Research Paper

Assessing Water Allocation to Mashhad City Using WEAP Model: The Role of Chehchehe and Qaretikan Dam Water Transfer Project Along with Transboundary Treaties

Mohammad Hossein Ahmadi[1]*, Mohammad Reza Zaghiyan[2], Roozbeh Aghamajidi[3], Gholamreza Saeedifar[1]
1. Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran
2. Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Department of Civil Engineering, Sepidan Branch, Islamic Azad University, Sepidan, Iran

Received: 2023/09/25
Revised: 2024/04/01
Accepted: 2024/05/18

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2024.32494.2397

Keywords:
Mashhad Water Supply, Chehchehe, Qaretikan Dam, WEAP Model, Water Transfer, Border Protocol

Abstract

Introduction: In recent years, the issue of providing drinking water and ensuring public health for the residents of the city of Mashhad has emerged as a top priority for the authorities in charge. As part of addressing this concern, a proposed solution involves the transfer of water from Chehchehe and Qaretikan dams through the construction of water catchment structures downstream of these dams. The water would then be channeled to the water transfer tunnel of Dosti Dam for eventual delivery to the city of Mashhad.

Methods: In this study, an evaluation was conducted on the alterations in water allocation stemming from the presence of two dams over a 24-year span from 1997 to 2020. Factors such as potable water requirements, agricultural demands, ecological considerations, and the water agreement between Iran and Turkmenistan were taken into account using WEAP model. Subsequently, the second phase of the study involved an assessment of the fulfillment of the aforementioned needs, utilizing the percentage of meeting index.

Findings: Based on the findings, it is evident that the transfer of water within the allowable volume limit is both feasible and viable. It is imperative to emphasize that maintaining current loading levels, without any additional burden, is crucial for sustaining a reliable water supply for the city of Mashhad via the two dams.

Citation: Ahmadi MH, Zaghiyan MR, Aghamajidi R, Saeedifar Gh. Assessing Water Allocation to Mashhad City Using WEAP Model: The Role of Chehchehe and Qaretikan Dam Water Transfer Project Along with Transboundary Treaties. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (62): 54- 70.

***Corresponding author:** Mohammad Hossein Ahmadi
Address: Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran
Tell: +989173396962
Email: mohamadh.ahmadi@iau.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Water resources have emerged as a critical component for socio-economic development, particularly in arid and semi-arid regions. Water, as a pivotal resource, plays a significant role in shaping the trajectory of our nation's social and economic growth. The escalating population and economic expansion, encompassing urbanization, industrial output, and agricultural activities, have precipitated a swift surge in water demand over the years. Precipitation exhibits substantial temporal and spatial variations, with most tropical and subtropical regions globally experiencing considerable fluctuations in seasonal and annual rainfall. These factors have exacerbated the issue of water scarcity. Consequently, the rise in water demand has diminished water availability during dry seasons and escalated water disputes within watersheds. To mitigate the disparity in water resource distribution and demand, the strategy of inter-basin water transfer has been adopted globally. This strategy, defined as the relocation of water from one watershed or distinct geographical area to another or from one river to another, serves as a viable solution to address the imbalance.

Materials and Methods

The area under study is situated in the northern part of the Khorasan Razavi province. Characterized primarily by mountainous terrain and plains, the region's highest elevation reaches 3130 meters. The area is rich in rivers such as Qaretikan, Chehchehe, Cheshmeshur, and Sepanjeh, with agricultural lands and gardens flourishing along their banks. The principal rivers in this area flow from south to north. After irrigating the agricultural lands, these rivers cross the national border and enter Turkmenistan. The project will conduct a four-stage assessment of the catchment area. This process will involve the use of standard statistical methods to quantify the agreement between Iran and Turkmenistan and evaluate the minimum environmental flow, thereby assessing the fundamental condition of the area under study. Following the introduction of input data into the simulation model, an optimization model based on WEAP water allocation will be employed. This model, coupled with defined simulation scenarios, will facilitate the evaluation of changes in water allocation. In the final stage, the index of the percentage of supply will be used to examine alterations in the provision of defined needs, including agriculture, drinking, and environment, under each scenario.

Findings

Obenchmarks for evaluating the outcomes derived from each scenario is the responses pertaining to the current situation scenario. In the reference scenario, the irrigation efficiency of agricultural lands stands at 30%, and the cultivated areas and requisite sites align with the instances delineated in the preceding sections. Moreover, the reference scenario does not account for the transfer of water from the two rivers under study. In this context, the scenario encompassing environmental needs and the computed water flow from the dam to the outlet was deemed as the reference scenario. Consequently, additional scenarios were formulated based on the reference scenario. Furthermore, in accordance with the most recent approvals concerning allocation and capacity, the annual average volume of water that can be transferred from the water sources of Hezar Masjid at the site of Qaretikan and Chehchehe dam projects is estimated to be 3 and 2 million cubic meters, respectively. It's also noteworthy that due to the absence of industrial development in the studied area during the research period, its need node has not been considered. The increase in the proportion of transferable water derived from the simulation results can be attributed to the omission of the industrial water demand node. In this regard, the results of each scenario will be subjected to analysis.

Discussion

It's important to note that the outcomes of each scenario have been examined individually, both prior to and following the operation of the Qaretikan and Chehchehe dams. The construction of a dam on the

Harirud River in Afghanistan is perceived as a significant challenge for securing drinking water supply in Mashhad. In this context, one proposed solution to offset a portion of the water shortages required for drinking and sanitation in Mashhad involves transferring water from the surface water sources. A key component of these plans includes the transfer of water from the Chehchehe and Qaretikan dams. This process entails the construction of catchment structures downstream of these dams and the subsequent transfer of water to the water conveyance tunnel of the Dosti Dam, and ultimately to the city of Mashhad. For this purpose, the study will initially evaluate the shifts in water allocation from the sites of these two dams. This evaluation will consider the needs of drinking, agriculture, the environment, and the water treaty between Iran and Turkmenistan, utilizing the WEAP model. Subsequently, in the second stage, the assessment of the aforementioned needs will be conducted using a percentage-based approach.

Conclusion

The research findings suggest that the provision of agricultural, environmental, border protocol, and drinking water has been effectively managed under the investigated scenarios. The average volume delivered by both dams to the location of the water transmission line falls within the range of transferable volume, indicating the feasibility of water transfer according to the threshold limit of transferable volume. However, in the third scenario, which involves the application of the transmission line and a 20% increase in agricultural demand, there is a decrease in the water delivered to drinking water transmission lines from both dams. This suggests that if there is an increase in load during drought years and the agricultural demand increases by only 20% for the expansion of the cultivated area, the flow delivered to the Chechcheh - Mashhad drinking transmission line and the Qaratikan-Mashhad transmission line will decrease by 17% and 11% respectively. Therefore, to ensure a stable supply of drinking water in Mashhad through the two dams, it is recommended that no additional loading should be considered over the following years. This is crucial to prevent any potential disruption in the city's drinking water supply.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

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

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Mohammad Reza Zaghiyan and Roozbeh Aghamajidi.
Methodology and data analysis: Mohammad Hossein Ahmadi, Mohammad Reza Zaghiyan, Roozbeh Aghamajidi, Gholamreza Saeedifar.
Supervision and final writing: Mohammad Hossein Ahmadi

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی تخصیص آب به شهر مشهد با استفاده از مدل WEAP: نقش طرح انتقال آب سد چهچهه و قره‌تیکان در تعامل با معاهدات فرامرزی

محمدحسین احمدی[۱*]، محمدرضا زاغیان[۲]، روزبه آقامجیدی[۳]، غلامرضا سعیدی فر[۱]
۱. استادیار گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳
تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۰۱/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

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

DOI: 10.30495/wej.2024.32494.2397

واژه‌های کلیدی:
تامین آب شهر مشهد، سد چهچهه–قره‌تیکان، مدل WEAP، انتقال آب، پروتکل مرزی

چکیده

مقدمه: در سال‌های اخیر، تامین آب شرب و بهداشت ساکنان کلان شهر مشهد مقدس، به اصلی ترین دغدغه تصمیم‌گیرندگان این حوضه تبدیل شده است. در این راستا، یکی از راه های پیشنهادی برای جبران بخشی از کسری آب مورد نیاز شرب و بهداشت شهر مشهد، طرح انتقال آب از سدهای چهچهه و قره‌تیکان با احداث سازه‌های آبگیر در پایین‌دست این سدها و انتقال آب به سمت تونل انتقال آب سد دوستی و سپس شهر مشهد می‌باشد.

روش: در این مطالعه ابتدا به ارزیابی تغییرات تخصیص آب از محل این دو سد، در بازه زمانی ۲۴ ساله از ۱۳۷۵-۷۶ الی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با در نظرگرفتن نیازهای شرب، کشاورزی، زیست‌محطی و معاهده آبی میان ایران و ترکمنستان با استفاده از مدل تخصیص آب WEAP پرداخته شد. سپس در مرحله دوم ارزیابی تامین نیازهای فوق‌الذکر با استفاده از شاخص درصد تامین‌شدگی مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: مطابق با نتایج بدست آمده، انتقال آب مطابق با حدآستانه حجم قابل انتقال عملی و امکان‌پذیر است. اما بایستی توجه نمود تا در طی سال‌های ترسالی نیز هیچگونه بارگذاری اضافی نسبت به شرایط موجود درنظر گرفته نشود تا تامین پایدار آب شرب شهر مشهد از طریق دو سد، صورت گیرد.

نتیجه‌گیری: مطابق با نتایج بدست آمده از این تحقیق تحت سناریوهای مورد بررسی و دو برش زمانی پیش و پس از بهره‌برداری از سدها، تامین نیازهای کشاورزی، زیست‌محیطی، پروتکل مرزی و خط انتقال آب شرب به خوبی انجام شده است. همچنین متوسط حجم تحویلی توسط هر دو سد به محل خط انتقال آب، در محدوده حجم قابل انتقال می‌باشد. به‌عبارت دیگر، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، انتقال آب مطابق با حدآستانه حجم قابل انتقال عملی و امکان‌پذیر می‌باشد.

* **نویسنده مسئول:** محمد حسین احمدی
نشانی: گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران
تلفن: ۰۹۱۷۳۳۹۶۹۶۲
پست الکترونیکی: mohamadh.ahmadi@iau.ac.ir

مقدمه

منابع آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، به یک عامل حیاتی برای توسعه‌ی اقتصادی- اجتماعی تبدیل شده است (۱). در این راستا، آب منبعی کلیدی است که استفاده و توسعه آن تعیین‌کننده میزان توسعه اجتماعی و اقتصادی کشور ما خواهد بود. با رشد روزافزون جمعیت و اقتصاد از جمله شهرنشینی، تولیدات صنعتی و کشاورزی، تقاضا برای آب به سرعت در طول سال‌ها افزایش یافته است. بارندگی در طول زمان و مکان بسیار متفاوت است و بیشتر مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان با تغییرات فصلی و سالانه عظیم در بارندگی روبرو شده‌اند (۲). عوامل فوق مشکل کمبود آب را تشدید کرده است. در این راستا، افزایش تقاضای آب باعث کاهش دسترسی به آب در فصول خشک و همچنین افزایش مناقشات آبی در حوضه‌های‌آبریز شده است (۳). برای کاهش عدم تعادل در توزیع منابع و تقاضای آب، انتقال آب بین حوضه‌ای، که به عنوان «انتقال آب از یک حوضه‌آبریز یا منطقه جغرافیایی متفاوت به دیگری، یا از یک رودخانه به رودخانه دیگر» تعریف می‌شود، در سراسر جهان اجرا شده است (۴).

بسیاری از پروژه‌های انتقال آب در سطح جهانی انجام شده یا در حال توسعه هستند. سهم کل این پروژه‌ها تقریباً ۱۴٪ از کل برداشت آب در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد (۵). در آفریقا، پروژه آب هایلندز لسوتو، با هدف انتقال سالانه حدود ۲۲۰۰ میلیون متر مکعب آب از لسوتو به آفریقای جنوبی برای تولید برقابی و تامین آب شرب، در دست ساخت است (۶). پروژه انتقال آب در شمال چین نیز در نظر گرفته شده است تا ۱۴ میلیارد متر مکعب در سال را برای کاهش کمبود آب در این منطقه با استفاده از کانال اصلی ۱۲۶۷ کیلومتری هدایت کند (۷). در این راستا، ارزیابی جامعی در خصوص فرصت‌ها و چالش‌های پروژه‌های انتقال آب در مطالعه (۸) انجام شده است. مطالعات و انجام پروژه‌های انتقال آب در ایران نیز سابقه طولانی داشته و همواره مورد توجه تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران بخش منابع آب بوده است. این مورد به خوبی در مطالعه (۹) مورد بررسی قرار گرفته و سابقه انتقال آب در ایران را از سال ۱۹۵۴ مورد ارزیابی قرار داده است. پیشرفت‌های جاری در روش‌های مدل‌سازی سناریوهای هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی امکان تجمیع داده‌ها را در مقیاس‌های مختلف فراهم می‌کند و می‌توان از آن برای تولید داده‌هایی در سطح حوضه برای طیف گسترده‌ای از نشانگرها مانند خطرات سیل یا خشکسالی استفاده کرد. در این راستا، عدم قطعیت‌های ذاتی با داده‌های مدل‌سازی شده وجود دارد که بسته به طراحی مدل و ویژگی‌های داده ورودی متفاوت است، اما مدل‌ها به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند و به ابزارهایی برای تصمیم‌گیری و پشتیبانی مدیریت تبدیل شده‌اند (۱۰). از سویی دیگر، همواره یکی از مهم‌ترین موانع موجود در ارزیابی منابع آب، عدم قطعیت در نتایج بدست آمده با توجه به رویدادهای هیدرولوژیکی، هواشناسی و همچنین الگوهای تقاضا می‌باشد. تخصیص مقادیر نادرست به این رویدادها و الگوها می‌تواند نتایج مطالعه و تصمیم‌گیری‌های حاصل را بی اعتبار کند. در این راستا، از طریق توسعه سناریوها و استراتژی‌های جایگزین، وضعیت‌های آینده تامین آب و تقاضای آب را می‌توان تحت برنامه‌های مدیریت منابع آب و شیوه‌های مدیریت تقاضای آب ارزیابی کرد (۱۱). از مهم‌ترین این ابزارها می‌توان به مدل‌های شبیه‌سازی حوضه‌آبریز بر اساس شبکه‌ای از گره‌های تامین و تقاضا برای استخراج تعادل آب حوضه اشاره نمود که یکی از رویکردهای مهم و کلیدی برای اجرای سناریوهای مدنظر هستند (۱۲). این مدل‌ها به کاربر اجازه ارزیابی انواع اقدامات مربوط به منابع آب و مدیریت تقاضا تحت شرایط مختلف هیدرولوژیکی می‌دهد (۱۳).

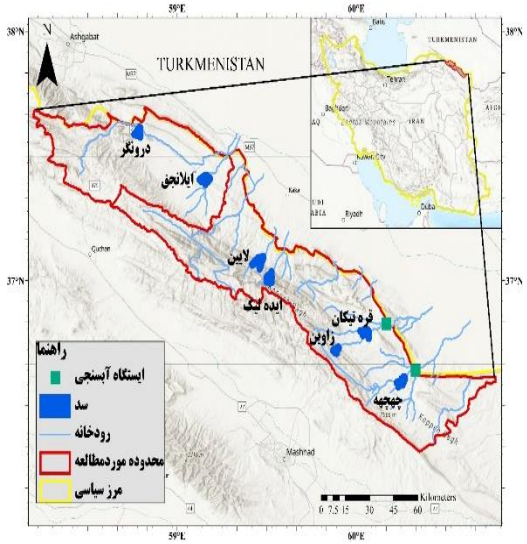
در این راستا، سیستم ارزیابی و برنامه ریزی آب (WEAP) به‌عنوان یک ابزار مدیریتی برای مدیریت منابع آب است که در ابتدا در مؤسسه محیط زیست استکهلم (SEI) در سال ۱۹۸۸ توسعه یافت (۱۴). استفاده از مدل WEAP در طیف متنوعی از مطالعات برای اهداف تخصیص آب به‌کار گرفته شده است (۱۵). اجرای یک سناریوی مناسب برای تخصیص منابع ، می‌تواند به عنوان یک معیار مناسب در برنامه ریزی منابع آبی در نظر گرفته شود. این معیارها در مطالعات مختلف، مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶). در این میان از سالیان دور، تامین آب شرب و بهداشت ساکنان کلان شهر مشهد مقدس، به اصلی ترین دغدغه تصمیم‌گیرندگان این حوضه تبدیل شده است (۱۷). اگرچه مطالعه و اجرای سد و خط انتقال آب دوستی به مشهد تا حد زیادی مشکلات کمی و کیفی آب شهر مشهد را حل نمود، اما تغییرات اقلیمی، خشکسالی و کاهش بارش‌ها، رشد جمعیت و خالی شدن سفره‌های آب زیرزمینی منطقه، مجدداً تامین آب شهر مشهد را به عنوان یک مسئله دارای اهمیت مطرح نموده است. افزون بر آن، موضوع احداث سد بر روی رودخانه هریرود در کشور افغانستان نیز از چالش‌های بسیار مهم برای تامین آب شرب مشهد تلقی می‌شود. در حال حاضر با بهره‌برداری در آینده نزدیک از سد در حال ساخت پشتو در نزدیکی هرات و همچنین برنامه‌ریزی برای احداث سدهای جدید بر روی روخانه هریرود، قطعا ضریب اطمینان تامین آب شرب شهر مشهد از سد دوستی با مخاطره مواجه خواهد شد.در این راستا، یکی از راه های پیشنهادی برای جبران بخشی از کسری آب مورد نیاز شرب و بهداشت شهر مشهد، انتقال آب از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه‌آبریز قره قوم واقع در یال شمالی کوه‌های هزار مسجد است. با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، به دلیل شیب تند رودخانه‌ها و عدم مخزن‌دهی مناسب و بسیار محدود، امکان ذخیره سازی منابع آبهای سطحی با احداث مخازن متعارف امکان پذیر نیست. بنابراین بهترین راهکار، جمع آوری آبهای سطحی و انتقال از طریق خط لوله به سمت مشهد می باشد. از جمله مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه می‌توان به "مطالعات تکمیلی طرح بهره برداری بهینه از منابع آبی هزار مسجد (مسیر دوستی) (بروزآوری تخصیص منابع آب سدهای چهچهه و قره‌تیکان) اشاره نمود. به‌عنوان بخشی از مهم‌ترین این طرح‌ها، طرح انتقال آب از سدهای چهچهه و قره‌تیکان با احداث سازه‌های آبگیر در پایین‌دست این سدها و انتقال آب به سمت تونل انتقال آب سد دوستی و سپس شهر مشهد می‌باشد. با بررسی تحقیقات پیشین انجام شده، مشخص می‌گرد که مطالعات محدودی در زمینه بررسی کمی تخصیص آب از محل سدهای چهچهه و قره‌تیکان به شهر مشهد صورت گرفته است. اگرچه اشاراتی در این دست از مطالعات به اهمیت انجام این طرح باتوجه به چالش‌های پیش‌رو مدیریت منابع آب استان شده است. به‌عنوان مثال، در مطالعه

(۱۸) به چالش‌ها و فرصت‌های طرح‌های تامین آب مشهد پرداخته و روشی جهت ارزیابی خطر کردن ارائه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده گزینه‌ی انتقال آب از کوه‌های هزار مسجد (منطقه قرارگیری سدهای قره‌تیکان و چهچهه)، به دلیل نحوه و فصل انتقال آب در ماه‌های سرد و به دلیل قرار داشتن در داخل کشور دارای کمترین میزان خطر کردن بدست آورده شده و از آن به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه یاد شده است. در تحقیق دیگری (۱۹) به بررسی سه دکترین مختلف تسهیم آب‌های مرزی در قالب ایجاد سناریوهای مرتبط با آن‌ها پرداخته است. نتایج این مطالعه که متاثر از ساخت سد سلما (افغانستان) بر ورودی سد دوستی و درنتیجه تامین آب شهر مشهد می‌باشد، سناریو دکترین تمامیت ارضی محدود شده را به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای سه کشور افغانستان، ترکمنستان و ایران (شهر مشهد) معرفی نموده است. علاوه بر آن، در مطالعه (۲۰) با معرفی چالش‌های محتمل در خصوص آب‌های مرزی شرق ایران و تامین آب شرب مشهد، به تامین منابع آب با اطمینان‌پذیری بیشتری تاکید شده است.

بررسی نکات و مطالعات اشاره شده در فوق نشان می‌دهد در خصوص تامین آب شرب شهر مشهد از محل ارتفاعات هزارمسجد و به‌طور خاص سدهای چهچهه و قره‌تیکان مطالعات جامع و کمی صورت نگرفته است. به‌عبارت بهتر، در تحقیقات پیشین صرفا به اولویت‌بندی راهبردهای انتقال آب و چالش‌های اقلیمی- سیاسی توجه شده است. بدین‌منظور، در مطالعه حاضر سعی شده است تا با ارائه رویکرد کمی و استفاده از ابزار مدلسازی تخصیص آب به بررسی تامین آب شرب شهر مشهد در محل دو سد فوق‌الذکر پرداخته شود. نکته قابل توجه در نوآوری این تحقیق دخیل‌کردن و کمی‌سازی معاهده آبی میان دو کشور ترکمنستان و ایران در تعامل با سایر مولفه‌های مدلسازی تخصیص آب مانند نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. موردی که در تحقیقات قبلی انجام شده در این زمینه مغفول مانده است. بدین‌منظور، ابتدا به ارزیابی تغییرات تخصیص آب از محل این دو سد با درنظرگرفتن نیازهای شرب، کشاورزی، زیست‌محطی و معاهده آبی میان ایران و ترکمنستان با استفاده از مدل تخصیص آب WEAP پرداخته خواهد شد. سپس در مرحله دوم ارزیابی تامین نیازهای فوق‌الذکر با استفاده از شاخص درصد تامین‌شدگی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

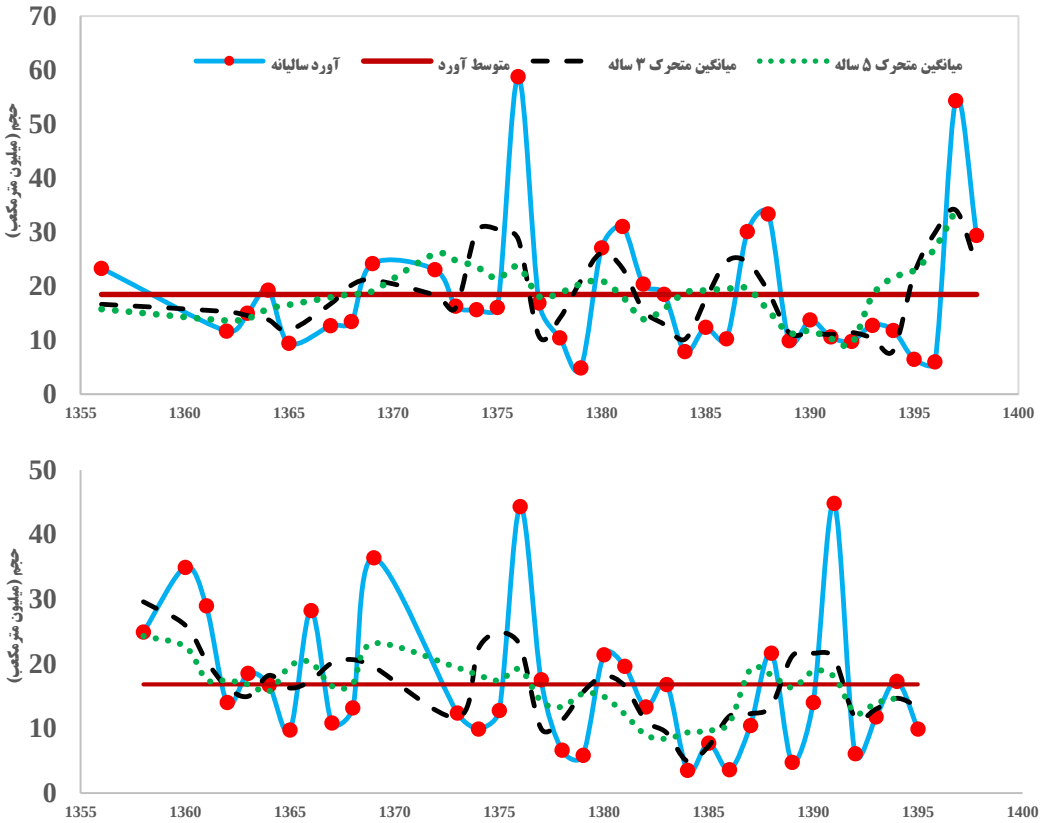
منطقه مورد مطالعه در شمال استان خراسان رضوی قرار دارد. این منطقه عمدتاً کوهستانی (از سد ابیورد تا منطقه کلات) و تپه‌ماهوری و دشت (از منطقه قره‌تیکان تا تونل سد دوستی) است و مرتفع‌ترین نقطه آن، ۳۱۳۰ متر ارتفاع دارد. در این منطقه رودخانه‌هایی از جمله پیرگن‌سو، لائین‌سو، ایده‌لیک، سینی‌سو، چرم‌سو، قره‌تیکان، چهچهه، چشمه‌شور، سه‌پنجه جریان دارد که در حاشیه بیشتر آن‌ها اراضی کشاورزی و باغات گسترش پیدا کرده‌اند. رودخانه‌های اصلی واقع در محدوده موردمطالعه در راستای جنوب به شمال پس از مشروب نمودن اراضی کشاورزی از مرز کشور خارج و به کشور ترکمنستان وارد می‌شود. در شکل (۱) موقعیت کلی منطقه طرح نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه به همراه جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب و سدهای حوضه‌آبریز

رودخانه قره‌تیکان از دو شاخه به نام‌های قره‌تیکان و کال شور تشکیل شده است. این رودخانه از ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری کوه‌های هزارمسجد سرچشمه می‌گیرد. محل سد مخزنی قره‌تیکان در نزدیکی محل الحاق دوشاخاب طرقطی و قلعه نو و در فاصله ۴۷ کیلومتر از سرشاخه آن بر روی این رودخانه واقع گردیده است. رودخانه قره‌تیکان پس از دریافت شاخه کال شور و دیگر مسیل‌ها و آبراهه‌های غربی وارد خاک ترکمنستان شده و آورد خود را نهایتاً به شوره زار یوغاز تخلیه می‌نماید. بر روی این رودخانه یک ایستگاه هیدرومتری به نام قره‌تیکان در نزدیکی مرز ایران و ترکمنستان احداث گردیده است. شاخه اصلی رودخانه چهچهه از ارتفاعات ۲۴۰۰ متری کوه‌های قره‌داغ و صندوق شکن که این کوه‌ها خود جزو رشته کوه‌های هزار مسجد می باشند، سرچشمه گرفته و سپس وارد خاک ترکمنستان و صحرای قره‌قوم شده وجریان‌های خود را به این منطقه تخلیه می‌نماید.

در این راستا، در جدول (۱)، مهم‌ترین مشخصات فیزیکی سدهای چهچهه و قره‌تیکان ارائه شده است. همچنین مطابق با اطلاعات اخذ شده از شرکت آب‌منطقه‌ای خراسان رضوی، تغییرات آورد رودخانه در محل سدهای قره‌تیکان و چهچهه در شکل (۲) همراه با میانگین متحرک ۳ ساله و ۵ ساله ارائه شده است که می‌تواند مبنایی جهت تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی قرار گیرد. همچنین مطابق اطلاعات ارائه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مقادیر نیاز ماهانه اراضی کشاورزی پایین‌دست سدهای قره‌تیکان و چهچهه در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- تغییرات سالانه آورد رودخانه در محل سد الف) قره‌تیکان و ب)چهچهه

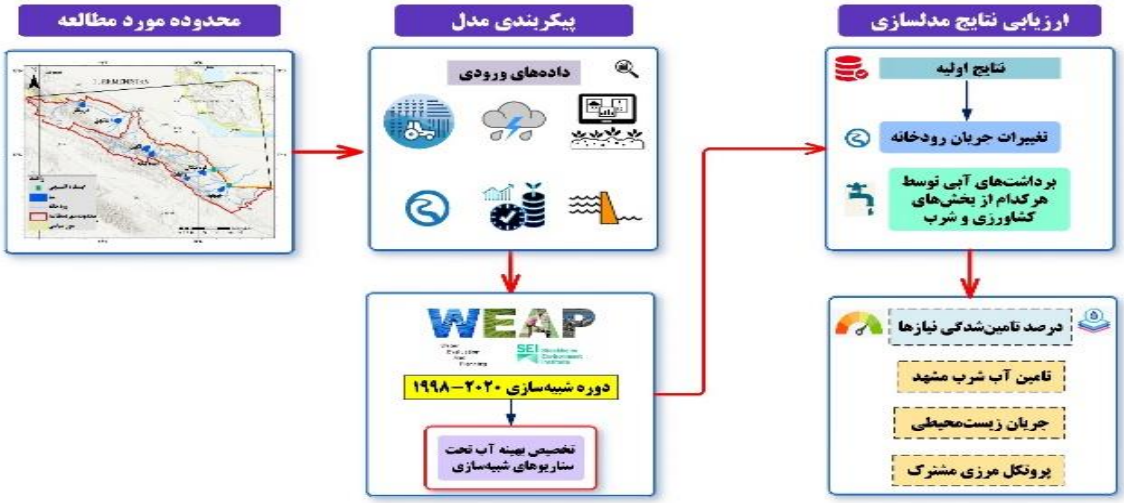
جدول ۱- برخی از مهم‌ترین مشخصات فیزیکی سدهای قره‌تیکان و چهچهه

عنوان	سد قره‌تیکان	سد چهچهه
اهداف طرح	صنعت و کشاورزی	صنعت و کشاورزی
سال بهره‌برداری	۱۳۹۵	۱۳۹۴
نوع سد	سنگریزه ای با هسته رسی قائم	خاکی با هسته رسی
تراز نرمال (متر)	۷۲۳	۵۸۲
حجم مخزن در رقوم نرمال (م. م. م)	۱۹	۱۹/۷
حجم مرده (م. م. م)	۱۰	۹
آورد سالیانه (م. م. م)	۱۱/۶۶	۱۰
رقوم حداکثر تراز آب (متر)	۷۲۶	۵۸۴/۵
وسعت دریاچه در تراز نرمال (هکتار)	۱۴۸,۵	۱۴۵
حداقل تراز بهره برداری (متر)	۷۱۸	۵۷۴
نوع سرریز	آزاد	آزاد (دریچه دار)
ظرفیت سرریز (مترمکعب بر ثانیه)	۷۴۳	۹۴۲

جدول ۲- مقادیر نیاز ماهانه کشاورزی در اراضی پایین‌دست سدهای مورد مطالعه (میلیون مترمکعب)

نام سد	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	سالانه
قره‌تیکان	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۵۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۶	۰/۱۶	۴/۱۰
چهچهه	۰/۴۶	۰/۷۵	۰/۶۸	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۲۴	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰/۰۳	۰/۱۳	۳/۴۹

ارزیابی وضعیت حوضه‌آبریز در محدوده طرح در چهار مرحله صورت خواهد گرفت. در این راستا ابتدا با استفاده از روش‌های متداول آماری، کمی‌سازی معاهده میان ایران و ترکمنستان و ارزیابی حداقل جریان زیست‌محیطی به ارزیابی وضعیت پایه محدوده مورد مطالعه پرداخته خواهدشد. سپس پس از معرفی اطلاعات ورودی به مدل شبیه‌سازی، با استفاده از مدل بهینه‌سازی مبتنی بر تخصیص آب WEAP و تعریف سناریوهای شبیه‌سازی به ارزیابی تغییرات تخصیص آب پرداخته خواهد شد. در مرحله آخر با استفاده از شاخص درصد تامین‌شدگی تغییرات تامین نیازهای تعریف شده از جمله کشاورزی، شرب و زیست‌محیطی تحت هرسناریو ارائه خواهد گردید. بدین‌منظور روش‌شناسی مطالعه باتوجه به شکل (۳) صورت خواهد گرفت.



شکل ۳- مراحل انجام تحقیق در پژوهش حاضر

مدلسازی سامانه‌های منابع آب با استفاده از مدل WEAP

سیستم ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP) در سال ۱۹۸۸ توسط مرکز مؤسسه محیط زیست استکهلم، مؤسسه پژوهشی توسعه یافت. این مدل قابلیت شبیه‌سازی حالات و سناریوهای مختلف توسعه را دارا می‌باشد. در WEAP دوره شبیه‌سازی در برش‌های زمانی متفاوت از جمله ماهانه در نظر گرفته می‌شود و روابط سطح-حجم-ارتفاع مخزن سد، نیازهای شرب وکشاورزی موردنظر، نیازهای زیست‌محیطی و همچنین سری زمانی آبدهی ورودی به مخزن، ارتفاع تبخیر از سطح مخزن و عواملی نظیر نشت از مخزن، به عنوان اطلاعات ورودی در نظر گرفته می‌شود (۱۴). مواردی که در این مطالعه نیز به مدل معرفی شده است. از سویی دیگر، مدل WEAP از یک مدل برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هرگام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تامین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تضاضا، تعادل جرمی و سایر قیود است. تمامی قیود به‌طور متناوب برای هر گام زمانی و باتوجه به اولویت عرضه و تقاضا تعریف می‌شود. WEAP در هرگام زمانی معادله تعادل جرمی آب را برای هر گره و شاخه محاسبه می‌کند با این فرض که عملکرد اجزا سیستم به جز در مخازن و رطوبت خاک در هر گام زمانی مستقل از گام‌های دیگر است. گام‌های زمانی باتوجه به وسعت حوضه می‌تواند کوچک (روزانه، ۱۰ روزه) یا بزرگ (ماهانه یا بیشتر) درنظر گرفته شود (۲۱).

در تعریف مطالعه، چارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و تنظیمات مسئله انجام می‌شود. وضع موجود که از آن می‌توان به عنوان گام واسنجی مدل در شرایط توسعه استفاده کرد، یک تصویر کلی از نیازهای آبی واقعی، منابع و تامین سیستم را نشان می‌دهد. در شرایط موجود، فرضیات کلیدی برای بیان سیاست‌ها، هزینه‌ها و عواملی که برنیازها و تامین هیدرولوژی موثرند، تعریف می‌شود. سناریوها در شرایط موجود ساخته می‌شوند و با استفاده از آن‌ها می‌توان سیاست‌های مختلف را بر میزان دسترسی و مصرف آب در آینده بررسی کرد (۲۲).

تعیین نیاز زیست‌محیطی با استفاده از روش مونتانا

روش مونتانا یا تنانت جهت برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها، برپایه مطالعات انجام‌شده در ایالات مرکزی آمریکا با برقراری رابط بین جریان رودخانه و حفظ طبیعت حاشیه رودخانه توسعه داده شده است. بدین معنی که هدف اصلی، حفظ شرایط زیستی ماهیان رودخانه بوده است (۲۳). در این روش درصد مشخصی از ۱۰ تا ۳۰ درصد متوسط آورد سالانه رودخانه به عنوان دبی زیست محیطی استفاده می‌شود. طبق ابلاغیه وزارت نیرو به تفکیک برای فصل‌های بهار و تابستان ضریب ۰/۳ (۳۰ درصد) و برای فصل‌های پاییز و زمستان ضریب ۰/۱ (۱۰ درصد) لحاظ گردیده و به مدل معرفی می‌گردد.

پروتکل مرزی مشترک آبی میان ایران وترکمنستان

رودخانه‌های قره‌تیکان و چهچهه دارای پروتکل رودخانه‌های مرزی و مشترک. مطابق با ماده چهارم پروتکل موجود که در ۲۶ فوریه ۱۹۲۱

بین ایران و اتحاد جماهیر شوروی به امضاء رسیده است، تمام آب رودخانه چهچهه و قره‌تیکان با آب‌های شعب آن به دو قسمت مساوی تقسیم خواهد شد که یک قسمت آن برای ایران و قسمت دیگر آن به خاک جماهیر شوروی (سابق) جاری خواهد گردید. مأموران فنی طرفین متعاهدتین مقدار آب رود چهچهه و قره‌تیکان را در خط سرحد و در کلیه نهرهائی‌که از رود چهچهه و قره‌تیکان در خاک ایران از خط سرحد تا محل تلاقی آب گرم با آبخور (نزدیک قریه امیرآباد) و ده ورست جدا می‌شود، معین خواهند کرد. کلیه مقدار آبی که در نتیجه تعیین مذکور حاصل می‌شود، مقدار آبی است که باید به دو قسمت مساوی تقسیم گردد. بر این اساس و متناسب با برآورد آبدهی هرکدام از رودخانه‌ها در دوره هیدرولوژیک مشخص شده در این مطالعات، فرض شده که ۵۰ درصد منابع آب موجود باید به عنوان حقابه ترکمنستان، مورد نظر قرار گیرد.همان‌طور که اشاره گردید، برآورد جریان زیست‌محیطی و پایداری رودخانه در پایین‌دست سدهای قره‌تیکان و چهچهه با استفاده از روش مونتانا برآورد گردید. روش مونتانا از جمله روش‌های هیدرولوژیکی است که بر اساس کیفیت قابل قبول تا خوب حیات ماهی در رودخانه، دبی رودخانه در فصول مختلف سال را برآورد می‌کند. در این روش درصد مشخصی از ۱۰ تا ۳۰ درصد متوسط آورد سالانه رودخانه به عنوان دبی زیست محیطی استفاده می‌شود. طبق ابلاغیه وزارت نیرو به تفکیک برای فصل های بهار و تابستان ضریب ۰,۳ (۳۰ درصد) و برای فصل های پاییز و زمستان ضریب ۰,۱ (۱۰ درصد) لحاظ گردیده و نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- متوسط ماهانه نیاز زیست‌محیطی در پایین‌دست سدهای چهچهه و قره‌تیکان

نام سد	محل	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	حجم (MCM)	سالانه (m^3)
قره‌تیکان	سرشاخه تا سد	۰/۰۷۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۴	۰/۱۹۴	۰/۳۱۸۷	۰/۴۵۴	۰/۰۷۸	۰/۰۵۱	۰/۰۴۳	۰/۰۵۳	۰/۰۴۷	۰/۰۵۱	۵/۵۴	۰/۱۷۶
	سد تا مرز	۰/۰۳۶	۰/۰۳۵	۰/۰۴۵	۰/۱۲۹	۰/۲۳۱	۰/۲۸۳	۰/۰۳۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۲/۹۳	۰/۰۹۳
چهچهه	سرشاخه تا سد	۰/۰۱۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷	۰/۰۹۶	۰/۱۴۳	۰/۷۶۴	۰/۰۷۴	۰/۰۵۰	۰/۰۴۶	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۱۷	۵/۰۵	۰/۱۶۰
	سد تا مرز	۰/۰۳۶	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	۰/۰۷۷	۰/۱۲۰۳	۰/۷۶۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶	۲/۳۴	۰/۰۷۸

کمی‌سازی پروتکل مرزی مشترک میان ایران و ترکمنستان

علاوه بر نیاز زیست محیطی سدها، حقابه ترکمنستان نیز از پتانسیل آبی این محدوده باید مورد نظر قرار گیرد. بر این اساس و متناسب با برآورد آبدهی هرکدام از رودخانه‌ها در دوره هیدرولوژیک مشخص شده در این مطالعات، فرض شده که ۵۰ درصد منابع آب موجود باید به عنوان حقابه ترکمنستان، مورد نظر قرار گیرد. جدول (۴) مقادیر ماهانه حقابه ترکمنستان مبتنی بر شرایط آبدهی موجود و احتساب سهم ۵۰ درصدی آن را نشان می‌دهد.

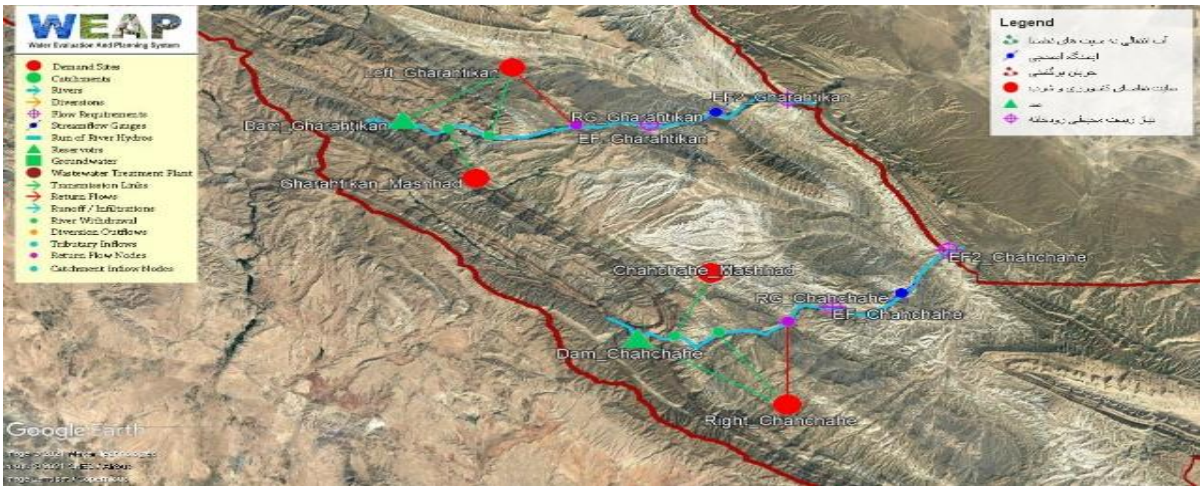
جدول ۴- متوسط ماهانه حقابه مرزی ترکمنستان در رودخانه‌های چهچهه و قره‌تیکان

نام سد	محل	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	حجم (MCM)	سالانه (m^3)
قره‌تیکان	سرشاخه تا سد	۰/۱۱۹	۰/۰۳۳	۰/۰۴۱	۰/۳۳۴	۰/۶۲۹	۰/۷۵۷	۰/۳۹۱	۰/۲۵۳	۰/۲۱۷	۰/۲۶۳	۰/۲۳۴	۰/۲۵۳	۹/۲۳	۰/۲۹۳
	سد تا مرز	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۷۵	۰/۲۱۵	۰/۳۸۵	۰/۳۵۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۹۵	۰/۰۷۵	۰/۰۵۵	۴/۸۸	۰/۱۵۵
چهچهه	سرشاخه تا سد	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۰/۰۲۹	۰/۱۶۱	۰/۵۸۰	۰/۷۸۰	۰/۴۱۸	۰/۲۸۹	۰/۳۱۸	۰/۳۰۲	۰/۲۰۱	۰/۰۸۷	۸/۴۲	۰/۲۶۷
	سد تا مرز	۰/۰۶	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۱۴۵	۰/۳۵۵	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۳۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۴۵	۴/۵۷	۰/۱۴۵

نتایج

ارزیابی سناریوها و نتایج مدیریت تخصیص منابع آب با استفاده از مدل WEAP

همان‌طور که اشاره گردید، مدل WEAP برای مدل‌سازی حوضه از یک ساختار شبکه گره – کمان استفاده می‌کند. در این طرح برای مدلسازی محدوده مورد مطالعه از گره‌های مختلف نظیر سایت‌های تقاضای شرب و کشاورزی، نیاز زیست محیطی، ایستگاه‌های آب‌سنجی وکمانهای مختلف شامل شبکه انتقال آب از منابع عرضه آب به سایت‌های تقاضا، شبکه برگشت آب، بازه‌های مختلف رودخانه استفاده شده است. شکل (۴) اجزای مدل را به صورت شماتیک در حوضه مورد مطالعه در محیط گوگل ارث نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر سال ۱۹۹۷ میلادی (۷۶-۱۳۷۵) به عنوان سال پایه انتخاب شد و دوره آماری ۲۴ ساله برای انجام شبیه‌سازی‌ها، یعنی ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ انتخاب گردید. لازم به ذکر است، شروع سال آبی از ماه اکتبر به مدل معرفی گردید. بنابراین ورود اطلاعات در سال پایه از اکتبر ۱۹۹۶ تا سپتامبر ۱۹۹۷ خواهد بود. لذا دبی رودخانه‌های چهچهه و قره تیکان؛ که در ایستگاه‌هایی با همین نام ثبت شده است، همراه با سایر اطلاعات مطابق با فرمت مورد نیاز مدل به آن معرفی گردید.



شکل ۴- شماتیک اجزای مدل در محیط گوگل‌ارث

یکی از معیارهای سنجش نتایج بدست آمده در هر یک از سناریوها، جواب‌های مربوط به سناریوی وضع موجود است. در این سناریو راندمان آبیاری اراضی کشاورزی ۳۰ درصد و سطوح زیرکشت و سایت‌های نیاز مطابق موارد ارائه‌شده در بخش‌های قبل می‌باشد. همچنین در این سناریو انتقال آب از دو رودخانه مورد بررسی درنظر گرفته نشده است. در این مورد سناریو نیازهای زیست محیطی و حقابه محاسبه شده از سد تا خروجی به‌عنوان سناریو مرجع (Reference) درنظر گرفته شد.

جدول ۵- سناریوهای شبیه‌سازی تخصیص آب در محدوده مورد مطالعه

شماره سناریو	نام سناریو	توضیحات
S1	مرجع	در این سناریو که حالت مرجع مدلسازی می‌باشد، نیاز زیست‌محیطی و حقابه مرزی مشترک از محل سد تا خروجی محاسبه و وارد مدل شبیه‌سازی شده است.
S2	خط انتقال آب	در این سناریو، که بازتولیدی از حالت مرجع می‌باشد، گره نیاز آب شرب شهر مشهد از محل دو سد چهچهه و قره‌تیکان وارد مدلسازی شده است.
S3	توسعه کشاورزی	در این سناریو، باتوجه به شرایط محدوده مطالعاتی و برنامه‌های توسعه آتی، افزایش ۲۰ درصدی نیاز کشاوزی از طریق توسعه سطح زیرکشت توامان با خط انتقال آب شبیه‌سازی می‌شود.

بنابراین سایر سناریوها مطابق با سناریو مرجع تولید گردید. در جدول (۵) جزئیات هرکدام از سناریوها ارائه شده است. لازم بذکر است، بررسی نتایج هرکدام از سناریوها به تفکیک پیش و پس از بهره‌برداری از دو سد قره‌تیکان و چهچهه صورت گرفته است.

همچنین مطابق آخرین مصوبات در خصوص تخصیص و ظرفیت، حجم متوسط سالانه آب قابل انتقال از منابع آبی هزار مسجد در محل طرح‌های سد قره‌تیکان و چهچهه به ترتیب برابر ۳ و ۲ میلیون مترمکعب درنظر گرفته شده است. همچنین لازم بذکر است به‌دلیل عدم توسعه صنعت در محدوده موردمطالعه در دوره زمانی مورد بررسی این

تحقیق، گره نیاز آن نیز درنظر گرفته نشده است. لذا عدم درنظرگرفتن نیاز این بخش ممکن است بر حجم قابل انتقال از سدهای فوق‌الذکر را تحت تاثیر قرار داده و مقداری از حداکثر میزان اعلام شده فراتر رود. به‌عبارت دیگر، افزایش سهم آب قابل انتقال بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی را می‌توان به عدم درنظرگرفتن گره نیاز آب صنعت ربط داده شود. در این راستا، نتایج هرکدام از سناریوها، مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

نتایج مربوط به سناریو شماره ۱

در این سناریو ادامه وضع موجود بدون هیچ گونه اعمال مدیریت در عرضه و تقاضای آب است شکل (۵) و جدول (۶). همان‌طور که در اشکال (۵) مشاهده می‌گردد، میزان جریانات ورودی یا تامین نیازهای پایین‌دست سد چهچهه و قره‌تیکان در بازه‌های زمانی پیش و پس از ساخت سد متفاوت از یکدیگر بدست آمده است. به‌عبارت دیگر، پس از ساخت سد تامین نیاز اراضی کشاورزی پایین دست که دارای نیاز ۳/۵ و ۴/۱ میلیون مترمکعب در سال (به ترتیب برای چهچهه و قره‌تیکان) می‌باشد، با درصد بیشتری تامین شده است. علت آن نیز مربوط به ماهیت کارکرد سد در ذخیره آب در بازه‌های ترسالی و رهاسازی آن در دوران خشکسالی می‌باشد. مطابق با جدول (۵) نیز مشاهده می‌گردد، تامین نیاز زیست‌محیطی رودخانه و همچنین پروتکل مشترک مرزی در شرایط پیش و پس از احداث مخازن چهچهه و قره‌تیکان، تفاوت محسوسی با یکدیگر دارند. در برخی موارد ملاحظه می‌گردد که با احداث سد درصد تامین نیازهای فوق بیشتر نیز شده است. از سویی دیگر مشخص است که احداث سد بر روی رودخانه تاثیر منفی بر تامین جریان‌های زیست‌محیطی و پروتکل مرزی مشترک نداشته است.

نتایج مربوط به سناریو شماره ۲

سناریو شماره ۲ با درنظرگیری خط انتقال آب شرب مشهد از دو سد چهچهه و قره‌تیکان شبیه‌سازی می‌گردد. در مدل لازم است با درنظرگرفتن گره شرب برای هر دو سد، میزان نیاز مشخص نیز برای آن وارد شود. برای هر دو سد یک گره نیاز شرب با نیاز اولیه سالانه ۱۰ میلیون مترمکعب در نظرگرفته شد. البته همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید حجم متوسط سالانه آب قابل انتقال از منابع سد قره‌تیکان و چهچهه به ترتیب برابر ۳ و ۲ میلیون مترمکعب می‌باشد. بنابراین اعمال نیاز ۱۰ میلیون مترمکعبی برای این گره صرفا جهت ارزیابی افزایش حجم آب قابل انتقال می‌باشد. نتایج مربوط به این سناریو در شکل (۷) و جدول (۶) ارائه شده است.

مطابق با شکل (۶) تامین نیاز کشاورزی محدوده رودخانه چهچهه در سال‌های پیش و پس از بهره‌برداری از سد در سناریو شماره ۲ به لحاظ قابل قبولی تامین شده است. در برش زمانی ماهانه، پیش از بهره‌برداری از سد، متوسط حدود ۶۰ درصد و پس از بهره‌برداری از سد، متوسط حدود ۸۰ درصد از نیازهای این گره تامین شده است. در خصوص محدوده سد قره‌تیکان نیز پیش از بهره‌برداری از سد، متوسط حدود ۷۱ درصد و پس از بهره‌برداری از سد، متوسط حدود ۷۶ درصد از نیازهای این گره تامین شده است. درصد قابل قبولی از نیاز زیست‌محیطی و حقابه‌های مرزی هر دو رودخانه در برش‌های زمانی پیش و پس از بهره‌برداری از سدها در سناریو شماره ۲ تامین شده است (مقایسه با جدول ۳ و ۴). به عبارت دیگر، پیش از بهره‌برداری سدها به‌ترتیب حدود ۷۵، ۹۱، ۷۲ و ۸۷ درصد نیاز زیست‌محیطی چهچهه، قره‌تیکان، حقابه مرزی چهچهه و قره‌تیکان تامین شده است. این مقادیر پس از بهره‌برداری از سدها به ترتیب حدود ۸۴، ۸۱، ۸۳ و ۷۹ درصد شبیه‌سازی شده است.

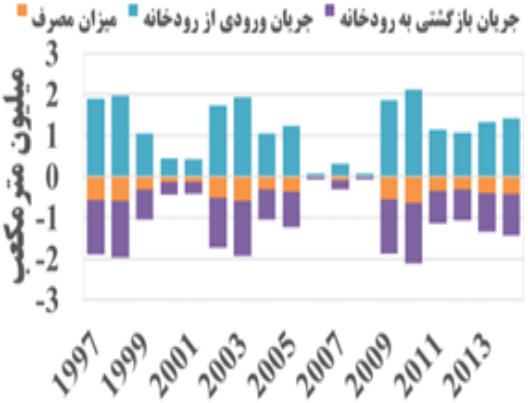
نتایج مربوط به سناریو شماره ۳

در این سناریو، به بررسی اثر نیاز آبی اراضی کشاورزی پایین‌دست سدهای مورد مطالعه این طرح بر سایر نیازهای تعریف شده از جمله زیست‌محیطی، حقابه‌های مرزی و خط انتقال آب شرب مشهد می‌باشد. همان‌طور که در قسمت‌های پیشین بدان اشاره گردید، میزان نیاز آبی سالیانه اراضی کشاورزی رودخانه‌های چهچهه و قره‌تیکان برابر با ۳/۴۸ و ۴/۰۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. در این سناریو فرض می‌گردد، ۲۰ درصد از نیاز آبی تعریف شده برای گره‌های کشاورزی، افزایش یابد. به عبارت دیگر، هدف از این سناریو، تاثیر افزایش تامین نیاز کشاورزی بر میزان تخصیصی خط انتقال آب شرب مشهد از دو سد مورد مطالعه می‌باشد. در این راستا، با توضیحات ارائه‌شده، سعی می‌گردد در ادامه مشابه قسمت‌های قبل به ارائه نتایج حاصل از شبیه‌سازی در این سناریو پرداخته شود. بدین منظور نتایج مربوط به این سناریو، در جدول (۸) و شکل (۷) ارائه شده است.

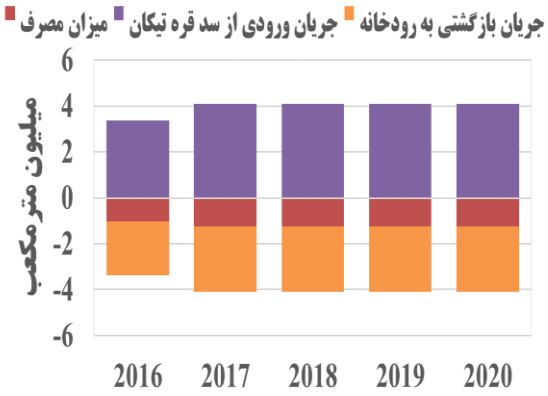
مطابق با نتایج ارائه‌شده در فوق، ملاحظه می‌گردد میزان جریانات ورودی در اثر افزایش نیاز کشاورزی نسبت به سناریوهای پیشین افزایش یافته است. از سوی دیگر، متوسط درصد تامین نیاز کشاورزی چهچهه و قره‌تیکان پیش از بهره‌برداری از سدها در سناریو شماره ۳ به ترتیب حدود ۶۰ و ۷۰ درصد می‌باشد. همچنین این مقادیر برای دوره زمانی پس از بهره‌برداری از سدها به ترتیب برابر با ۷۰ و ۷۵ درصد می‌باشد. نتایج مربوط به تغییرات نیازهای زیست‌محیطی و حقابه‌های مرزی مشابه با سناریو قبل بوده و جهت عدم تکرار نتایج، ارائه نمی‌گردد. یکی از علل این اتفاق، اولویت تامین بالاتر آن‌ها نسبت به سایر نیازها می‌باشد.

از سویی دیگر، مطابق با انتظار، در این سناریو، میزان آب تحویلی به خطوط انتقال آب شرب از هر دو سد، هم به لحاظ میانگین و هم جمع مقادیر، در هر دو برش زمانی بررسی شده، نسبت به سناریو شماره پیشین کاهش یافته است. به عبارت دیگر، افزایش تامین نیاز کشاورزی سبب کاهش حجم آب تحویلی به خطوط انتقال آب شده است. بنابراین در صورتی‌که در سالهای ترسالی، اقدام به افزایش بارگذاری سدهای مورد مطالعه گردد و نیاز کشاورزی صرفا به میزان ۲۰ درصد در جهت توسعه سطح زیرکشت، افزایش پیدا کند، جریان تحویلی به خط انتقال شرب چهچهه–مشهد و خط انتقال قره تیکان مشهد به ترتیب ۱۷ و ۱۱ درصد نسبت به سناریوی سوم کاهش می‌یابد. بنابراین باید در نظر داشت تا در طی سال‌های ترسالی نیز هیچگونه بارگذاری اضافی نسبت به سناریوی ۳ درنظر گرفته نشود تا تامین پایدار آب شرب شهر مشهد از طریق دو سد، صورت گیرد.

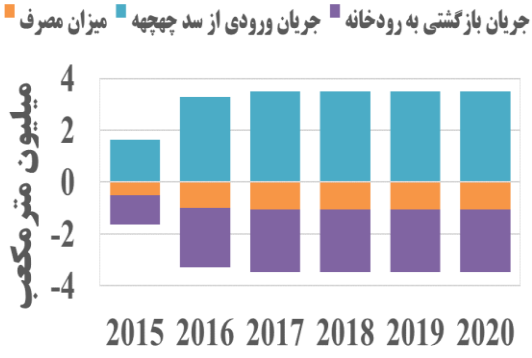
از سویی دیگر، مطابق با جدول (۷) ملاحظه می‌گردد که متوسط حجم تحویلی توسط هر دو سد به محل خط انتقال آب، در محدوده حجم قابل انتقال می‌باشد. به‌عبارت دیگر، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، انتقال آب در این سناریو مطابق با حدآستانه ذکر شده عملی و امکان‌پذیر می‌باشد. لازم بذکر است، سال بهره‌برداری سدهای چهچهه و قره‌تیکان به ترتیب ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ می‌باشد.



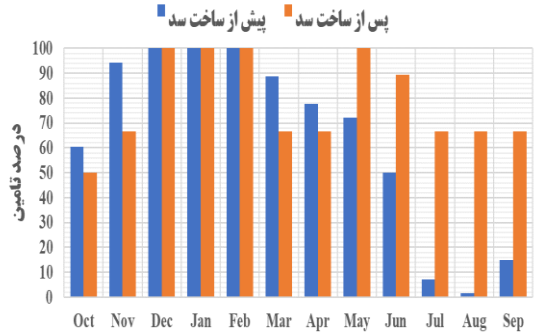
(الف) جریانات گره کشاورزی چهچهه پیش از ساخت سد



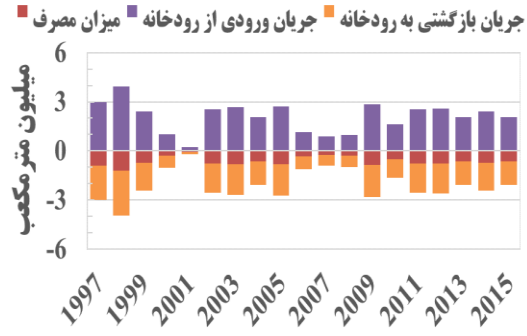
(ب) جریانات گره کشاورزی قره‌تیکان پس از ساخت سد



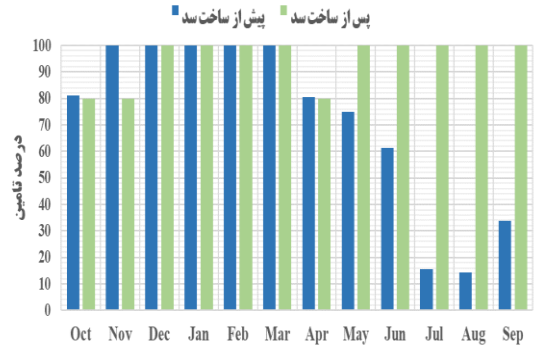
(ج) جریانات گره کشاورزی چهچهه پس از ساخت سد



(د) مقایسه درصد تامین نیاز کشاورزی چهچهه پیش و پس از احداث سد



(ه) جریانات گره کشاورزی قره‌تیکان پیش از ساخت سد

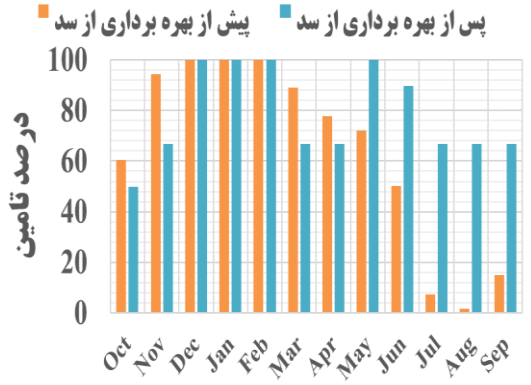


(و) مقایسه درصد تامین نیاز کشاورزی قره تیکان پیش و پس از احداث سد

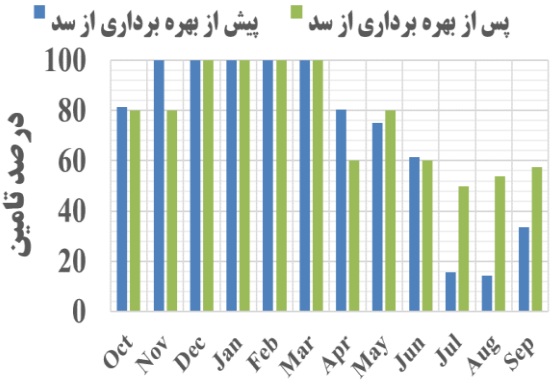
شکل ۵- تغییرات تخصیص آب و شاخص تامین‌شدگی آن در گره کشاورزی سدهای مورد مطالعه به تفکیک پیش و پس از احداث سد در سناریو شماره ۱

جدول ۶- درصد تامین حقابه زیست محیطی و پروتکل مرزی به تفکیک احداث سد در سناریو شماره ۱

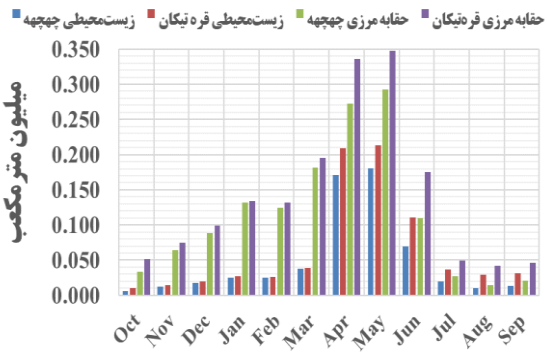
ماه	نیاز زیست محیطی رودخانه				حقابه مرزی مشترک میان ایران و ترکمنستان			
	قبل از سد چهچهه	پس از سد چهچهه	پیش از سد قره‌تیکان	پس از سد قره‌تیکان	قبل از سد چهچهه	پس از سد چهچهه	پیش از سد قره‌تیکان	پس از سد قره‌تیکان
Oct	۸۳/۳	۷۰/۲۲	۹۴/۷۳	۸۰/۵۰	۷۸/۷۵	۶۷/۲۹	۹۰/۷۲	۸۰/۱۰
Nov	۱۰۰	۶۹/۸۱	۱۰۰	۸۰/۶۳	۹۶/۵۰	۶۷/۲۵	۱۰۰	۸۰/۱۲
Dec	۱۰۰	۶۹/۹۵	۱۰۰	۸۰/۲۶	۱۰۰	۶۷/۳۲	۱۰۰	۸۰/۰۵
Jan	۱۰۰	۶۸/۷۳	۱۰۰	۸۰/۱۱	۱۰۰	۶۷/۰۶	۱۰۰	۸۰/۰۲
Feb	۱۰۰	۶۷/۹۸	۱۰۰	۸۰/۴۳	۱۰۰	۶۶/۹۳	۱۰۰	۸۰/۰۸
Mar	۱۰۰	۶۷/۵۵	۱۰۰	۸۰/۲۳	۹۸/۰۱	۶۶/۸۴	۱۰۰	۸۰/۰۴
Apr	۹۱/۸۱	۸۳/۴۳	۹۸/۱۳	۸۰/۱۶	۸۷/۳۹	۸۳/۳۹	۹۴/۵۸	۸۰/۰۹
May	۸۱/۱۶	۱۰۰	۸۹/۱۶	۱۰۰	۷۸/۷۰	۱۰۰	۸۷/۱۷	۱۰۰
Jun	۷۷/۱۲	۱۰۰	۸۵/۷۱	۱۰۰	۷۴	۱۰۰	۸۱/۲۹	۱۰۰
Jul	۳۸/۸۸	۱۰۰	۷۸/۸۰	۱۰۰	۳۲/۳۲	۱۰۰	۶۴/۰۵	۱۰۰
Aug	۱۹/۴۴	۸۴/۰۳	۷۳/۹۶	۱۰۰	۱۷/۸۴	۸۳/۷۵	۶۲/۷۳	۱۰۰
Sep	۳۸/۸۸	۸۴/۰۱	۸۰/۳۴	۱۰۰	۳۶/۷۱	۸۳/۷۴	۷۰/۹۴	۱۰۰



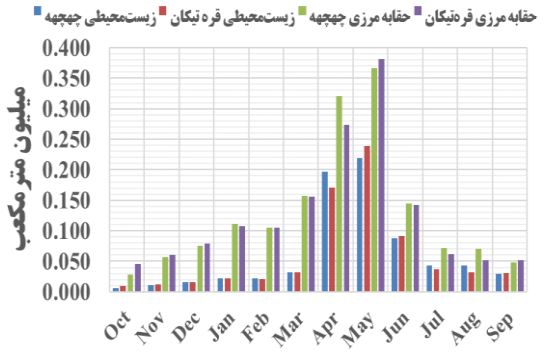
(الف) درصد تامین نیاز کشاورزی چهچهه پیش و پس از احداث سد



(ب) درصد تامین نیاز کشاورزی قره‌تیکان پیش و پس از احداث سد



(ج) میزان حجم جریان تامین شده حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌ها و پروتکل مرزی مشترک پیش از احداث سدها



(د) میزان حجم جریان تامین شده حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌ها و پروتکل مرزی مشترک پس از احداث سدها

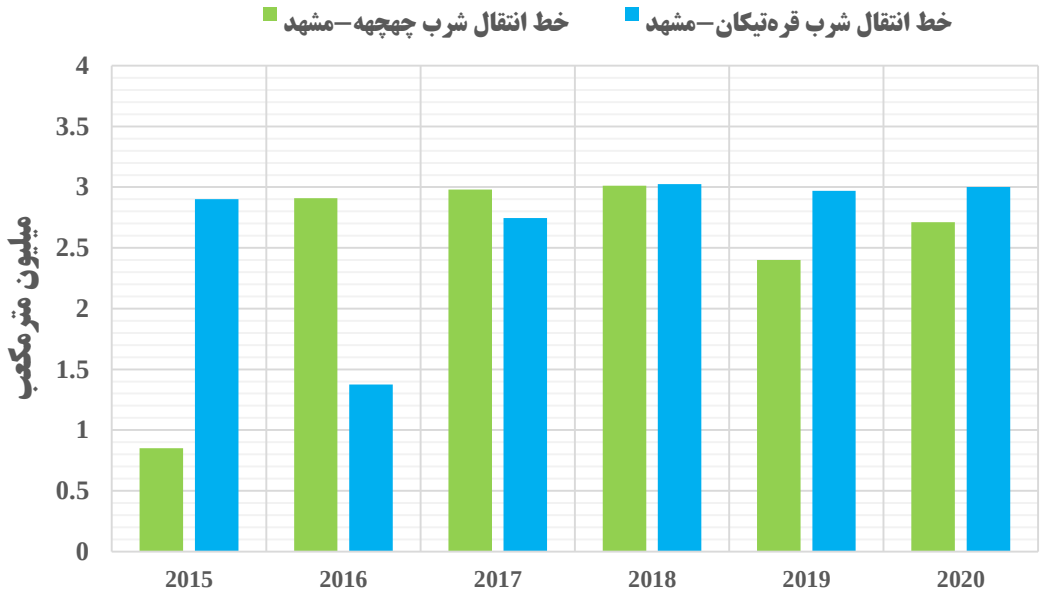
شکل۶- تغییرات تخصیص گره کشاورزی و حجم جریان تامین شده نیاز زیست‌محیطی و پروتکل مرزی در سناریو

جدول ۷- مقادیر آب تحویلی به خط انتقال آب شرب مشهد در سناریو شماره ۲

سال	حجم تحویلی به خط انتقال شرب چهچهه-مشهد (میلیون مترمکعب)	حجم تحویلی به خط انتقال شرب قره‌تیکان-مشهد (میلیون مترمکعب)
۲۰۱۵	۰/۸۴	۳/۵۰
۲۰۱۶	۳/۴۸	۱/۵۵
۲۰۱۷	۳/۴۹	۲/۸۸
۲۰۱۸	۳/۰۹	۳/۱۲
۲۰۱۹	۳/۵۰	۳/۵۰
۲۰۲۰	۳/۴۹	۳/۴۸
متوسط	۲/۹۸	۳

جدول ۸- مقادیر جریانات ورودی و خروجی به گره کشاورزی چهچهه و قره‌تیکان در سناریو۳

وضعیت	سال	ورودی از رودخانه چچهچه (MCM)	ورودی از رودخانه قره‌تیکان (MCM)	میزان مصرف کل از دو رودخانه (MCM)	بازگشتی به رودخانه چهچهه (MCM)	بازگشتی به رودخانه قره‌تیکان (MCM)
پیش از بهره‌برداری از سدها	۱۹۹۷	۱/۸۹	۲/۹۷	۱/۴۶	۱/۳۲	۲/۰۸
	۱۹۹۸	۲/۲۹	۴/۷۲	۲/۱	۱/۶۰	۳/۳۱
	۱۹۹۹	۱/۲۶	۲/۷۳	۱/۱۹	۰/۸۸	۱/۹۱
	۲۰۰۰	۰/۵۲	۱/۱۷	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۸۱
	۲۰۰۱	۰/۴۸	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۱۸
	۲۰۰۲	۲/۰۳	۳	۱/۵۱	۱/۴۲	۲/۱
	۲۰۰۳	۲/۲۶	۳/۱۶	۱/۶۲	۱/۵۸	۲/۲۱
	۲۰۰۴	۱/۲۶	۲/۴۱	۱/۱۰	۰/۸۸	۱/۶۸
	۲۰۰۵	۱/۴۲	۳/۲۰	۱/۳۸	۰/۹۹	۲/۲۴
	۲۰۰۶	۰/۰۸	۱/۲۹	۰/۴۱	۰/۰۵	۰/۹
	۲۰۰۷	۰/۳۷	۱	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۷۰
	۲۰۰۸	۰/۰۷	۱/۱۸	۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۸۳
	۲۰۰۹	۲/۱۵	۳/۳۵	۱/۶۵	۱/۵۱	۲/۳۴
	۲۰۱۰	۲/۵۳	۱/۷۹	۱/۳۰	۱/۷۷	۱/۲۵
	۲۰۱۱	۱/۳۱	۲/۸۸	۱/۲۵	۰/۹۱	۲/۰۱
	۲۰۱۲	۱/۲۳	۳/۰۷	۱/۲۹	۰/۸۶	۲/۱۵
	۲۰۱۳	۱/۴۸	۲/۱۷	۱/۰۹	۱/۰۳	۱/۵۲
	۲۰۱۴	۱/۶۸	۲/۸۵	۱/۳۶	۱/۱۷	۲
پس از بهره‌برداری از سدها	۲۰۱۵	۱/۰۶	عدم بهره‌برداری	۱/۰۳	۰/۷۴	۱/۶۶
	۲۰۱۶	۳/۹۵	۲/۰۹	۱/۸۱	۲/۷۶	۱/۴۶
	۲۰۱۷	۳/۶۴	۱/۷۲	۱/۶۱	۲/۵۵	۱/۲۱
	۲۰۱۸	۱/۰۴	۱/۳۶	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۹۵
	۲۰۱۹	۴/۰۴	۴/۹۲	۲/۶۸	۲/۸۲	۳/۴۴
	۲۰۲۰	۴/۱۹	۴/۹۲	۲/۷۳	۲/۹۳	۳/۴۴



شکل۷- میزان آب تحویل داده شده به خط انتقال آب شرب مشهد در سناریو شماره ۳

بحث و نتیجه‌گیری

موضوع احداث سد بر روی رودخانه هریرود در کشور افغانستان نیز از چالش‌های بسیار مهم برای تامین آب شرب مشهد تلقی می‌شود. در این راستا، یکی از راه‌های پیشنهادی برای جبران بخشی از کسری آب مورد نیاز شرب و بهداشت شهر مشهد، انتقال آب از منابع آب‌های سطحی حوضه‌آبریز قره قوم واقع در یال شمالی کوه‌های هزار مسجد است. به‌عنوان بخشی از مهم‌ترین این طرح‌ها، طرح انتقال آب از سدهای چهچهه و قره‌تیکان با احداث سازه‌های آبگیر در پایین‌دست این سدها و انتقال آب به سمت تونل انتقال آب سد دوستی و سپس شهر مشهد می‌باشد. بدین‌منظور، در این مطالعه ابتدا به ارزیابی تغییرات تخصیص آب از محل این دو سد با درنظرگرفتن نیازهای شرب، کشاورزی، زیست‌محطی و معاهده آبی میان ایران و ترکمنستان با استفاده از مدل تخصیص آب WEAP پرداخته خواهد شد. سپس در مرحله دوم ارزیابی تامین نیازهای فوق‌الذکر با استفاده از درصد تامین‌شدگی مورد بررسی قرار گرفت.

مطابق با نتایج بدست آمده از این تحقیق تحت سناریوهای مورد بررسی و دو برش زمانی پیش و پس از بهره‌برداری از سدها، تامین نیازهای کشاورزی، زیست‌محیطی، پروتکل مرزی و خط انتقال آب شرب به خوبی انجام شده است. همچنین متوسط حجم تحویلی توسط هر دو سد به محل خط انتقال آب، در محدوده حجم قابل انتقال می‌باشد. به‌عبارت دیگر، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، انتقال آب مطابق با حدآستانه حجم قابل انتقال عملی و امکان‌پذیر می‌باشد.

از سویی دیگر، در سناریو شماره ۳ (اعمال خط انتقال و افزایش ۲۰ درصدی نیاز کشاورزی) آب تحویلی به خطوط انتقال آب شرب از هر دو سد کاهش داشته است. بنابراین در صورتی‌که در سال‌های ترسالی، اقدام به افزایش بارگذاری گردد و نیاز کشاورزی صرفا به میزان ۲۰ درصد در جهت توسعه سطح زیرکشت، افزایش پیدا کند، جریان تحویلی به خط انتقال شرب چهچهه–مشهد و خط انتقال قره تیکان مشهد به ترتیب ۱۷ و ۱۱ درصد نسبت شرایط موجود کاهش می‌یابد. بنابراین باید در نظر داشت تا در طی سال‌های ترسالی نیز هیچونه بارگذاری اضافی نسبت شرایط موجود درنظر گرفته نشود تا تامین پایدار آب شرب شهر مشهد از طریق دو سد، صورت گیرد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: محمدرضا زاغیان، روزبه آقامجیدی؛
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: محمدحسین احمدی، محمدرضا زاغیان، روزبه آقامجیدی، غلامرضا سعیدی فر ؛
نظارت و نگارش نهایی: محمدحسین احمدی.

تعارض منافع

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

References

1 Notter, B., Hurni, H., Wiesmann, U., & Abbaspour, K. C. 2012. Modelling water provision as an ecosystem service in a large East African river basin. Hydrology and Earth System Sciences, 16(1): 69–86.

2 Arnell, N. W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change, 14(1): 31–52.

3 Fu, J., Zhong, P.A., Xu, B., Zhu, F., Chen, J., & Li, J. 2021. Comparison of Transboundary Water Resources Allocation Models Based on Game Theory and Multi-Objective Optimization. Water, 13(10): 14-21.

4 Davies, B.R., Thoms, M., & Meador, M. 1992. An assessment of the ecological impacts of inter basin water transfers, and their threats to river basin integrity and conservation. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2(4): 325–349.

5 Gupta, J., & van der Zaag, P. 2008. Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 33(1–2): 28–40.

6 Mwangi, O. 2007. Hydro politics, ecocide and human security in Lesotho: a case study of the Lesotho Highlands Water project. Journal of Southern African Studies, 33(1): 3–17.

7 Zeng, Q., Qin, L., & Li, X. 2015. The potential impact of an inter-basin water transfer project on nutrients (nitrogen and phosphorous) and chlorophyll a of the receiving water system. Science of the Total Environment, 536: 675–686.

8 Zhang, L., Li, S., Loáiciga, H. A., Zhuang, Y., & Du, Y. 2015. Opportunities and challenges of interbasin water transfers: a literature review with bibliometric analysis. Scientometrics, 105(1): 279–294.

9 Council, N. R. 2005. Water conservation, reuse, and recycling: proceedings of an Iranian-American workshop. National Academies Press.

10 Butler, B. A., & Ford, R. G. 2018. Evaluating Relationships between Total Dissolved Solids (TDS) and Total Suspended Solids (TSS) in a Mining-Influenced Watershed. Mine Water and the Environment, 37(1), 18–30.

11 Miller, O. L., Putman, A. L., Alder, J., Miller, M., Jones, D. K., & Wise, D. R. 2021. Changing climate drives future streamflow declines and challenges in meeting water demand across the southwestern United States. Journal of Hydrology X, 11, 100074.

12 Ahmadi M H, Yousefi H, Farzin S, Rajabpour R. 2018. Management of Water Resources and Demands in Mulla Sadra, Doroodzan and Sivand Dams Located in Bakhtegan-Maharlou Watershed. jwmseir. 12 (42):31-41. [In Persian]

13 Amini, A., Javan, M., Eghbalzadeh, A., Ghasemi, M. 2017. An Assessment of Water Resources Management using The WEAP Model in The Gamasyab Watershed, The Province of Kermanshah, Iran. Water Resources Engineering, 10(32): 13-18. [In Persian].

14 Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. 2005. WEAP21 A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1:

model characteristics. Water International, 30(4): 487–500.
15 Goshime, D. W., Haile, A. T., Rientjes, T., Absi, R., Ledésert, B., & Siegfried, T. 2021. Implications of water abstraction on the interconnected Central Rift Valley Lakes sub-basin of Ethiopia using WEAP. Journal of Hydrology: Regional Studies, 38, 100969.
16 Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., Mariño, M. A. 2005. Case study application of multicriteria decision making to urban water supply. Journal of Water Resources Planning and Management, 132, (4).
17 Davarpanah, A., Vahidnia, M. H. 2022. Optimal route finding of water transmission lines by comparing different MCDM methods and the least-cost path algorithm in a raster (Case study: from Ardak to Mashhad). Water Resources Engineering, 14(51): 39-56.
18 Ghandehari, A., davari, K., ghahraman, B. 2018. Risk Assessment of Mashhad Water Supply Projects and Priorities. Water Resources Engineering, 11(37): 71-86.
19 Moshfegh, A., Attari, J. 2019. Water resource planning based on the sovereignty doctrines in sharing of Transboundary water resources. Iran-Water Resources Research, 14(4): 80-91.
20 Nazari Mejdar, H., Moridi, A., Yazdi, J., KhazaiePoul, A. 2019. Sustainability Outlook of Domestic and Agricultural Demand of Dusti Dam Considering Climate change Scenarios and Impact of Salma Dam. Iran-Water Resources Research, 15(3): 17-32.
21 Mehrparvar, M., Ahmadi, A., & Safavi, H. R. 2020. Resolving water allocation conflicts using WEAP simulation model and non-cooperative game theory. Simulation, 96(1): 17–30.
22 Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A., & Moussavi, S. A. 2018. Water Resources Allocation Management in the Hablehroud Basin Using a Combination of the SWAT and WEAP Models. Iran-Water Resources Research, 14(3): 239–253.
23 Tennant, D. L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1(4): 6–10.