Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

Quantitative and qualitative modeling of the dynamic system of the multi-purpose dam reservoir using Vensim software by probabilistic simulation method

Somayeh Zarei Doudeji[1]✉, Rahim Bagheri[2], Hadi Jafari[3]

1. Assistant professor, hydrogeology and environmental geology group, Earth science faculty, Shahrood University of technology, Iran. E-mail: s.zarei@shahroodut.ac.ir
2. Associated professor, hydrogeology and environmental geology group, Earth science faculty, Shahrood University of technology, Iran. E-mail: rahim.bagheri86@gmail.com
3. Associated professor, hydrogeology and environmental geology group, Earth science faculty, Shahrood University of technology, Iran. E-mail: h_jafari@shahroodut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 24 April 2024
Received in revised form 27 June 2024
Accepted 27 June 2024

Keywords:
quantitative dam modeling, qualitative dam modeling, multipurpose dams, dynamic system, Vensim software.

ABSTRACT

Due to Iran's weather conditions and lack of water resources, dam construction projects are particularly important for the country's development and progress. Water resources management based on system dynamics is capable of simulating complex water resources systems. This model for the simulation of water resources has various capabilities, such as increasing the speed of model development, the possibility of group development of the model, effective communication of the results, and increasing confidence in the model through user participation. In this research, the model of the dynamic system of the multipurpose dam of Qamshek in Hormozgan province has been simulated using the probabilistic simulation method. The purpose of this modelling is to realize different needs of the dam (domestic, environmental, industrial and agricultural) before its construction and to check the quality conditions of the reservoir. The study of the results of the quantitative modelling was done after calculating the annual and monthly percentage of volumetric and temporal supply of different needs and their source of supply. The results show that the volumetric supply percentage of domestic, environmental, industrial and agricultural needs of the dam is 95.53, 95.02, 94.18 and 93.14% respectively, and the temporal supply percentage of domestic, environmental, industrial and agricultural needs is 95.19, 94.94, 93.67 and 92.91% respectively, which are all within the acceptable range of the Ministry of Energy. Qualitative modelling of the dam was carried out for the most pessimistic case with a discharge electrical conductivity of 3000 and a base discharge of 10000 micromos/cm, on the basis of which the maximum electrical conductivity of the reservoir was calculated to be 11900 micromos/cm. Based on this research, it was found that by modelling based on model evaluation indicators, including percentage of volume supply and percentage of time supply of different needs, it is easy to quantify the effect of exploitation and management policies on the way of determination and allocation. Observed the quality of water resources and made the most optimal decision.

Introduction

Water is the source of human life and its development and progress, and it plays a very important role in preparing the land, developing infrastructure, and maintaining, balancing and preserving the ecosystem and the environment. Considering the fact that in Iran we are mainly dependent on groundwater sources in many areas due to the lack or absence of permanent runoff, on the other hand, the occurrence of recent droughts has increased this dependence, the construction of dams and meeting some needs is very important. In the arid regions of Iran, dams, as the largest man-made structures

Cite this article: Zarei Doudeji, S., Bagheri, R., Jafari, H. (2024). Quantitative and qualitative modeling of the dynamic system of the multi-purpose dam reservoir using Vensim software by probabilistic simulation method. Journal of Engineering Geology, 18 (2), 214-240. https//doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019712

© The Author(s).
Publisher: Kharazmi University.
DOI: https//doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019712

and the largest artificial lakes, are one of the most important ways to access a large amount of fresh water, and the positive consequences of their construction are in various forms, including economic, industrial, agricultural prosperity or even development and social growth for the people of a region or a country or in some cases is on a wide range of several countries (Sterman, 2000). In addition, the construction of a dam without detailed preliminary studies can have negative effects such as failure to meet the drinking, industrial and agricultural needs of the region, the destruction of water quality in the dam's reservoir, or the environmental effects caused by the reduction or elimination of runoff downstream of the dam. (Sheikh Khozani et al, 2011). One of the powerful management tools that many have used in recent years to simulate complex water resource systems is the dynamic systems method. This method, which is a mental model and simulation method used to study the dynamic behavior of various complex systems in the fields of civil engineering, water resources and groundwater, is an object-oriented and feedback-based method. (Sterman, 2000). In fact, the system dynamics method pays attention to the dynamic relationships between the quantitative and qualitative characteristics of water and even socio-economic issues, and the desired system can be easily simulated without the need for complex mathematics (Sterman, 2000).

Materials and Methods

Study area

The geographical location of the study area is 52 57 24 to 54 01 44 east longitude, 27 50 03 50 to 42 49 27 north latitude. The total area of the study area is 3778 square kilometers, of which 1470 square kilometers are located in Mohr city (Fars province), 2248 square kilometres in Lamerd city (Fars province) and 60 square kilometers in Bastak city (Hormozgan province). The Kamshek dam site is located 3.6 km upstream of Kamshek village (Figure 1). This dam is actually located at the mouth of the Mehran River in Hormozgan Province and its catchment area is mainly in Fars Province. The geographical location of Kamshek center is at the coordinates of 196717 east longitude and 3000959 north latitude. In terms of climate, the study area is one of the hot and dry areas. The minimum height of the area is 344 meters, the maximum height is 2159 meters and the average height is 657 meters above sea level.

Model structure

The purpose of modelling in this research is to create and develop a simulation model to understand the quantitative and qualitative behavior of reservoir dams and their dynamics, and also to provide solutions to optimize their use. The purpose of this study is to investigate the way of using water resources and the quantitative and qualitative performance of Kamshek dam reservoir located in Hormozgan province and the catchment area of Kal and Mehran. The purpose of implementing the project is to store and control the flood of the river and transfer and distribute it for drinking, industrial and agricultural purposes in the region. In this research, the quantitative modelling of Kamshek Dam was done alone and then the qualitative model of Kamshek Dam was added to predict the performance of the dam. Finally, the quantitative and qualitative results of the dam were examined and evaluated .

Based on the available information, the discharge is available in a statistical period of 33 years (from 1366-1367 to 1400-1399), which was used in the calculations related to the qualitative-quantitative modelling of the water resources of Kamshek Dam. In this research, to determine the qualitative conditions of the reservoir were used from the modelling of the dynamic system of the dam reservoir as well as the mass balance. In this way, according to the flow chart in Figure 2, quantitative modelling of the dam was done based on the needs of drinking, environment, industry and agriculture in order, and it was validated. Cause-effect loops were then added to the quantitative modelling,

and quantitative-qualitative modelling was carried out based on qualitative data (total dissolved solids (TDS)) of base flow and direct runoff measured in the region.

A very important point in this modelling is that according to the problem that after the initial modelling the spill volume of the Kamshek dam is 17.4 million cubic meters and the environmental demand of the dam is 53.2 million cubic meters (average volume demand), it is not logical to release the water needed by the environment during the months of the year when the spill dam has as much or more water than the environment needs. Therefore, another cause-effect loop was added to the dam, the general flowchart of which is shown in Figure 3. According to Figure 3, the model checks every month whether the dam has an overflow or not; if it does not have an overflow, the same basic environmental demand calculated in Table 5 is considered as the environmental demand of the dam, and it should be released. If the dam has an overflow in that month, it is checked whether this overflow is equal to or greater than the environmental requirement of the dam in that month. If the spill is equal to or greater than the environmental demand of the dam in that month, the final environmental demand of the dam in that month is considered as zero in the model and the spill water is sufficient for the environment. In other words, the overflow of the dam provides the environmental demand of the dam. If there is an overflow of the dam in the month in question, but this overflow is not equal to or greater than the initial demand of the environment in that month, the final demand of the environment is considered to be the difference between the initial demand of the environment and the overflow of the dam in that month. In fact, in this case, part of the environmental needs of the dam are met by the reservoir and part by the spillway. Put simply, the aim is not to release excess water into the environment during the months when the dam has a high spillway.

Results and Discussion

In this research, a quantitative-qualitative modelling of the Kameshak Dam was carried out. The simulation of the dam was carried out in a statistical period of 33 years and with a monthly time step (in 396 months), the overview of which is shown in Figure 7 in the Vensim software. The priorities for water allocation in the dam are 1) drinking, 2) environmental, 3) industrial and 4) agricultural. The left part of this figure shows the causal-impairment loops for quantitative dam modelling (in blue color) and the right part of the figure shows the causal-impairment loops for qualitative dam modelling (in red color).

Tables 4 to 7 show the monthly and annual averages of water demand, supply and shortage for the drinking, environmental, industrial and agricultural uses of the reservoir. As can be seen from Tables 4 to 7, the drinking water of the reservoir is fully supplied in the months of December, January, February, March and April and there is no shortage. In the other months of the year, there is a shortage of drinking water, with the largest shortages occurring in July and September, amounting to 8,000 cubic meters. According to Table 5, in the months of December, January, February, March and April there was no shortage of environmental water, and the biggest shortage was in July, which was 12,000 cubic meters. In addition, as can be seen in this table and according to the high overflow volume of this dam, based on modelling, it was determined that in the months when the dam overflows and the volume of the dam overflow is greater than or equal to the environmental needs, another environmental water from the dam It should not be released and in the months when the overflow from the dam is less than the volume required by the environment of the region, the difference between the overflow volume and the environmental demand is provided from the reservoir of the dam, and in other months when the dam has no overflow, the entire environmental demand is provided from the volume of the reservoir of the dam. Therefore, according to Table 5, in the months of

December, January, February and March, the reservoir of the dam contributes to the environmental demand of the dam, and in other months, the overflow of the dam alone provides the environmental demand of the dam. Tables 6 and 7 show that in the months of February, March and April there is no shortage of water from the reservoir to meet the needs of industry and agriculture respectively.

Figure 8 shows the monthly average percentage of the reservoir's volume supply for drinking water, environment, industry and agriculture. As can be seen, in the months of January, February and March, the reservoir is able to meet all needs one hundred percent. In addition, the lowest percentages of supply are drinking water in Tir and Shahrivar, environmental water in Tir, industrial water in Mehr, Tir and Shahrivar, and agricultural water in Shahrivar. Therefore, July is the most critical month for the dam in terms of meeting drinking, environmental and industrial needs. Figure 9 shows the average monthly volume of environmental demand and the volume provided for this demand by the spillway and reservoir of the dam. As can be seen, during the months of Mehr, Khordad and Shahrivar, all the water required by the environment is supplied from the reservoir of the dam, as the dam does not have an overflow. In other months of the year, the spillway of the dam also contributes to meeting the needs of the environment, the largest amount of which is provided in the months of February and January. The figures also show that in the months of July, April and September the most water is taken from the reservoir to meet environmental needs. Figure 10 shows the monthly average volume of outflow, overflow and storage for the whole dam. According to this figure, the highest amount of runoff from the dam is in February with 8.27 million cubic meters and the lowest amount is in June with 0.35 million cubic metres. Also, the highest amount of supply from the dam is in April with 0.96 million cubic meters and the lowest amount is in March with 0.66 million cubic meters. The monthly average spill in this figure shows that the highest spill is in the month of February with the amount of 4.5 million cubic meters, and the lowest amount is in Mehr, Khordad, Tir and Shahrivar.

Figure 11 shows the average monthly volume of the reservoir (in million cubic meters) and its electrical conductivity (in micromouse/cm) over the 33-year statistical period. As can be seen, in the months when the reservoir volume of the dam increases, its electrical conductivity decreases and in the months when the reservoir volume decreases, its electrical conductivity increases. Figure 12 shows the monthly average of reservoir volume and dam spill in a million cubic meters over the 33-year period. As can be seen, the dam overflows in the months of the year when the reservoir volume of the dam is equal to its normal level (volume of 11.23 million cubic meters) and there is no overflow in other months. Based on this, during the 33-year statistical period (396 months), the dam overflows in 80 months and there is no overflow in the other months. Figure 13 shows the monthly average volume and electrical conductivity of the reservoir of the dam. As can be seen, the reservoir has the highest volume in the months of February, March and April, and the reservoir has the lowest electrical conductivity in the months of March, April and May. Based on the qualitative simulation, the maximum electrical conductivity of the reservoir is 11900 micromos/cm and its minimum value is 3157 micromos/cm.

Conclusions

Kamshek dam is located 3.6 km upstream of Kamshek village with normal volume, which is at the entrance of Mehran river to Hormozgan province and its catchment area is mainly in Fars province. In terms of climate, the study area is one of the hot and dry areas. The minimum elevation of the area is 344 meters, the maximum elevation is 2159 meters and the average elevation is 657 meters above sea level. The water requirements of the dam are 1) drinking, 2) environmental, 3) industrial and 4)

agricultural. Due to the fact that this dam is under construction, the actual reservoir volume information was not available to evaluate and validate the model, so the modelling was done using the probabilistic simulation method. Based on this, the volume supply rate of the dam for drinking, environmental, industrial and agricultural needs is 95.53%, 95.02%, 94.18% and 93.14%, respectively, and the time supply rate for drinking, environmental, industrial and agricultural needs is 95.19%, 94.94%, 93.67% and 92.91%, respectively, which are all within the acceptable range of the Ministry of Energy based on the Ministry of Energy's allocation system 2. In this study, the qualitative modelling of the reservoir of the dam was simulated by considering the base discharge of 10000 (in the most pessimistic case possible, due to the presence of numerous salt domes and very high evaporation volume) and the runoff of 3000 microms/cm. The maximum electrical conductivity of the reservoir was calculated to be 11,900 microms/cm. Considering that the underground water in the area has an average electrical conductivity of 7000 micromos/cm and that there is a severe water shortage in the area, it is still economical for the industries in the area to use dam water of this quality (in the most pessimistic way) and to sweeten it.

دسترسی آزاد
شاپا الکترونیکی ۲۹۸۱-۱۶۰۰

نشریه زمین شناسی مهندسی

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

دانشگاه خوارزمی

مدل سازی کمی و کیفی سیستم پویای مخزن سد چند منظوره با استفاده از نرم‌افزار Vensim به روش شبیه‌سازی احتمالی

سمیه زارعی دودجی[1]✉، رحیم باقری[2]، هادی جعفری[3]

۱. استادیار، گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه:s.zarei@shahroodut.ac.ir
۲. دانشیار، گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه:rahim.bagheri86@gmail.com
۳. دانشیار، گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه:h_jafari@shahroodut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷

کلیدواژه‌ها:
مدل‌سازی کمی سد، مدل‌سازی کیفی سد، سدهای چند منظوره، سیستم پویا ، نرم‌افزار Vensim

چکیده

بر اساس شرایط آب و هوایی ایران و کمبود منابع آبی، طرح‌های سدسازی اهمیت ویژه‌ای در توسعه و پیشرفت کشور دارند. مدیریت منابع آبی بر اساس پویایی سیستم‌ها قادر است سیستم‌های پیچیده منابع آب را شبیه‌سازی نماید. این مدل در شبیه‌سازی منابع آب دارای قابلیت‌های مختلف از قبیل افزایش سرعت در توسعه مدل، قابلیت توسعه گروهی مدل، ارتباط مؤثر با نتایج و افزایش اعتماد به مدل در اثر مشارکت کاربر می‌باشد. در این تحقیق مدل سیستم پویای سد چند منظوره کمشک واقع در استان هرمزگان به روش شبیه‌سازی احتمالی، شبیه‌سازی شده است. هدف از این مدل‌سازی تحقق نیازهای مختلف از سد (شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی) پیش از ساخت آن و بررسی شرایط کیفی مخزن می‌باشد. مطالعه نتایج مدلسازی کمی پس از محاسبه درصد سالانه و ماهانه تأمین حجمی و زمانی نیازهای مختلف و منبع تأمین آن‌ها انجام گرفت. نتایج حاکی از آن است که درصد تأمین حجمی نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی سد به ترتیب ۹۵/۵۳، ۹۵/۰۲، ۹۴/۱۸ و ۹۳/۱۴ درصد می‌باشد و درصد تأمین زمانی نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی به ترتیب ۹۵/۱۹، ۹۴/۹۴، ۹۳/۶۷ و ۹۲/۹۱ درصد می‌باشد که همگی در محدوده قابل قبول وزارت نیرو می‌باشند. مدلسازی کیفی سد برای بدبینانه‌ترین حالت ممکن با هدایت الکتریکی رواناب ۳۰۰۰ و دبی پایه ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر انجام گردید که بر این اساس حداکثر هدایت الکتریکی مخزن ۱۱۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر محاسبه گردید. بر اساس این پژوهش مشخص گردید، با مدل‌سازی بر اساس شاخص‌های ارزیابی مدل شامل درصد تأمین حجمی و درصد تأمین زمانی نیازهای مختلف، به راحتی می‌توان اثر سیاست‌های بهره‌برداری و مدیریتی را بر نحوه تعیین و تخصیص کمی، کیفی منابع آب مشاهده و بهینه ترین تصمیم را اتخاذ نمود.

مقدمه

آب مایه حیات انسان و تکامل و پیشرفت آن است و نقش بسیار مهمی در آمایش سرزمین، توسعه زیرساخت‌ها و حفظ، تعادل و پایداری اکوسیستم و محیط زیست ایفا می‌کند. با توجه به این موضوع که در ایران به دلیل کمبود یا فقدان رواناب دائمی، در بسیاری مناطق عمدتاً وابسته به منابع آب زیرزمینی می‌باشیم، از طرفی بروز خشکسالی‌های اخیر این وابستگی را بیشتر نموده است، سدسازی و تأمین برخی نیازها از آن بسیار مهم و با اهمیت می‌باشد. در مناطق خشک ایران سدها به عنوان بزرگترین سازه‌های ساخت دست بشر و

استناد: سمیه زارعی دودجی، س.، باقری، ر.، جعفری، ه. (۱۴۰۳). مدل سازی کمی و کیفی سیستم پویای مخزن سد چند منظوره با استفاده از نرم افزار Vensim به روش شبیه‌سازی احتمالی. مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۸ (۲)، ۲۴۰-۲۱۴. https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.19712

ناشر: دانشگاه خوارزمی.
© نویسندگان.
CC BY NC

بزرگترین دریاچه‌های مصنوعی از مهم‌ترین راه‌های دسترسی به حجم عظیم آب شیرین هستند که پیامدهای مثبت احداث آن‌ها بصورت‌های گوناگون از جمله رونق اقتصادی، صنعتی، کشاورزی و یا حتی توسعه و رشد اجتماعی برای مردم یک ناحیه یا یک کشور و یا در پاره‌ای از موارد بر گستره‌ی وسیعی از چند کشور می‌باشد (Sterman, 2000) . علاوه بر آن احداث سد بدون مطالعات دقیق اولیه می‌تواند اثرات منفی از جمله برآورده نکردن نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی منطقه، تخریب کیفیت آب در مخزن سد و یا اثرات زیست-محیطی ناشی از کاهش یا حذف رواناب در پایین‌دست سد را به همراه داشته باشد (Sheikh khozani et al., 2011).

یکی از ابزارهای قوی مدیریتی که در سال‌های اخیر بسیاری از آن برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب استفاده کرده‌اند، روش پویایی سیستم (Dynamic System) است. این روش که یک مدل فکری و یک روش شبیه‌سازی است و برای مطالعه رفتار دینامیک سیستم‌های پیچیده مختلف در زمینه‌های مهندسی عمران، منابع آب و آب‌زیرزمینی به کار گرفته می شود، روشی شیئ‌گرا و بر پایه بازخورد است (Sterman, 2000). در واقع روش پویایی سیستم به روابط دینامیکی بین خصوصیات کمی و کیفی آب و حتی مسائل اجتماعی- اقتصادی توجه کرده و سیستم مورد نظر بدون نیاز به ریاضیات پیچیده به سهولت قابل شبیه‌سازی می‌گردد (Sterman, 2000). کیز و پالمر (Keyes and Palmer, 1993) روش پویایی سیستم را در مطالعات خشکسالی در نظر گرفتند. سیمونوویک و فهمی (Simonovic and Fahmy, 1999) از روش پویایی سیستم برای ارزیابی درازمدت منابع آبی و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حوضه رودخانه نیل در مصر بهره بردند. احمد و سیمونوویک (Ahmad and Simonovic, 2000) عملکرد مخزن چند منظوره شلمونت در کشور کانادا را به صورت جداگانه، با هدف مدیریت و کنترل سیلاب به کمک مدل پویایی سیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آن‌ها پس از ساخت مدل، شبیه-سازی برای ۵ سیلاب عمده با تجدید نظر در قوانین بهره-برداری و ایجاد تغییر در سرریز سد انجام دادند که نتایج آن‌ها، کنترل سیلاب در بالادست و پایین دست مخزن را مفید ارزیابی کرد. سیمونوویک و راجاسکارام (Simonovic and Rajasekaram, 2004) منابع آب کشور کانادا را با رویکرد پویایی سیستم‌ها مورد بررسی قرار دادند. در بررسی آن‌ها، دوازده سناریو در بخشهای جمعیت، توسعه کشاورزی، تولید غذا، سرمایه‌گذاری مالی، تولید انرژی، منابع تجدیدناپذیر و آلودگی اعمال گردید که نتایج، وابستگی شدید توسعه آینده کانادا را به نگهداری کیفیت و تراز آب در سطح قابل قبول نشان دادند. چن و همکاران (Chen et al., 2005) پژوهشی را تحت عنوان توسعه تئوری و سیستم برنامه ریزی دینامیک به منظور مدیریت پایدار در سطح حوضه‌های آبریز رودخانه ارائه دادند که در این کار هدف، تعیین نحوه ایجاد مدیریت یکپارچه منابع آب‌زمینی و آب و هوا در سطح حوضه‌های آبریز می‌باشد. صلوی‌تبار و همکاران (Salavitabar et al., 2015) مدل تأمین و مصارف آب شهر تهران را با روش پویایی سیستم، جهت ارزیابی روند تأمین، مصارف و عوامل مؤثر بر آن، تهیه و توسعه دادند. مدنی و مارینو (Madani and Marino, 2009) مدیریت در حوضه آبریز زاینده‌رود واقع در بخش مرکزی ایران که دارای آب و هوای نیمه‌خشک است را به کمک مدل پویایی سیستم مورد بررسی قرار دادند. در نهایت پس از بررسی سناریوهای مختلف، تصمیم بر تغییر در سیاست‌های اصلی اتخاذ شده در چند دهه اخیرگرفته شد که به طرح‌ریزان منابع آب منطقه پیشنهاد گردید. شیخ خوزانی و همکاران (Sheikh Khozani et al., 2011) از مدل پویایی سیستم جهت بررسی بهره‌برداری از مخزن چند منظوره دامغان واقع در

استان سمنان برای افق ۱۴۱۰ استفاده کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان دادند که با اجرای سیاست‌های مناسب بهره-برداری نه تنها می‌توان نیازهای مورد نظر در حالت موجود را در حد قابل قبول تأمین نمود بلکه میتوان توسعه نیازها را در بهره‌برداری استاندارد از مخزن نیز در نظر گرفت. قشقایی و همکاران (Ghashghaie et al., 2014) تأثیر اولویت نیازها بر جریان پایین دست در چهار سد چراغ‌ویس، مرخز، کردکند و سنات در استان کردستان را به کمک مدل پویایی سیستم جهت درک تقابل عوامل ایجادکننده مشکل در حوضه زاینده‌رود مورد بررسی قرار دادند. ضرقامی و امیررحمانی(Zarghami and AmirRahmani, 2015) با استفاده از مدل پویایی سیستم، راهکارهای احیای دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. ینگ و همکاران (Yang et al., 2015) یک روش ارزیابی جهت تعیین ظرفیت حوضه آبریز بر مبنای پویایی سیستم‌ها در شهر تیلینگ واقع در چین ارائه کردند که ترکیبی از اثرات و بازخوردهای مؤلفه-های اقتصادی، اجتماعی و آب می‌باشد. کتیر و همکاران (Kotir et al., 2016) مدیریت پایدار منابع آبی و توسعه کشاورزی حوضه رودخانه ولتا در کشور غنا را با استفاده از مدل پویایی سیستم‌ها در محیط نرم‌افزارSTELLA انجام دادند که آن‌ها سه سناریو توسعه زیر ساخت‌های آبی، توسعه زمین‌های کشاورزی و اعمال شرایط خشکسالی برای مدل در نظر گرفتند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد، علی‌رغم تأثیر مثبت سناریو اول، در نهایت همه سناریوها با محدودیت رشد مواجه خواهند شد که حاکی از توانایی و کاربرد گسترده مدلسازی به کمک پویایی سیستم‌ها در عرصه مدیریت منابع آب می‌باشد. صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2013) مدلسازی بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره چاه نیمه سیستان بر روی رودخانه سیستان به منظور کنترل سیلاب را با استفاده از پویایی سیستم انجام داده اند که در نهایت اعتبار مدل به روش‌های مختلفی چون تحلیل حساسیت، آزمون‌های حدی و غیره سنجیده شده است. جلالی و افشار (Jalali and Afshar, 2004) مدلی بر اساس پویایی سیستم برای بهره‌برداری از سدهای برقابی ارائه کرده‌اند. در مدل آن‌ها سناریوهای مدیریتی و منحنی‌های فرمان اعمال شده و قابلیت حل مسئله با سرعت بالا را دارا است. صلوی‌تبار و همکاران (Salvitabar et al., 2015) به کمک سیستم پویا مدل مدیریت آب شهری تهران را تهیه کرده و رفتار متغیر آب زیرزمینی را تا سال ۱۴۰۰ شبیه‌سازی کرده‌اند. گلیان و همکاران (Gelian et al., 2014) سیاست بهره‌برداری از منابع آب در حوضه آبریز آجیچای را با استفاده از روش سیستم پویا با توجه به منافع کلیه کاربران و کاربری‌ها تحلیل کرده و مناسب‌ترین سیاست که منافع همه کاربری‌ها و اهداف توسعه را ارضاء کند، را معرفی نموده‌اند. فتوکیان و همکاران (Fotukian et al., 2016) مدلسازی پویای سد مخزنی یامچی با اعمال الگوی بهینه کشت جهت تدوین سیاست بهره‌برداری را انجام دادند. در مطالعه آن‌ها ابتدا الگوی بهینه کشت تعیین گردید، سپس مدلسازی عملکرد سد بر اساس سه شاخص آسیب‌پذیری، برگشت‌پذیری و اطمینان‌پذیری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد اعمال سیاست الگوی بهینه کشت سبب کاهش مصرف آب کشاورزی منطقه گردیده است. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2017) مدلسازی اندرکنش منابع آب و ارزش افزوده دشت بیرجند را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از یک مدل مفهومی، ارتباط بین فعالیت‌های اقتصادی منطقه و منابع آب دشت بیرجند را با استفاده از رویکرد سیستمی، شناسایی و سپس در محیط نرم‌افزار Vensimشبیه‌سازی نمودند. سپس شش سناریوی مختلف در نظر گرفته شد و میزان حجم منابع آب و میزان ارزش افزوده در گزینه‌های مختلف مقایسه گردید. نتایج آن‌ها نشان

داد که با ادامه روند موجود در منطقه، وضعیت منابع آب زیرزمینی، بدتر خواهد شد. علمی و همکاران (Alami et al., 2013) مدلسازی پویای سیستم سد گلک و آب‌های زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه آب را انجام دادند. آن‌ها اثرات سد مخزنی گلک در جمع‌آوری جریان‌های سیلابی، تأمین نیازهای منطقه و تغذیه آبخوان آبرفتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد با تأمین نیازهای مختلف از سد، تغذیه منابع آب زیرزمینی از طریق تزریق سالانه ۲ میلیون متر مکعب آب سیلاب امکان‌پذیر می‌باشد.

احداث سد همیشه چالش‌هایی دارد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها تأمین نیازهای در نظر گرفته شده سد می‌باشد. احداث یا بهره‌برداری از سدها بدون در نظر گرفتن این پارامترها باعث عدم تأمین اهداف در نظر گرفته شده یا آسیب به استفاده کنندگان آن می‌شود. در این مطالعه سعی شده اثر احداث سد کمشک در تأمین نیازهای در نظر گرفته شده برای احداث آن از نظر کمی و کیفی بررسی شود. بر این اساس شبیه‌سازی سد با استفاده از پویایی سیستم و نرم افزار Vensim با در نظر گرفتن نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی و درصد تأمین هر یک از این نیازها انجام شد بعلاوه مدلسازی کیفی سد با توجه به تبخیر بالا در منطقه و وجود گنبدهای نمکی برای بدبینانه‌ترین حالت ممکن انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در"۵۷ ´۲۴ ˚۵۲ تا "۴۴ ´۰۱ ˚۵۴ طول شرقی "۵۰ ´۰۳ ˚۲۷ تا "۴۲ ´۴۹ ˚۲۷ عرض شمالی می‌باشد. مساحت کلی این محدوده ۳۷۷۸ کیلومتر مربع بوده که از این مقدار ۱۴۷۰ کیلومتر مربع آن در شهرستان مهر (استان فارس)، ۲۲۴۸ کیلومترمربع آن در شهرستان لامرد (استان فارس) و ۶۰ کیلومترمربع آن در شهرستان بستک (استان هرمزگان) قرار گرفته است. محل سد کمشک در ۳/۶ کیلومتری بالادست روستای کمشک قرار دارد (شکل ۱). این سد در واقع در محل ورودی رودخانه مهران به استان هرمزگان بوده و حوضه آبریز آن عمدتاً در استان فارس قرار دارد. موقعیت جغرافیایی محل محورسد کمشک در مختصات ۱۹۶۷۱۷ طول شرقی و ۳۰۰۰۹۵۹ عرض شمالی واقع شده است. محدوده مورد مطالعه از نظر آب و هوایی جزء مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. حداقل ارتفاع محدوده ۳۴۴ متر، حداکثر ارتفاع ۲۱۵۹ متر و متوسط ارتفاع آن ۶۵۷ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. شکل ۱، موقعیت مرز حوضه آبریز سد کمشک و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد. تصویر ماهواره‌ای این حوضه در شکل ۲ ارائه شده است.

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه سد

Fig. 1. Geographical location of the dam study area

روش پویایی سیستم

تصمیم‌گیری در حوضه مدیریت منابع آب بایستی به در نظر گرفتن کلیه نتایج مطلوب و نامطلوب یک پروژه در شرایط کنونی و آتی و همچنین اثرات پروژه‌های مختلف بر یکدیگر می‌باشد. علم پویایی سیستم در واقع یک ابزار مدیریتی برای انجام بهینه این نگرش می‌باشد (Sheikh Khozani et al., 2011). با استفاده از این علم می‌توان سیستم‌های پیچیده منابع آب را شبیه‌سازی نمود تا بتوان با استفاده از آن‌ها بهینه‌ترین تصمیم اتخاذ گردد. هدف اصلی این روش شبیه-سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سیستم‌های پیچیده منابع آب در شرایط کنونی و در آینده است (Sterman, 2000). روش پویایی سیستم یک روش سریع و آسان بر اساس روابط بازخورد است که باعث ایجاد مشارکت کاربران مدل می‌گردد که دارای قابلیت مدلسازی گروهی پروژه‌های منابع آب در یک منطقه یا یک حوضه بوده و دارای خاصیت اصلاح‌پذیری با تغییرات سیستم می‌باشد. به عبارت دیگر با تغییر هر ورودی مدل، میتوان اطلاعات مدل را بر اساس آن بروزرسانی نموده و خروجی‌های جدیدی از مدل دریافت نمود که بر اساس اطلاعات بروز شده سیستم است. در سال های اخیر استفاده از پویایی سیستم‌ها (SD) در شاخه‌های مختلفی از علوم مدیریت منابع آب مورد استفاده واقع شده است که می‌توان به موارد تحلیل منطقه‌ای و برنامه‌ریزی حوضه آبریز رودخانه، آب شهری، سیلاب، آبیاری و مدل‌های فرآیند تصفیه آب اشاره نمود (Sheikh Khozani et al., 2011). بهره‌برداری از مخازن سدها و تعیین تخصیص هر یک از نیازهای تعریف شده آن سد از موضوعات مهم و پیچیده‌ای است که طراحان سیستم‌های منابع آب با آن مواجه هستند. از موارد بسیار مهم در این مورد انتخاب تکنیک مناسب جهت برآورد حجم و نحوه بهره‌برداری از مخزن می‌باشد. روش‌های مورد استفاده در تعیین حجم مخزن شامل: روش‌های دوره بحرانی (critical period method)، روش‌های مهندسی سیستم‌ها (system engineering thechniques) و روش‌های شبیه‌سازی (simulation techniques) می‌باشد (Faghih, 2014). بر اساس روش‌های بهینه‌سازی می‌توان بهترین و بهینه‌ترین جواب ممکن برای یک مسئله را بر اساس تابع هدف و محدودیت‌های موجود که بصورت توابع و روابط ریاضی تعیین می‌گردند، مشخص نمود. دو نوع مدل ریاضی در بهینه سازی

وجود دارد که شامل مدل برنامه‌ریزی خطی (Linear Programing) و مدل برنامه‌ریزی پویا (Dynamic Programing) می‌باشد. مدل برنامه‌ریزی خطی برای اولین بار در جنگ دوم جهانی به منظور اهداف نظامی مورد استفاده قرار گرفت و پس از جنگ مذکور جایگاه ویژه‌ای در مدیریت صنعتی پیدا نمود (Faghih, 2014). شروع بهره‌برداری از این مدل در مسائل منابع آب به اوایل دهه ۱۹۶۰ می‌گردد و متعاقب آن در طراحی و بهره‌برداری از سدها بطور وسیع مورد استفاده قرار گرفت. در مدل برنامه‌ریزی خطی تابع هدف و توابع محدود کننده همگی خطی می‌باشند. مدل دینامیک (برنامه‌ریزی پویا) به دلیل حل توابع و روابط غیر خطی بطور وسیع در طراحی و بهره‌برداری از مخازن سدها استفاده می‌شود (Faghih, 2014).

روش‌های شبیه‌سازی به دلیل استفاده از منطق ریاضی ساده و قابل درک، در پیش‌بینی و ارزیابی نحوه عملکرد سیستم و تعیین بهترین گزینه بسیار قوی و سریع می‌باشند. در این روش بر اساس سیاست‌های مختلف بهره‌برداری و سناریوهای تعیین شده، عملکرد سیستم در هر حالت مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌گردند. شبیه‌سازی به‌دو روش کلی انجام می‌شود که شامل: الف- شبیه‌سازی قطعی (بر اساس مشاهدات و داده‌های واقعی صورت می‌گیرد) و ب- شبیه‌سازی احتمالی (بر اساس داده‌های آماری صورت می‌گیرد) (Faghih, 2014). در این مطالعه شبیه‌سازی کمی و کیفی مخزن سد کمشک به این دلیل که هنوز ساخته نشده و در مرحله مطالعه است، بر اساس روش شبیه‌سازی احتمالی انجام شده است.

از جمله مفاهیم مهم در روش پویایی سیستم، قانون پیوستگی است که مفهوم اساسی روندیابی در مخازن سدها است. این روش مدل‌سازی از چهار ابزار ذخیره (Stock)، جریان (flow) رابطها (interfaces) و تبدیل کننده‌ها (convertyors) استفاده می‌کند و به وسیله آن‌ها مدل مفهومی را به نمودارهای علت و معلولی و در نهایت به نمودار ذخیره و جریان تبدیل می‌نماید (Faghih, 2014). در واقع مدل سازی به روش پویایی سیستم‌ها شامل نمایش فرآیند بازخورد است که همراه با ساختار ذخیره و جریان، تاخیر زمانی (Causal loop diagrams (CLDs)) و توابع غیرخطی (Nonlinear Function)، دینامیک سیستم را تعریف می کند (Sheikh Khozani et al., 2011).

نمودارهای حلقه علّی ابزار مهمی برای نمایش ساختار بازخورد سیستم ها هستند (Sterman, 2000). نمودار علّی متشکل از متغیرهایی است که با فلش هایی به هم متصل شده اند که تأثیرات علی بین متغیرها را نشان می دهد (Sterman, 2000). متغیرهایی که در مدل، با فلش نشان داده شده باشند، با پیوندهای علّی مرتبط هستند. به هر پیوند علّی یک علامت، مثبت (+) یا منفی (-) اختصاص می‌یابد تا نشان دهد که متغیر وابسته به زمان با تغییر متغیر مستقل چگونه تغییر می‌کند. حلقه های مهم با یک شناسه حلقه مشخص می شوند که نشان می دهد حلقه بازخورد مثبت (خود تقویت کننده) یا منفی (تعادل کننده) است (Sterman, 2000). ابزار ذخیره (stock) در مدلسازی با انباشته شدن تفاوت بین جریان ورودی به یک فرآیند و خروجی آن تاخیر ایجاد می‌کند. آن‌ها وضعیت سیستم را مشخص می کنند و اطلاعاتی را تولید می کنند که تصمیمات و اقدامات مبتنی بر آن است (Sterman, 2000). در مدلسازی به این روش، ابتدا بایستی تعریف روشن و کاملی از مسئله مورد نظر داشته باشیم و سپس فرضیات دینامیکی مورد نظر را فرموله کنیم (Sheikh Khozani et al., 2011).

نرم‌افزار Vensim یک نرم‌افزار شبیه سازی و یک محیط مدل‌سازی گرافیکی شیءگرا می‌باشد .در این نرم افزار

نمودارها با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول(اغلب غیرخطی) که با روش اولر یا رانگ کوتا حل می-شوند، ساخته می‌شود (Sheikh Khozani et al., 2011). شاخص‌های ارزیابی مدل شامل درصد تأمین حجمی و درصد تأمین زمانی نیازهای مختلف تعریف شده برای یک سد است. درصد تأمین حجمی از تقسیم مجموع میزان تأمین‌های ماهانه بخش مورد نظر به مجموع نیازهای تعریف شده از سد به دست می آید. درصد تأمین زمانی از تقسیم تعداد ماه‌هایی که سد میزان نیاز مورد نظر را تأمین نموده است به تعداد ماه‌های شبیه سازی بدست می‌آید. در این پژوهش جهت ارزیابی مدل از این دو شاخص استفاده می‌گردد و با مقادیر مورد قبول وزارت نیرو مقایسه می‌گردد.

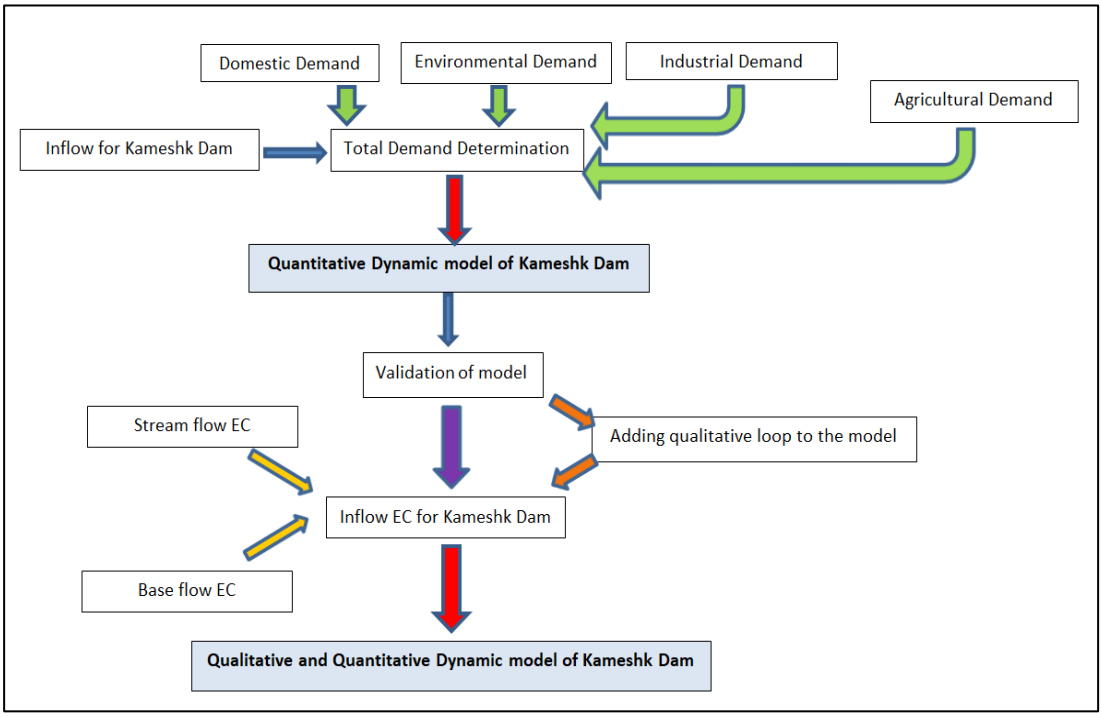
ساختار مدل

هدف از مدل‌سازی در این تحقیق، ایجاد و توسعه یک مدل شبیه‌سازی برای شناخت رفتار کمی و کیفی سدهای مخزنی و دینامیک آن و همچنین ارائه راه حل‌هایی برای بهینه‌کردن بهره‌برداری از آن‌ها است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی نحوه بهره‌برداری از منابع آب و عملکرد کمی، کیفی مخزن سد کمشک واقع در استان هرمزگان و حوضه آبریز کل و مهران، می‌باشد. هدف از اجرای طرح، ذخیره‌سازی و کنترل سیلاب رودخانه و انتقال و توزیع آن جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی منطقه می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا مدلسازی کمی سد کمشک به تنهایی انجام و سپس مدل کیفی سد کمشک جهت پیش بینی عملکرد سد به آن اضافه گردید. در نهایت نتایج کمی-کیفی سد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

بر اساس اطلاعات موجود رواناب در دوره آماری ۳۳ ساله (از سال ۱۳۶۶-۱۳۶۷ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰) موجود می‌باشد که در محاسبات مربوط به مدل‌سازی کمی-کیفی منابع آب سد کمشک از آن استفاده گردید.در این تحقیق جهت تعیین شرایط کیفی مخزن، از مدلسازی سیستم پویای مخزن سد و همچنین بیلان جرمی استفاده گردید. بدین صورت که طبق فلوچارت شکل ۲ در ابتدا مدلسازی کمی سد بر اساس نیازهای به ترتیب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی انجام شده و صحت سنجی گردید. سپس حلقه‌های علی-معلولی مدلسازی کمی به آن اضافه گردیده و بر اساس داده کیفی (کل جامدات محلول در آب (TDS)) دبی پایه و رواناب مستقیم اندازه‌گیری شده در منطقه، مدلسازی کمی-کیفی انجام شد.

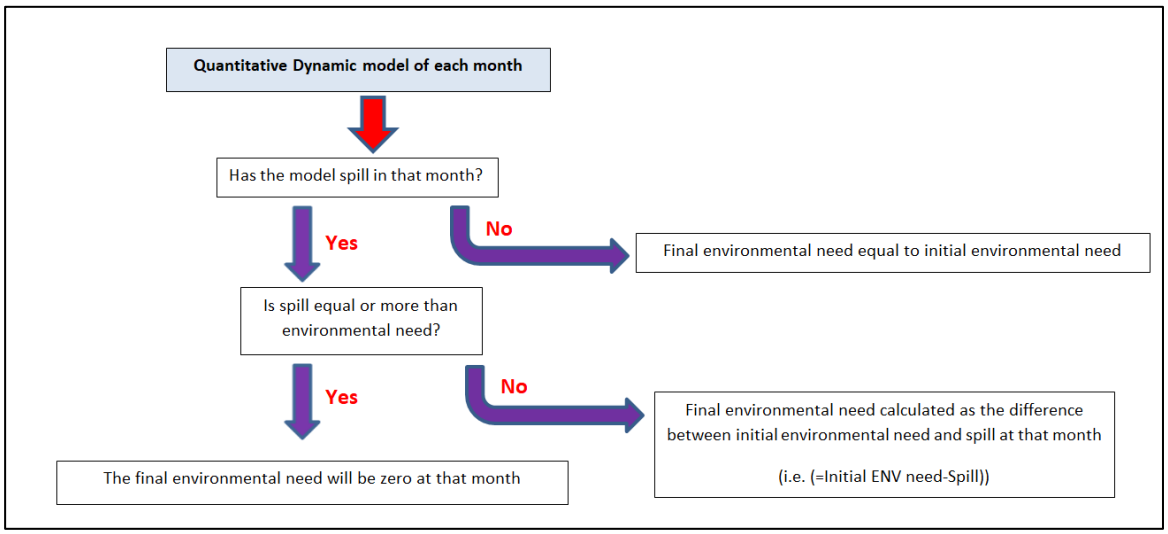
نکته بسیار مهم در این مدلسازی این است که با توجه به این موضوع که پس از مدلسازی اولیه، حجم سرریز سد کمشک ۴/۱۷ میلیون‌متر مکعب بوده و نیاز محیط زیست سد ۲/۵۳ میلیون‌متر مکعب می‌باشد (میانگین حجمنیاز محیط زیست سد خیلی کمتر از آب سرریز شده از سد می‌باشد)، منطقی نیست در ماه‌هایی از سال که سد سرریزی به اندازه یا بیشتر از آب مورد نیاز محیط زیست دارد، آزادسازی آب مورد نیاز محیط زیست نیز انجام گردد. بنابراین یک حلقه علی-معلولی دیگر به سد اضافه گردید که فلوچارت کلی آن در شکل ۳ موجود می‌باشد. بر اساس شکل ۳ در هر ماه در مدل بررسی می‌شود که آیا سد سرریز دارد یا خیر، اگر سرریز نداشته باشد که همان نیاز اولیه محاسبه شده محیط زیست موجود در جدول ۵ به عنوان نیاز محیط زیست سد در نظر گرفته شده و بایستی رهاسازی گردد. در این حالت کل نیاز زیست محیطی سد از طریق مخزن سد تأمین می‌گردد. در صورتی که سد در آن ماه سرریز داشته باشد بررسی می‌شود که آیا این سرریز به اندازه یا بیشتر از نیاز محیط زیست سد در آن ماه است یا خیر. اگر سرریز سد به اندازه یا بیشتر از نیاز محیط زیست سد در آن ماه باشد، نیاز محیط زیست نهایی سد در آن ماه در مدل صفر در نظر گرفته شده و همان آب

سرریز شده سد برای محیط زیست کفایت می‌کند. به عبارت دیگر، سرریز سد تأمین کننده نیاز زیست محیطی سد می‌باشد. در صورتی که در ماه مورد نظر سد سرریز داشته باشد ولی این سرریز به اندازه یا بزرگتر از نیاز اولیه محیط زیست آن ماه سد نباشد، نیاز نهایی محیط زیست به عنوان اختلاف نیاز اولیه محیط زیست و سرریز سد در آن ماه در نظر گرفته می‌شود (در واقع در این حالت بخشی از نیاز محیط زیست سد توسط مخزن و بخشی توسط سرریز تأمین می‌گردد). به بیان ساده‌تر هدف این است که در ماه‌هایی که سد سرریز بالایی دارد، آب مازادی جهت محیط زیست رهاسازی نگردد.



شکل ۲. فلوچارت کلی مدلسازی سد

Fig. 2. General flowchart of dam modeling



شکل ۳. فلوچارت کلی محاسبه نیاز محیط زیست در هر ماه

Fig. 3. General flowchart of environmental need calculation in each month

اطلاعات ورودی به مدل

اطلاعات شبیه‌سازی مخزن شامل اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی (مشتمل بر تبخیر، منابع آب سطحی و رسوب ورودی به مخزن)، اطلاعات نیازها و مصارف آب (مشتمل بر مصارف در بخش شرب، صنعت، کشاورزی با الگوهای کشت در نظر گرفته شده) و نیاز زیست محیطی و همچنین اطلاعات سد و مخزن (مشتمل بر منحنی‌های سطح - حجم - ارتفاع) می‌باشد که به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شده و در شبیه سازی استفاده شده است.

تعیین جریان خروجی از مخزن سد و مدلسازی کیفی

مهم‌ترین بخش در مدل‌سازی یک سد، تعیین جریان خروجی از مخزن سد بر اساس ورودی های آن و همچنین برداشت‌ها از مخزن سد می باشد. شکل۴۴ نشان دهنده حلقه علّی و معلولی مخزن یک سد می‌باشد. در این مدل حجم مخزن توسط متغیر ذخیره (حالت) نشان داده شده است و جریان ورودی، مقادیر تبخیر، جریان خروجی و مقادیر سرریز هر کدام با یک متغیر جریان نمایش داده شده است. مقادیر سرریز از مخزن سد با توجه به مقادیر ورودی، خروجی و ارتفاع معادل حجم حداکثر مخزن سد بدین گونه محاسبه می‌شود که در صورتی که ورودی بیشتر از خروجی و بیشتر از ارتفاع معادل حداکثر حجم مخزن سد (تراز نرمال سد) باشد، با در نظر گرفتن خروجی ها و همچنین تلفات آب از مخزن (تبخیر)، سد سرریز خواهد داد. مقادیر جریان خروجی بر اساس سیاست های بهره برداری از سد و نیازهای پایین-دست تعیین می‌شود (Sheikh Khozani et al., 2011).

به عنوان مثال برای سد کمشک نیازهای به ترتیب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی در نظر گرفته شد که نمودار علی-معلولی آن در شکل ۴ موجود می باشد. .

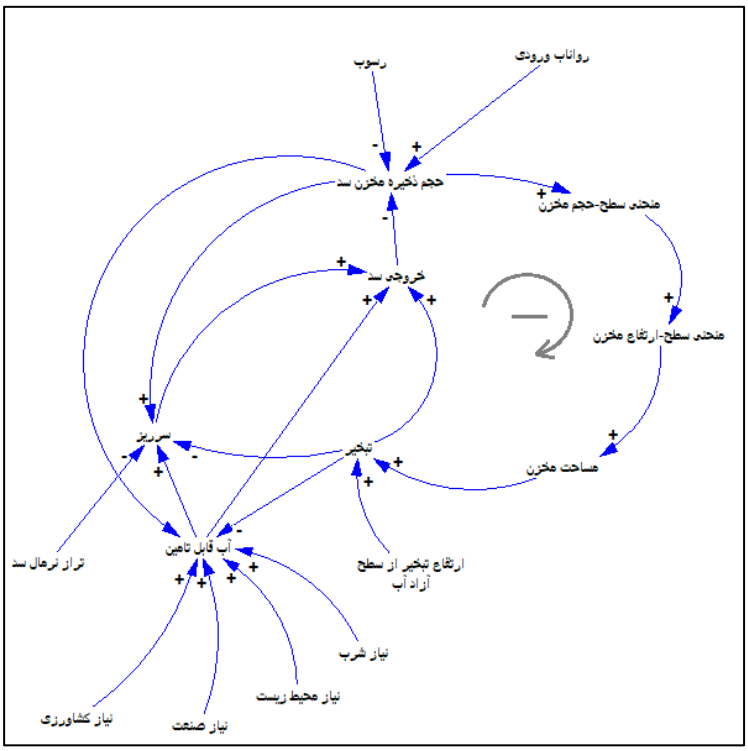
شکل ۵ نشان دهنده نمودار علی-معلولی تأمین نیازها از سد می‌باشد. بدین صورت که اولویت برداشت آب از مخزن سد به ترتیب، شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی می‌باشد. جهت مدلسازی کیفی از بیلان جرمی مخزن سد استفاده می‌گردد. بدین صورت که مجموع جرم ورودی برابر مجموع جرم خروجی از سد می‌باشد. با توجه به این موضوع که رودخانه مهران در بالادست سد کمشک فاقد اطلاعات کامل و پیوسته کیفی بود، بر اساس اطلاعات هدایت الکتریکی

اندازه‌گیری شده در منطقه (شش مورد اندازه گیری در فصل خشک (تیر، مرداد و شهریور ماه سالهای ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) با میانگین ۷۹۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر به عنوان نماینده دبی پایه رودخانه و شش مورد اندازه‌گیری در فصل تر (دی، بهمن و اسفند ماه سالهای ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) با میانگین ۳۴۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر در سرشاخه‌های رودخانه، به عنوان نماینده هدایت الکتریکی رواناب مستقیم در نظر گرفته شدند.) مدلسازی کیفی مخزن سد با توجه به حجم تبخیر بالا در منطقه و وجود گنبدهای نمکی در بدبینانه‌ترین حالت ممکن برای رواناب با کیفیت ۳۰۰۰ و دبی پایه ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر انجام گردید. لازم به ذکر است که در صورت تهیه داده‌های دقیق‌تر، این مدل قابلیت بروزرسانی بر اساس اطلاعات جدید را دارا می‌باشد.

بر اساس تعریف، کل جامدات محلول در آب شامل مواد آلی و غیر آلی محلول در آب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم آب می‌باشد. بنابراین حاصل‌ضرب کل جامدات محلول در حجم آب (بر حسب متر مکعب) مقدار کل جامدات را بر حسب میلی‌گرم نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه زیر مقدار هدایت الکتریکی به کل جامدات محلول تبدیل گردید (Walton, 1989).

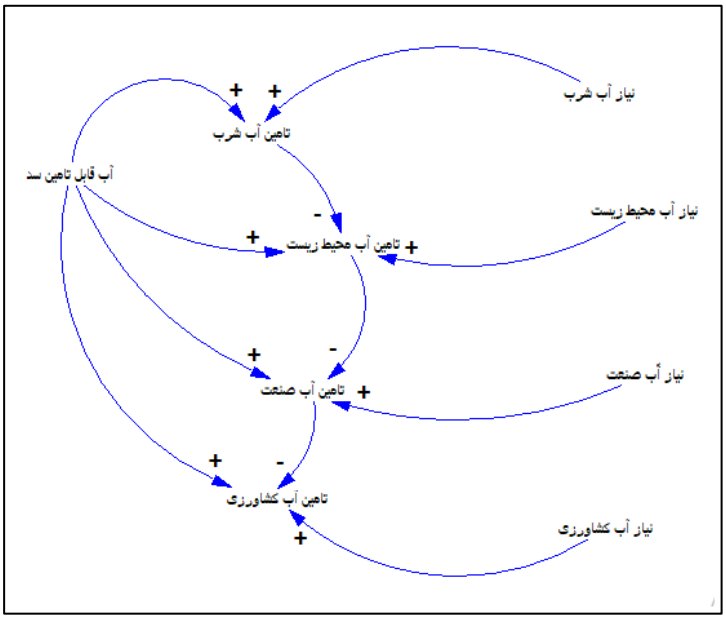
$$TDS(mgr/lit)=K*EC \quad (۱)$$

که در آن TDS مقدار کل جامدات محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، K ضریب تبدیل (بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ بر اساس میزان هدایت الکتریکی آب) و EC مقدار هدایت الکتریکی بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر (یا میکروموس بر سانتی‌متر) می‌باشد. در این تحقیق باتوجه به تغییرات هدایت الکتریکی آب که بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در تغییر بود، ضریب K=0.6 در نظر گرفته شد (Walton, 1989). بر اساس نمودار شکل ۵، مقدار کل جامدات محلول (TDS) دبی پایه و رواناب مستقیم در حجم هر یک از آن‌ها ضرب شده تا مقدار جرم مواد جامد موجود در ورودی بدست آید. جداسازی رواناب مستقیم از دبی پایه بر اساس روش خط مستقیم انجام شده است (Alizadeh, 2002). با توجه به این موضوع که در تبخیر، آب خالص بخار می‌شود بنابراین بر اساس میزان املاح، جرم املاح معادل حجم تبخیر به جرم املاح باقی‌مانده در مخزن اضافه می‌گردد (شکل ۶). بر اساس حجم برداشت آب از سد و همچنین سرریز از سد جرم املاح خروجی محاسبه شده و در نهایت جرم املاح موجود در مخزن سد محاسبه می‌گردد. بدیهی است این محاسبات بر اساس بیلان جرم بوده و لایه‌بندی حرارتی مخزن در آن لحاظ نگردیده است. در نهایت مقدار کل جامدات محلول مخزن سد بدست می‌آید که با استفاده از رابطه ۱ قابل تبدیل به هدایت الکتریکی مخزن می‌باشد.



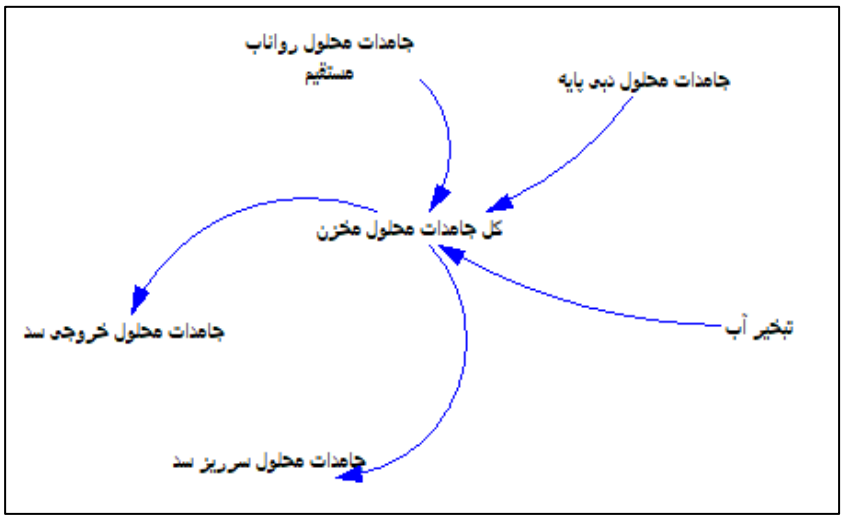
شکل ۴. نمودار علی-معلولی بخش اصلی سد

Fig. 4. Cause and effect diagram of the main part of the dam



شکل ۵. نمودار علی-معلولی تأمین نیازها از سد

Fig. 5. Cause and effect diagram of meeting the needs of the dam



شکل ۶. نمودار علی-معلولی مدلسازی کیفی سد

Fig. 6. Cause and effect diagram of qualitative dam modeling

مدلسازی سد

براساس مطالعات هواشناسی، متوسط تبخیر سالانه از مخزن سد، برابر با ۲۵۳۰ میلیمتر است که بیشترین مقدار آن بطور متوسط ۳۷۳ میلیمتر در خرداد ماه و کمترین مقدار آن ۶۰ میلیمتر در دی ماه است. اطلاعات میانگین ماهانه و سالانه تبخیر از مخزن سد در جدول ۱ موجود می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات هیدرولوژی، متوسط بلند مدت (۳۳ ساله) حجم آورد سالانه رودخانه در محل ساختگاه سد ۳۱/۷۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. میانگین ماهانه و سالانه رواناب سد کمشک در جدول ۲ موجود می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج مطالعات هیدرولوژی و رسوب در زمینه برآورد بار رسوبی در موقعیت سد، حجم رسوب ۵۰ ساله در محل سد ۸/۷ میلیون مترمکعب مشخص گردید. بر اساس نتایج برآورد جمعیت با استفاده از آب این سد می‌توان نیاز آب شرب دهستان فرامرزان، بخشی از دهستان جناح به همراه شهر جناح را تأمین نمود. مقادیر میانگین ماهانه و سالانه نیاز آب شرب سد کاردنه در جدول ۶ آورده شده است (میانگین سالانه نیاز آب شرب ۱/۱ میلیون متر مکعب برآورد گردیده است). با توجه به توسعه زیر ساخت‌هایی نظیر جاده، برق و ... و تأمین آب از طریق سد کمشک، دشت جناح-کمشک می‌تواند به‌عنوان دشت هدف صنعت معرفی گردد. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، نیاز سالانه آبی واحدهای فعال صنعتی کنونی ۰/۲۱ میلیون متر مکعب، واحدهای در حال احداث ۰/۱ و پرورش دام و طیور ۰/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد. بر این اساس نیاز فعلی واحدهای صنعتی موجود ۱/۱۳ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. با در نظر گرفتن توسعه آتی صنعت حجم ۴/۵ میلیون متر مکعب در سال به عنوان نیاز صنعت منطقه و با توزیع ماهانه یکسان (ماهانه ۰/۳۷۵ میلیون متر مکعب در طول سال) در نظر گرفته شد. با توجه به این موضوع که هدف اصلی احداث سد کمشک تأمین آب مورد نیاز شرب و صنعت می‌باشد، بنابراین منطقی نیست که حجم زیادی از آب سد به کشاورزی منطقه اختصاص یابد. با توجه به بررسی نیازهای آبی کنونی، جهت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی اراضی زراعی کشت باز (گندم، جو و یونجه)، ۸۰ درصد نیاز آبی اراضی باغی (نخیلات و مرکبات) و همچنین تأمین نیاز آبی ۸۵ هکتار کشت گلخانه‌ای به ۲/۲۵ میلیون متر مکعب در سال آب نیاز است که به عنوان نیاز کشاورزی سد کمشک در نظر گرفته می‌شود. مقادیر

میانگین ماهانه و سالانه نیاز کشاورزی سد کمشک در جدول ۷ آورده شده است. با توجه به نیاز اکولوژی انواع گونه‌های آبزی رودخانه و همچنین لزوم تأمین حداقل جریان پس از تأمین اهداف اولیه سد، برآورد نیاز محیط‌زیست رودخانه جهت حفظ پایداری جریان پایین دست ضروری می‌باشد. برای محاسبه نیاز زیست محیطی و پایداری جریان در محل سد از روش مونتانا (تنانت) استفاده شده است. در این روش، نیاز زیست محیطی رودخانه بصورت درصدی از متوسط رواناب سالانه در یک منطقه برای تعیین کیفیت زیستگاه ماهیان در نظر گرفته می‌شود (Nazari et al., 2011). جدول ۳ نشان دهنده استاندارد روش مونتانا برای انتخاب درصدی از میانگین رواناب سالانه بر اساس اهداف مختلف می‌باشد (Nazari et al., 2011). همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود، در این روش کل طول سال به دو بخش خشک (بهار و تابستان) و تر(پاییز و زمستان) تقسیم شده است که در صورتی که به عنوان مثال ۴۰ درصد از میانگین رواناب فصل تر و ۶۰ درصد از میانگین رواناب فصل خشک به عنوان نیاز زیست محیطی رهاسازی شود بر اساس جدول ۳ بسیار عالی است. در این تحقیق، ابتدا بر اساس احجام میانگین آبدهی در محل سد، ماه‌های خشک و تر مشخص شده است. در مرحله بعد مقادیر ماهانه آبدهی در محل سد در ضرایب ۰/۳ و ۰/۱ به ترتیب برای ماه‌های خشک و تر ضرب شده‌اند (بر اساس جدول ۱، هدف عادلانه در نظر گرفته شده است). بر این اساس، کل نیاز زیست محیطی سالانه رودخانه در محل سد کمشک ۲/۵۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است. مقادیر میانگین ماهانه و سالانه نیاز محیط زیست سد کمشک در جدول ۵ آورده شده است. این نیاز محیط زیست به عنوان نیاز اولیه محیط زیست در نظر گرفته می‌شود که طبق فلوچارت شکل ۳، بخشی از آن از طریق مخزن سد و بخشی توسط سرریز سد تأمین می‌گردد.

جدول ۱. مقادیر میانگین ماهانه تبخیر از سطح آزاد آب در محل سد بر حسب میلیمتر

Table 1. Average monthly values of evaporation from the free surface of water at the dam site in millimeters

month	Evaporation
Oct	195
Nov	124
Dec	75
Jan	60
Feb	89
Mar	128
Apr	205
May	309
Jun	373
Jul	360
Aug	332
Sep	279
Annual	2530

جدول ۲. مقادیر میانگین ماهانه رواناب در محل سد کمشک بر حسب میلیون متر مکعب

Table 2. Average monthly runoff values at the Kameshk dam site in million cubic meters

month	Rounoff
Oct	0.46
Nov	1.63
Dec	6.17
Jan	6.62
Feb	8.27
Mar	3.03

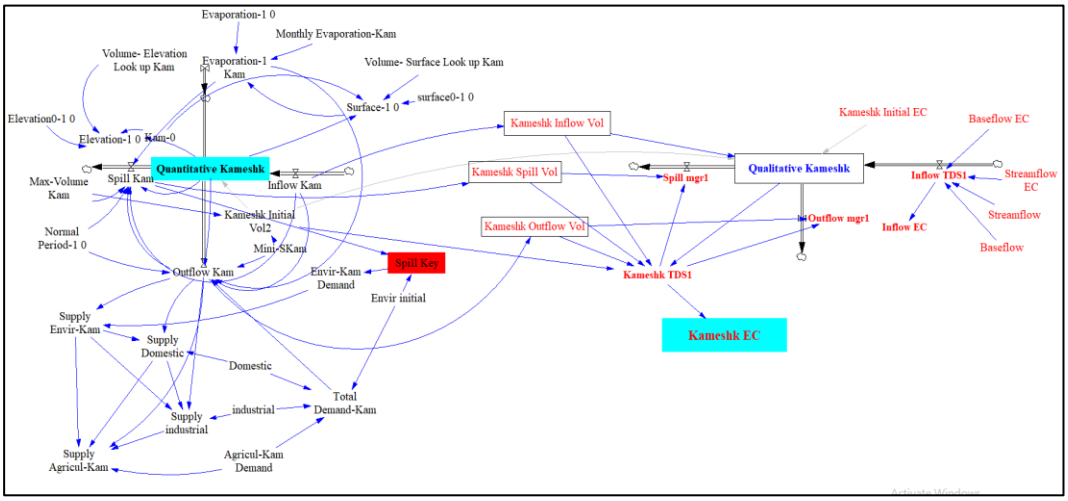
month	Rounoff
Apr	2.54
May	0.6
Jun	0.35
Jul	0.48
Aug	1.14
Sep	0.51
Annual	31.79

جدول ۳. روش مونتانا، درصدی از میانگین جریان سالانه برای حفظ شرایط رودخانه بر اساس اهداف مختلف
Table 3. Montana method, percentage of average annual flow to maintain river conditions based on different objectives

Purpose	Suggested percentage of average annual flow	
	Aautumn-Winter	Spring-Summer
Very excellent	40	60
Excellent	30	50
Good	20	40
Fairly	10	30
Weak	10	10
Severe destruction	0-10	0-10

نتایج و بحث

در این تحقیق، مدلسازی کمی-کیفی سد کمشک انجام شد. شبیه‌سازی سد در دوره آماری ۳۳ ساله و با Time Step ماهانه (در ۳۹۶ ماه) انجام شده است که نمای کلی آن در نرم‌افزار Vensim در شکل ۷ آورده شده است. اولویت‌های تخصیص آب سد شامل: ۱) شرب ، ۲) محیط زیست ، ۳) صنعت و ۴)کشاورزی می‌باشد. بخش سمت چپ این شکل نشان دهنده حلقه‌های علی-معلولی برای مدلسازی کمی سد (به رنگ آبی) و بخش سمت راست شکل نشان دهنده حلقه-های علی-معلولی برای مدلسازی کیفی سد (رنگ قرمز) می-باشد.



شکل ۷. نمای کلی مدلسازی کمی-کیفی سد کمشک در محیط نرم‌افزار Vensim
Fig. 7. An overview of the quantitative and qualitative modeling of Kameshk dam in the Vensim software environment

جدول ۴ تا ۷ نشان دهنده میانگین ماهانه و سالانه نیاز، تأمین و کمبود آب به ترتیب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی سد می‌باشند.

همانگونه که در جداول ۴ تا ۷ مشاهده می‌گردد، آب شرب سد در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین بصورت کامل تأمین شده و هیچ کمبودی ندارد. در سایر ماه‌های سال کمبود آب شرب وجود دارد که بیشترین کمبود در تیر ماه و شهریور ماه به اندازه ۸ هزار متر مکعب می‌باشد. بر اساس جدول ۵ در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین هیچ‌گونه کمبود آب محیط زیست وجود نداشته و بیشترین کمبود آب مربوط به تیرماه و به اندازه ۱۲ هزار متر مکعب می‌باشد. بعلاوه همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد و با توجه به حجم بالای سرریز این سد، بر اساس مدلسازی تعیین گردیده که در ماه‌هایی که سد سرریز داشته و حجم سرریز سد بیشتر یا مساوی نیاز محیط زیست باشد، آب محیط زیست دیگری از سد رهاسازی نگردد و در ماه‌هایی که سرریز از سد کمتر از حجم مورد نیاز محیط زیست منطقه است، اختلاف حجم سرریز و نیاز محیط زیست از مخزن سد تأمین گرددو در سایر ماه‌ها که سد هیچ سرریزی ندارد کل نیاز زیست محیطی از حجم مخزن سد تأمین گردد. بنابراین، طبق جدول ۵، در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند مخزن سد در تأمین نیاز زیست محیطی سد مشارکت داشته و در سایر ماه‌ها سرریز سد به تنهایی تأمین کننده نیاز زیست محیطی سد می‌باشد. بر اساس جدول ۶ و ۷، در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین هیچ کمبودی جهت تأمین آب مورد نیاز به ترتیب صنعت و کشاورزی از مخزن سد وجود ندارد.

شکل ۸ نشان دهنده میانگین ماهانه درصد تأمین حجمی آب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی سد می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در ماه‌های دی، بهمن و اسفند مخزن سد قادر به تأمین تمامی نیازهای خود بصورت صد در صد می‌باشد. بعلاوه کمترین درصدهای تأمین حجمی به ترتیب آب شرب در تیر و شهریور، آب محیط زیست در تیر ماه، آب صنعت در مهر، تیر و شهریور ماه و آب کشاورزی در شهریور ماه می‌باشد. بنابراین تیر ماه بحرانی‌ترین ماه سد در تأمین نیازهای شرب، محیط زیست و صنعت می‌باشد.

شکل ۹ نشان دهنده میانگین ماهانه حجم نیاز زیست محیطی به همراه حجم تأمین شده این نیاز از سرریز و مخزن سد می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در ماه‌های مهر، خرداد و شهریور به این دلیل که سد سرریز ندارد، تمامی آب مورد نیاز محیط زیست از مخزن سد تأمین می‌گردد. در سایر ماه‌های سال سرریز سد نیز در تأمین نیاز زیست محیطی مشارکت دارد که بیشترین حجم تأمین آن به ترتیب بیشترین مقدار در بهمن و دی ماه می‌باشد. همچنین بر اساس این شکل، در ماه‌های تیر، فروردین و شهریور، بیشترین برداشت از مخزن سد جهت تأمین نیاز محیط زیست انجام می‌گردد.

شکل ۱۰ نشان دهنده میانگین ماهانه حجم رواناب، سرریز و تأمین کل سد می‌باشد. بر اساس این شکل، بیشترین مقدار رواناب سد در بهمن ماه و به میزان ۸/۲۷ میلیون متر مکعب بوده و کمترین مقدار آن در خرداد ماه و به میزان ۰/۳۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. همچنین بیشترین میزان تأمین از سد در فروردین ماه و به میزان ۰/۹۶ میلیون متر مکعب بوده و کمترین مقدار آن در اسفند ماه و به میزان ۰/۶۶ میلیون متر مکعب می‌باشد. میانگین ماهانه سرریز در این شکل نشان دهنده بیشترین مقدار سرریز در بهمن ماه و به میزان ۴/۵ میلیون متر مکعب بوده و کمترین میزان آن در مهر، خرداد، تیر و شهریور می‌باشد. شکل ۱۱ نشان دهنده میانگین ماهانه حجم مخزن (بر حسب میلیون متر مکعب) و هدایت الکتریکی آن (بر حسب میکرو موس بر سانتی‌متر) در

طول ۳۳سال دوره آماری می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در ماه‌هایی که حجم مخزن سد افزایش پیدا می‌کند، هدایت الکتریکی آن کاهش پیدا کرده و در ماه‌هایی که حجم مخزن کاهش پیدا می‌کند، هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. شکل ۱۲ نشان دهنده میانگین ماهانه حجم مخزن و حجم سرریز سد بر حسب میلیون متر مکعب در طول ۳۳ سال دوره آماری می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در ماه‌هایی از سال که حجم مخزن سد به اندازه تراز نرمال آن می‌گردد (حجم ۱۱/۲۳ میلیون متر مکعب)، سد سرریز دارد و در سایر ماه‌ها سرریزی ندارد. بر این اساس در طول ۳۳ سال دوره آماری (۳۹۶ ماه)، در ۸۰ ماه سد سرریز داشته و در سایر ماه‌ها سرریزی ندارد. شکل ۱۳ نشان دهنده میانگین ماهانه حجم و هدایت الکتریکی مخزن سد می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین مخزن سد بالاترین حجم را دارا می‌باشد که در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت مخزن سد دارای کمترین مقدار هدایت الکتریکی می‌باشد. بر اساس شبیه‌سازی کیفی، حداکثر هدایت الکتریکی مخزن سد ۱۱۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و حداقل مقدار آن ۳۱۵۷ میکرو موس بر سانتی‌متر می‌باشد.

جدول ۴. میانگین ماهانه و سالانه نیاز، تأمین و کمبود آب شرب سد برحسب میلیون متر مکعب

Table 4. Average monthly and annual demand, supply and shortage of drinking water of the dam in million cubic meters

Month	Average demand	Average supply	Average shortage	Standard deviation
Oct	0.092	0.081	0.01	0.007
Nov	0.092	0.086	0.006	0.004
Dec	0.092	0.092	0	0
Jan	0.092	0.092	0	0
Feb	0.092	0.092	0	0
Mar	0.092	0.092	0	0
Apr	0.092	0.092	0	0
May	0.092	0.089	0.003	0.002
Jun	0.092	0.086	0.006	0.004
Jul	0.092	0.081	0.011	0.008
Aug	0.092	0.083	0.008	0.006
Sep	0.092	0.081	0.011	0.008
Annual	1.1	1.045	0.055	0.039

جدول ۵. میانگین ماهانه و سالانه نیاز، تأمین و کمبود آب محیط زیست سد برحسب میلیون متر مکعب

Table 5. Average monthly and annual water demand, supply and shortage of the dam environment in terms of million cubic meters

Month	Average demand	Average supply by reservoir	Average supply by spill	Average total supply	Average shortage	Standard deviation
Oct	0.027	0	0.025	0.025	0.002	0.002
Nov	0.217	0	0.212	0.212	0.005	0.003
Dec	0.473	0.193	0.28	0.473	0	0
Jan	0.526	0.223	0.303	0.526	0	0
Feb	0.552	2.97E-01	2.54E-01	0.552	0.00E+00	0.00E+00
Mar	0.12	0.016	0.104	0.12	0	0
Apr	0.184	0	0.184	0.184	0	0
May	5.70E-02	0	0.051	5.10E-02	0.006	0.004
Jun	0.046	0	0.042	0.042	0.004	0.003
Jul	0.121	0	0.104	0.104	0.017	0.012
Aug	0.083	0	0.076	0.076	0.007	0.005
Sep	0.123	0	0.11	0.11	0.013	0.009
Annu	2.528	0.729	1.745	2.474	0.054	0.038

جدول ۶. میانگین ماهانه و سالانه نیاز، تأمین و کمبود آب صنعت سد برحسب میلیون متر مکعب

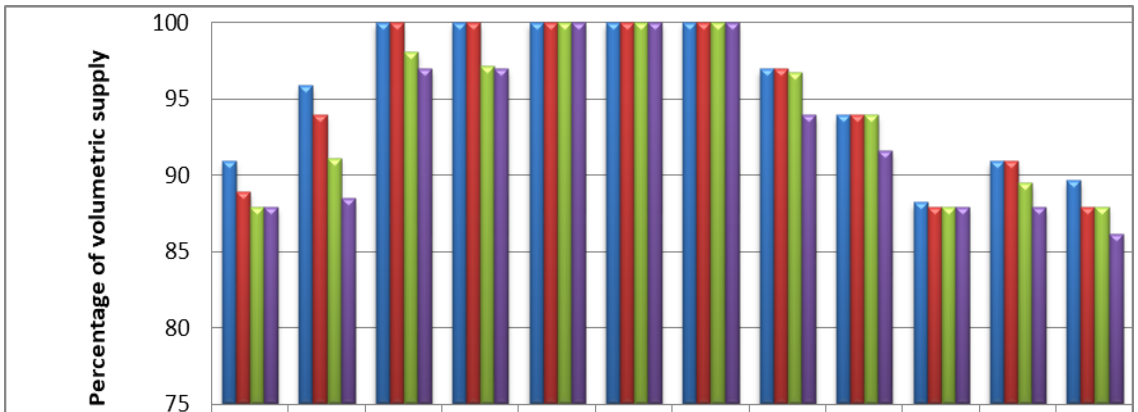
Table 6. Monthly and annual average demand, supply and shortage of industrial water of the dam in million cubic meters

Month	Average demand	Average supply	Average shortage	Standard deviation
Oct	0.375	0.33	0.045	0.032
Nov	0.375	0.342	0.033	0.024
Dec	0.375	0.368	0.007	0.005
Jan	0.375	0.364	0.011	0.007
Feb	0.375	0.375	0	0
Mar	0.375	0.375	0	0
Apr	0.375	0.375	0	0
May	0.375	0.363	0.012	0.009
Jun	0.375	0.352	0.023	0.016
Jul	0.375	0.33	0.045	0.032
Aug	0.375	0.336	0.039	0.028
Sep	0.375	0.33	0.045	0.032
Annual	4.5	4.238	0.262	0.185

جدول ۷. میانگین ماهانه و سالانه نیاز، تأمین و کمبود آب کشاورزی سد برحسب میلیون متر مکعب

Table 7. Monthly and annual average demand, supply and shortage of agricultural water of the dam in million cubic meters

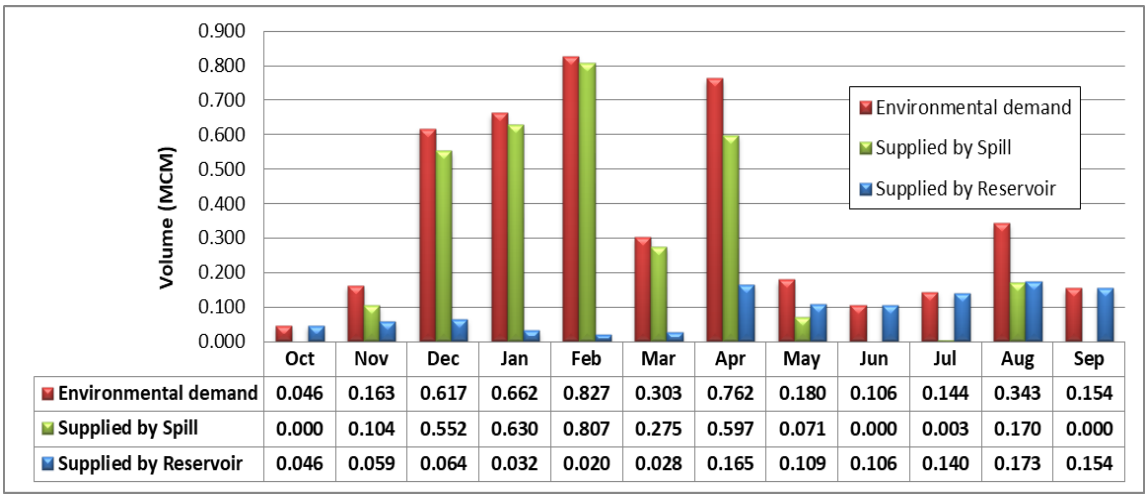
Month	Average demand	Average supply	Average shortage	Standard deviation
Oct	0.281	0.247	0.034	0.024
Nov	0.215	0.19	0.025	0.017
Dec	0.086	0.083	0.003	0.002
Jan	0.042	0.041	0.001	0.001
Feb	0.068	0.068	0	0
Mar	0.122	0.122	0	0
Apr	0.17	0.17	0	0
May	0.243	0.228	0.015	0.01
Jun	0.272	0.249	0.023	0.016
Jul	0.232	0.204	0.028	0.02
Aug	0.21	0.185	0.025	0.018
Sep	0.314	0.27	0.043	0.031
Annual	2.253	2.056	0.197	0.139



	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Environmental	90.91	95.86	100	100	100	100	100	96.97	93.94	88.2	90.91	89.63
Domestic	88.87	93.94	100	100	100	100	100	96.97	93.94	87.88	90.91	87.88
Industrial	87.88	91.11	98.06	97.19	100	100	100	96.75	93.94	87.88	89.48	87.88
Agricultural	87.88	88.48	96.97	96.97	100	100	100	93.94	91.57	87.88	87.88	86.16

شکل ۸. میانگین ماهانه درصد تأمین حجمی آب شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی صنعتی از سد

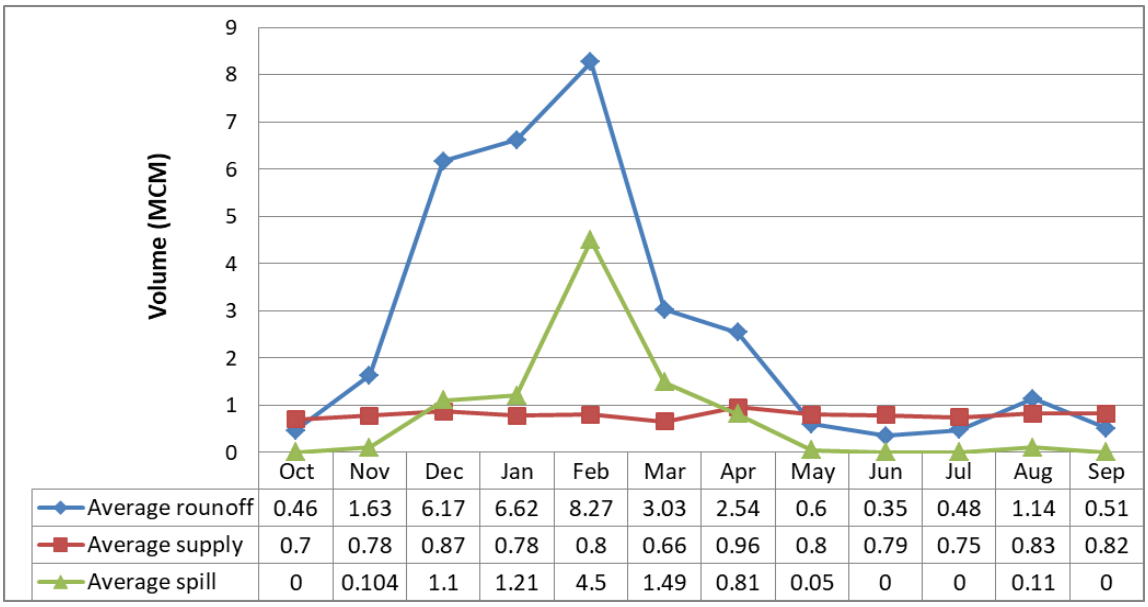
Fig. 8. Monthly average percentage of volume supply of drinking, environmental, industrial and agricultural water from the dam



	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Environmental demand	0.046	0.163	0.617	0.662	0.827	0.303	0.762	0.180	0.106	0.144	0.343	0.154
Supplied by Spill	0.000	0.104	0.552	0.630	0.807	0.275	0.597	0.071	0.000	0.003	0.170	0.000
Supplied by Reservoir	0.046	0.059	0.064	0.032	0.020	0.028	0.165	0.109	0.106	0.140	0.173	0.154

شکل ۹. میانگین ماهانه حجم نیاز زیست محیطی به همراه حجم تأمین آن از سرریز و مخزن سد (بر حسب میلیون متر مکعب)

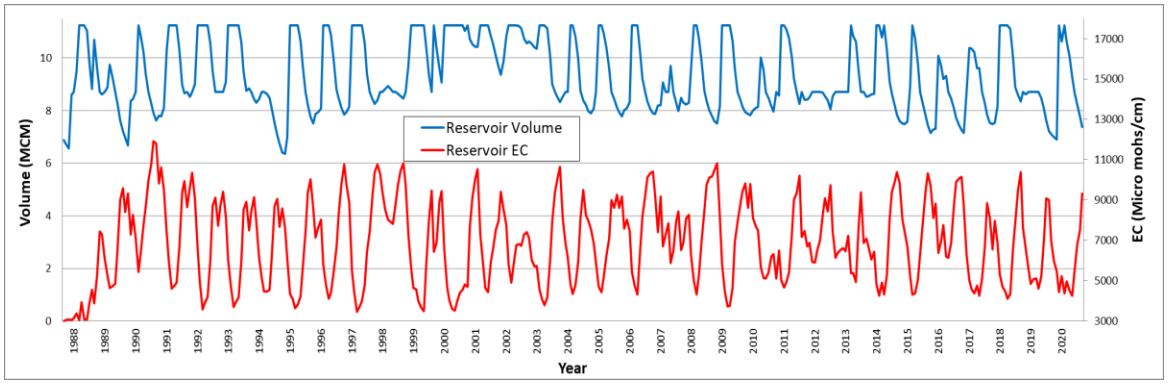
Fig. 9. The monthly average volume of environmental demand along with the volume of its supply from the spillway and reservoir of the dam (in million cubic meters)



	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Average rounoff	0.46	1.63	6.17	6.62	8.27	3.03	2.54	0.6	0.35	0.48	1.14	0.51
Average supply	0.7	0.78	0.87	0.78	0.8	0.66	0.96	0.8	0.79	0.75	0.83	0.82
Average spill	0	0.104	1.1	1.21	4.5	1.49	0.81	0.05	0	0	0.11	0

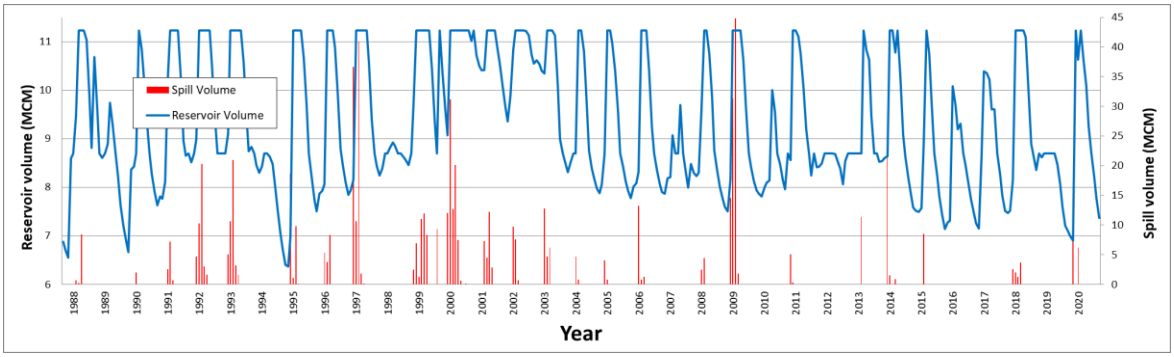
شکل ۱۰. میانگین ماهانه حجم رواناب، سرریز و حجم کل تأمین آب سد بر حسب میلیون متر مکعب

Fig. 10. Monthly average volume of runoff, overflow and total water supply volume of the dam in million cubic meters



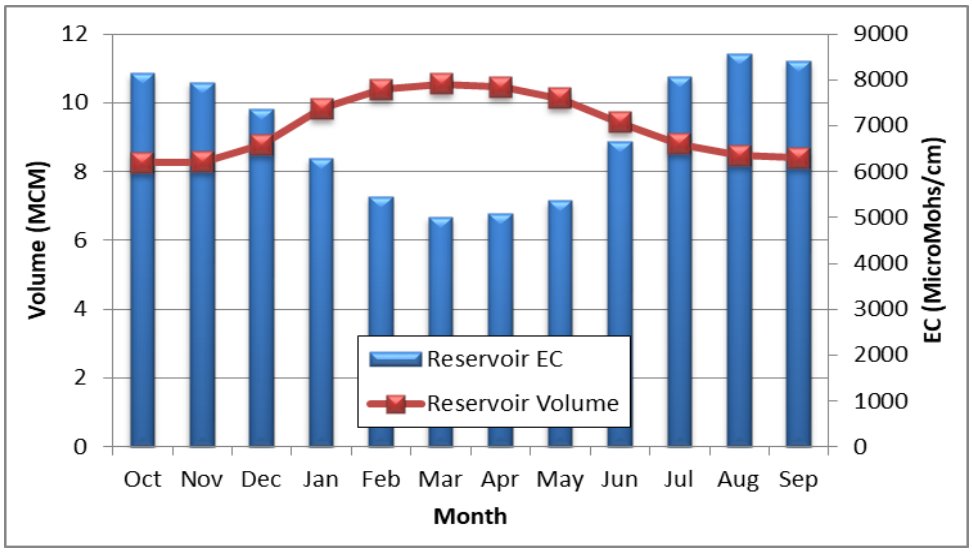
شکل ۱۱. مقادیر ماهانه حجم (بر حسب میلیون متر مکعب) و هدایت الکتریکی (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر) مخزن سد

Fig. 11. Monthly values of the volume (in million cubic meters) and electrical conductivity (in microms/cm) of the dam reservoir



شکل ۱۲. مقادیر ماهانه حجم مخزن و سرریز سد (بر حسب میلیون متر مکعب)

Fig. 12. Monthly values of reservoir volume and dam overflow (in million cubic meters)



شکل ۱۳. مقادیر میانگین ماهانه حجم (بر حسب میلیون متر مکعب) و هدایت الکتریکی (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر) مخزن سد

Fig. 13. Monthly average values of the volume (in million cubic meters) and electrical conductivity (in microms/cm) of the dam reservoir

نتیجه‌گیری

سد کمشک در ۳/۶ کیلومتری بالادست روستای کمشک با حجم نرمال قرار دارد که در محل ورودی رودخانه مهران به استان هرمزگان بوده و حوضه آبریز آن عمدتاً در استان فارس قرار دارد. محدوده مورد مطالعه از نظر آب و هوایی جزء مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. حداقل ارتفاع محدوده ۳۴۴ متر، حداکثر ارتفاع ۲۱۵۹ متر و متوسط ارتفاع آن ۶۵۷ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. نیازهای آبی سد به ترتیب اولویت ۱) شرب، ۲) محیط زیست و ۳) صنعت و ۴)کشاورزی می‌باشد. با توجه به این موضوع که این سد در حال ساخت می‌باشد، بنابراین اطلاعات حجم واقعی مخزن جهت ارزیابی و صحت سنجی مدل موجود نبوده و بنابراین مدلسازی به روش شبیه‌سازی احتمالی صورت گرفته است. بر این اساس درصد تأمین حجمی نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی سد به ترتیب ۹۵/۵۳، ۹۵/۰۲، ۹۴/۱۸ و ۹۳/۱۴ درصد می‌باشد و درصد تأمین زمانی نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی به ترتیب ۹۵/۱۹، ۹۴/۹۴، ۹۳/۶۷ و ۹۲/۹۱ درصد می‌باشد که همگی در محدوده قابل قبول وزارت نیرو بر اساس نظام نامه تخصیص ۲ وزارت نیرو می‌باشند. در این تحقیق مدلسازی کیفی مخزن سد با در نظر گرفتن دبی پایه ۱۰۰۰۰ (در بدبینانه‌ترین حالت ممکن، با توجه به حضور گنبدهای نمکی متعدد و حجم تبخیر بسیار بالا) و رواناب ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر شبیه‌سازی گردید که بر این اساس حداکثر هدایت الکتریکی مخزن سد ۱۱۹۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر محاسبه گردید. با توجه به این موضوع که آب زیرزمینی در این منطقه دارای هدایت الکتریکی میانگین ۷۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد و کمبود شدید آب در منطقه وجود دارد، برای صنایع موجود در منطقه استفاده از آب سد با این کیفیت (در بدبینانه‌ترین حالت ممکن) و شیرین‌سازی آن همچنان به صرفه می‌باشد.

قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری شرکت مهندسین مشاور پورآب فارس جهت تهیه اطلاعات تحقیق و سایر همکاری‌های ایشان در راستای این تحقیق بویژه جناب آقایان دکتر

ده‌بزرگی و دکتر قادری کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین از شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس و هرمزگان جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات اولیه این پژوهش بسیار سپاسگزاریم.

References

Ahmad, S., & Simonovic, S.P. (2000). System dynamics modeling of reservoir operation for flood management, Journal of Computing in Civil Engineering, 3, 190-198.

Alami, M.T., Farzin, S., Ahmadi, M.H. & Aghabalaei, B. (2013). Dynamic optimization of dam and underground water system for optimal water management (case study: Golak Dam), Journal of Civil Engineering and Environment, 44(1), 1-11. (In Persian)

Alizadeh, a., (2002), Applied hydrology. Mashhad university publications.

Ashofteh, P.S. & Bozorg Haddad, O. (2014). Akbari-Alashti, H., Marino, M.A.. Determination of irrigation allocation policy under climate change by genetic programming. American Society of Civil Engineers, 04014059, 1-12.

Gelian, S., Abrishamchi, A. & Djirishi, M. (2014). Analysis of water resource exploitation policies in the watershed using system dynamics method, Water and Wastewater Scientific-Research Quarterly, 63-70. (In Persian)

Chen, C. H., Liu, W. L. & Liaw, S. L. (2005). Development of a Dynamic Strategy Planning Theory and System for Sustainable River Basin Land Use Management. Science of the total Environment, 346 (1), 17-37.

Faghih, N. (2014). Dynamic Systems: Principles and Identity Determination, Organization for the Study and Compilation of Position. (In Persian)

Fotukian, M.R., Safari, N. & Zarghami, M. (2016). Dynamic modeling of the Yamchi reservoir dam system by applying the optimal cultivation model to develop the exploitation policy, Iran Water Resources Research, 1(3), 1-16. (In Persian)

Ghashghaie, M., Marofi, S. & Marofi, H. (2014). Using system dynamics method to determine the effect of water demand priorities on downstream flow. Water Resource Management, 28, 5055-5072.

Jalali, M. R. & Afshar, A. (2004). Dynamic simulation of electric power generation system. The first annual conference on water resources management in Iran, Technical College of Tehran University, Tehran, November 26-27, Iran. (In Persian)

Keyes, A. M. & Palmer, P.N. (1993). The role of object-oriented simulation models in the drought preparedness studies. Proc., 20thAnnu. Int. Conf., Water Resources Plan. And Manage., ASCE, Seattle, Washington, 479-482.

Kotir, JH., Smith, C., Brown, G., Marshall, N. & Johnstone, R. (2016). A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agriculture development in the Volta river basin, Ghana. Science of the Total Environment, 573, 444-457.

Madani, K. & Marino, M.A. (2009). System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. Water Resources Management, 23, 2163-2187.

Mohammadi, H., Akbarpour, A. & Bagheri, A. (2017). Modeling the interaction of water resources and the added value of Birjand Plain, Journal of Modeling in Engineering, 16(55), 279-298. (In Persian)

Nazari, A., Seyed Mousavi, S. M., Visi, S., Maddi, M. R. & Shah Noorian, M. M. (2011). Investigation of methods for calculating the environmental discharge of rivers; A case study of the Pasikhan river located in Gilan province, the third national conference on comprehensive water resources management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 20-21 Shahrivar, Iran. (In Persian)

Sadeghi, N. , Abrishamchi, A. & Jirajshi, M. (2013). Modeling reservoir utilization for flood control using system dynamic analysis method. First National Congress of Civil Engineering, Sharif University of Technology. (In Persian)

Salavitabar, A., Zarghami, M. & Abrishamchi, A. (2015). System dynamics model in urban water

management in Tehran, 59, Water and Wastewater Scientific Research Quarterly, 28-12. (In Persian)

Sheikh Khozani, Z., Hosseini, K. & Rahimian, M. (2011). Modeling the exploitation of multi-purpose reservoirs using the system dynamics method. Journal of modeling in engineering, 8(21), 57-65. (In Persian)

Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics. McGraw-Hill, Boston.

Simonovic, S.P. & Fahmy, H. (1999). A new modeling approach for water resources policy analysis. J.Water Resources Research, 35(1), 295-304.

Simonovic, S. P. & Rajasekaram, V. (2004). Integrated analyses of Canada's water resources: A system dynamics approach. Canadian Water Resources Journal, 29(4), 223-250.

Yang, J., Lei, K., Khu, S. & Meng, W. (2015). Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model. Water Resource Management, 29, 885-899.

Zarghami, M. & Amir Rahmani, M. (2015). Toward effective water diplomacy by using system dynamics: Case study. The 33rd International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts, USA.

Walton, N.R.G., (1989), Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids What Is Their Precise Relationship? Desalination, 72, 275-292.