع تأمین نیاز آب شرب شهرستان تبریز، تبریز، ایران.
- فیضی، اتابک، و آقاجانی‌جمایران، رضا (۱۴۰۰). تخصیص و مدیریت منابع آب حوضه آبریز سد یامچی با رویکرد تحلیل سناریوها با استفاده از مدل WEAP. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۳(۹)، ۸۹-۱۰۷. doi: 10.30495/jest.2021.51947.5049
- کارآموز، محمد، و کراچیان، رضا (۱۳۸۷). برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۰۰ صفحه.
- کریمی‌احمدآباد، مصطفی، و نبی‌زاده، عادل (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی

تخصیص بهینه منابع آب حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از مدل WEAP. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۴(۴۹), ۲۰-۱۱. doi:20.1001.1.20089554.1399.14.49.7.6

### References

- Ahmadi, L., Mousavi, S., & Karami, H. (2018). Water allocation using WEAP and Vensim softwares (Case study: Nazloo-chai basin). *Water and Soil Science*, 28(4), 211-223. <https://www.sid.ir/paper/147795/en> [In Persian]
- Boudjebieur, E., Ghrieb, L., Maoui, A., Chaffa, H., & Chini, Z.L. (2021). Long-term water demand assessment using WEAP 21: Case of the Guema Region, Middle Seybouse (Northeast Algeria). *Geographia Technica*, 16(2), 69-79. doi:10.21163/GT\_2021.162.06.
- Carpenter, A., & Choudhary, M.K. (2022). Water demand and supply analysis using WEAP Model for Veda River Basin Madhya Pradesh (Nimar Region), India. *Trends in Sciences*, 19(6), 3050-3050. doi:10.48048/tis.2022.3050.
- Dehghan, Z., Delbari, M., & Mohammadrezapour, O. (2015). Planning water resources allocation under various managerial scenarios in Gorganroud Basin. *Water and Soil Science*, 25(3), 117-132. <https://www.sid.ir/paper/147742/en> [In Persian]
- Faiz, M.A., Liu, D., Fu, Q., Uzair, M., Khan, M.I., Baig, F., Li, T., & Cui, S. (2018). Stream flow variability and drought severity in the Songhua River Basin, Northeast China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(5), 1225-1242. doi:10.1007/s00477-017-1463-3.
- Feizi, A., & Aghajani Jomayran, R. (2021). Allocation and management of water resources in the Yamchi Dam Basin with scenario analysis approach using WEAP model. *Journal of Environmental Science And Technology*. 23(9), 79-107. doi:10.30495/jest.2021.51947.5049. [In Persian]
- Hamlat, A., Errih, M., & Guidoum, A. (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria Watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(7), 2225-2236. doi:10.1007/s12517-012-0539-0.
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., & Loucks, D.P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1), 14-20. doi:10.1029/WR018i001p00014.
- Hejipour, M., Zakerinia, M., Ziayie, A., & Hesam, M. (2019). Integrated management of water demand in urban and industry sectors by connection of WEAP and MODFLOW models (case study: Bojnourd basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(1), 187-203. doi:10.22069/jwsc.2019.13385.2807. [In Persian]
- Karamouz, M., & Kerachian, R. (2008). Water quality planning and management. 2th Edition: *Amirkabir University of Technology*, 400 pages. [In Persian]
- Karimi Ahmad Abad, M., & Nabizadeh, A. (2018). Assessment of climate change impacts on climate parameters of Urmia Lake basin during 2011-2040 years by using LARS-WG model. *Geography and Planning*, 22(65), 265-285.
- Lévite, H., Sally, H., & Cour, J. (2003). Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(20-27), 779-786. doi:10.1016/j.pce.2003.08.025.
- Li, X., Zhao, Y., Shi, C., Sha, J., Wang, Z.L., & Wang, Y. (2015). Application of water evaluation and planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Ocean & Coastal Management*, 106, 97-109. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.01.016.
- Loucks, D.P. (1997). Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 513-530. doi:10.1080/02626669709492051.
- Loucks, D.P., & Van Beek, E. (2017). Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications. 1th Edition: *Springer*, 624 pages.
- Mardanian, S., Zare Bidak, R., & Abdollahi, Kh. (2020). Optimal Allocation of Water Resources in Khanmirza Watershed Using WEAP. *Iranian Journal of Watershed Management Sciences*, 14(49), 11-20. doi:20.1001.1.20089554.1399.14.49.7.6. [In Persian]
- Nivesh, S., Patil, J.P., Goyal, V.C., Saran, B., Singh, A.K., Raizada, A., Malik, A., & Kuriqi, A. (2022). Assessment of future water demand and supply using WEAP model in Dhasan River Basin, Madhya Pradesh, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10) 1-14. doi:10.1007/s11356-022-24050-0.
- Pourmohammadi, S., Fatemi, M., Rasaei, F., Hashemi Monfared, S.A., & Khosravi, M. (2021). Effects of weather modification operation on water resources of Khash Basin using water evaluation and planning (WEAP) model. *Water and Soil Management and*

- Modeling*, 1(2), 14-24. doi:10.22098/mmws.2021.1253. [In Persian]
- RabieiFar, H., Amini, G., Mohammadi, G., & Hosseini, S.A. (2022). Using the WEAP model to evaluate the consumption management of Ayushan dam for different uses. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 44-59. doi:10.22098/mmws.2022.11450.1135. [In Persian]
- Rostami, F., Alami, M., abbasi, H., & Malekani, L. (2021). Hydrological simulation of Nahand Watershed and identification of critical erosion areas using SWAT model. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(4), 975-988. doi:10.22059/ije.2022.328000.1529. [In Persian]
- Salimi, M., Sattari, M., & Parsa, J. (2023). Investigating the effect of climate change based on different scenarios on the runoff and inflow to Nahand dam reservoir. *Water and Soil Science*, 28(4), 133-147. doi:10.22034/ws.2022.52756.2486. [In Persian]
- Sandoval-Soils S., Mckinney D.C., & Loucks D.P. (2011). Sustainability index for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 137(5), 381-38. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000134.
- Sattari, M.T., Mirabbasi, R., Dolati, H., Sureh, F.S., & Ahmad, S. (2020). Investigating the effect of managing scenarios of flow reduction and increasing irrigation water demand on water resources allocation using system dynamics (case study: Zonouz dam, Iran). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3), 406-421. doi:10.33462/jotaf.703167.
- SEI, User Guide for WEAP21, Stockholm Environmental Institute, U.S.Center.optimum design of robotic manipulators using dexterity indices Robotics and Autonomous systems. (2007), 9(4), 213-226.
- Tsanov, E., Ribarova, I., Dimova, G., Ninov, P., Kossida, M., & Makropoulos, C. (2020). Water stress mitigation in the Vit River Basin based on WEAP and matlab simulation. *Civil Engineering Journal*, 6(11), 2058-2071. doi:10.28991/cej-2020-03091602.
- Water and Waste Water Company East Azarbaijan Province. (2022). Sources of drinking water supply in Tabriz city, Tabriz, Iran.