Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 2, Issue 1

Evaluating the operation of dams under different management programs using the WEAP model (case study: Kardeh Dam of Mashhad)

Yousef Akbari[1], Zahra Shamsi[2] , Zabihollah Khani Temeliyeh[3*], Rasoul Mirabbasi Najafabadi[4]

[1] MSc in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
[2]Ph.D. Student of Hydraulic Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran
[3]Ph.D. Graduated of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
Expert in Watershed, Organization of Agricultural Research and Natural Resources of Khuzestan Province, Khuzestan, Iran
[4] Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
Received:29.03.2023; Accepted:02.07.2023

Abstract

The critical situation of water in the country and the increasing demand for water in different sectors, today requires the necessity of proper planning for the use of different water resources. Evaluating the impact of different exploitation scenarios using simulation methods and comprehensive planning of water resources plays a very important role in the management of these resources. The models that have been used are 1) WRM model (water resources planning) 2) WEAP model(Water Evaluation And Planning System) due to their comprehensiveness in considering the combination of physical, hydrological, and management processes in the simulation, the ability to evaluate scenarios and water allocation, learning its use in Different parts of the world and free access are among the most used models. Evaluating the impact of different exploitation scenarios using simulation methods and comprehensive planning of water resources plays a very important role in the management of these resources. The models that have been used 1) WRM model (water resources planning) 2) WEAP model due to its comprehensiveness in considering the combination of physical, hydrological, and management processes in the simulation, the ability to evaluate scenarios and water allocation, learning its use in Different parts of the world and free access are among the most used models. The main goal of this research is management and comprehensive planning to optimally use the available water resources of Karde dam, using the WEAP model, and supply the demand in the agriculture and drinking sectors, considering the growth of their needs in the future. For this purpose, Karde Dam was first simulated in the environment of WEAP model and the model was implemented for basic conditions and seven different scenarios of development plans. According to the results obtained for the reference scenario, this dam alone does not respond to all the needs defined completely in the horizon of the project, except by applying management measures in the form of scenarios, which will reduce water consumption in different sectors of demand. Among these scenarios are demand management, increasing irrigation efficiency, using both at the same time in one scenario, changing or reducing the cultivation pattern, etc. As a result, by applying the low irrigation scenario and increasing the efficiency at the same time, it is possible to reduce the lack of water demand by 37% compared to the reference scenario, and the reservoir storage volume in this scenario increases by 25% compared to the reservoir storage volume in the reference scenario.

Keywords: Kardeh dam, Management, Simulation, WEAP model, Water resources.

* Corresponding author, Email:z.khani1060@yahoo.com

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست"
دوره دوم، شماره اول
http:// Nawee.gonbad.ac.ir

ارزیابی بهره برداری از سدها تحت برنامه های مختلف مدیریتی با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: سد کارده مشهد)

یوسف اکبری[۱]، زهرا شمسی[۲]، ذبیح الله خانی تملیه*[۳]، رسول میرعباسی نجف آبادی[۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل،زابل، ایران
[۲] دانشجوی دکترای سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران
[۳] دانش آموخته دکترای مهندسی منابع آب ، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
کارشناس آبخیزداری، سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، خوزستان ایران
[۴] دانشیار، گروه مهندسی آب ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹؛ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۴/۱۱

چکیده

وضعیت بحرانی آب در کشور و افزایش روز افزون نیاز آبی در بخش های مختلف، امروزه ضرورت برنامه ریزی مناسب جهت بهره برداری از منابع مختلف آبی را ایجاب می نماید. ارزیابی تأثیر سناریوهای متفاوت بهره برداری با استفاده از روش های شبیه سازی و برنامه ریزی جامع منابع آبی در مدیریت این منابع نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. مدلهایی که بکار گرفته شده‌اند ۱) مدل WRM (برنامه ریزی منابع آب) ۲) مدل WEAP به دلیل جامعیت در لحاظ کردن توأم فرآیندهای فیزیکی، هیدرولوژیکی و مدیریتی در شبیه سازی، قابلیت ارزیابی سناریوها و تخصیص آب، فراگیری استفاده از آن در نقاط مختلف دنیا و دسترسی رایگان از جمله مدل های پرکاربرد می باشد. هدف اصلی در این تحقیق مدیریت و برنامه ریزی جامع در راستای استفاده بهینه از منابع آب موجود سد کارده، با استفاده از مدل WEAP و تأمین تقاضا در بخش کشاورزی و شرب، با توجه به رشد نیاز آنها در آینده می باشد. به همین منظور ابتدا سد کارده در محیط مدل WEAP شبیه سازی شد و مدل برای شرایط پایه و هفت سناریوی مختلف طرح های توسعه اجرا گردید. با توجه به نتایج بدست آمده برای سناریوی مرجع، این سد به تنهایی پاسخگوی تمام نیازهای تعریف شده به طور کامل در افق طرح نمی باشد، مگر با اعمال اقداماتی مدیریتی در قالب سناریوها، که باعث کاهش مصرف آب در بخش های مختلف تقاضا شود. از جمله این سناریوها مدیریت تقاضا، افزایش راندمان آبیاری، بکارگیری هر دو به طور همزمان در یک سناریو، تغییر یا کاهش الگوی کشت و ... می باشد. در نتیجه با اعمال سناریوی کم آبیاری و افزایش راندمان بطور هم زمان می توان عدم تامین نیاز آب را ۳۷ درصد نسبت به سناریو مرجع کاهش داد و حجم ذخیره مخزن در این سناریو ۲۵ درصد نسبت به حجم ذخیره مخزن در سناریو مرجع افزایش می یابد.

واژه‌های کلیدی: سد کارده، مدیریت، شبیه سازی، مدل **WEAP**، منابع آب.

* نویسنده مسئول: z.khani1060@yahoo.com

مقدمه

رشد جمعیت، توسعه صنعتی، پیدایش سریع فن‌آوریهای جدید، جهان را تغییر می‌دهند. افزایش تقاضای آب برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعتی، رقابت بر سر تخصیص منابع محدود آب را بین مناطق مختلف و بین انواع مصرف‌کنندگان تشدید می‌کند. کمبود منابع آب شیرین، یکی از بزرگترین مسائلی است که به طور روزافزون جهان در حال توسعه با آن مواجه است. شور شدن و آلودگی آب فشارهایی را به کیفیت آب و زمین اعمال می‌نماید که این مسئله اغلب از مصرف زیاد آب جهت مصارف کشاورزی و آبیاری ناشی می‌شود. مدیریت منابع آب به عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست-محیطی و اجتماعی را در یک قالب بهم پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب است که باید اصلی‌ترین روش برای دست‌یابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی باشد. مدیریت جامع باید نیاز تمامی بهره‌برداران آب را لحاظ نماید (Loucks *et al*., 2005). در تحلیل سیاست‌های آبی بر استفاده از مدل‌ها، تکیه بسیاری شده است (Loucks *et al*., 2005). مدل‌ها به ما کمک می‌نمایند تا روابط ساختاری میان متغییرهای مهم را شناسایی نماییم، به این ترتیب پیامدها و نتایج حاصل از یک سیاست خاص، قابل پیش‌بینی می‌باشد. هدف از ساخت مدل تجزیه و تحلیل پیشرفت سیاست‌ها می‌باشد (Simonovic and fahmy., 1999). مؤسسه‌ی - محیط‌زیست استکهلم حمایت اصلی را از توسعه‌ی WEAP انجام داده است این نرم‌افزار در سال ۱۹۸۸ و با هدف تبدیل شدن به ابزاری برای برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر، جامع و شفاف به منظور ارزیابی پایداری تقاضاهای حال حاضر آبی و الگوهای تأمین آب و ارزیابی سناریوهای بلند مدت مختلف، توسعه یافت. مرکز مهندسی هیدرولوژی جامعه مهندسین ارتش آمریکا بودجه زیادی را برای پیشرفت آن تخصیص داده است. تعدادی از نهادها از جمله بانک جهانی و صندوق زیربنای جهانی ژاپن از این طرح حمایت کرده‌اند. WEAP در ارزیابی آب در چندین کشور از جمله آمریکا، مکزیک، برزیل، آلمان، غنا، بورکینافاسو، کنیا، آفریقای جنوبی، موزامبیک، مصر، عمان، آسیای میانه، سری لانکا، هند، نپال، چین، کره جنوبی و تایلند به‌کار گرفته شده است (Sieber and purkey., 2011). در زمینه کار کردن با این مدل مطالعات مختلفی صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Movahed Atar and Samadi (2014)، عملکرد شبکه های سد زاینده رود در دوره خشکسالی با استفاده از مدلWEAP مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند، نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد که سناریوی کاهش سطح زیرکشت گیاهان پرمصرف بترتیب کاهش، ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصدی می‌باشد و سناریوی برگزیده SC2 که از نظر تأمین و اعتماد پذیری و تأمین نیازهای آبی و حداکثر حجم آب نگهداری شده در مخزن در طول سال نسبت به بقیه سناریوها شرایط بهتری را برای مخزن سد در دوران خشکسالی به‌همراه دارد. Kermanshahi et al, (2013) ، مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد که، با اعمال این سناریوهای تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت و ترکیب آنها، میانگین سالانه نیاز آبیاری به ترتیب حدود ۹, ۱۰ و ۱۸ درصد کمتر خواهد شد و متعاقبا از رقم میانگین کسری سالانه مخزن به ترتیب ۱۳, ۸ و ۱۸ درصد کاسته می شود. به بیانی دیگر این راهبردها می توانند نقش بسزایی در کاهش تقاضای آب کشاورزی, و در نتیجه کاهش برداشت از منابع آب منطقه داشته باشند. Mirzaie Nodoushan et al,(2015) مدل WEAP را برای مدل سازی شرایط خشکسالی مورد مطالعه قرار دادند، نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد که، افزایش کارایی نرم افزار WEAP در مدل سازی شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی از یک درصد در سد وشمگیر تا ۳۷ درصد در سد گلستان بوده است. شایان ذکر است که مدل الحاقی به صورت یک مدل عمومی توسعه پیدا کرده و قابل بکارگیری در حوضه های مختلف می باشد. Dehghan et al, (2015) برنامه ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مدیریتی در حوضه گرگان‌رود را مورد مطالعه قرار دادند آنها برای این منظور از مدل WEAP

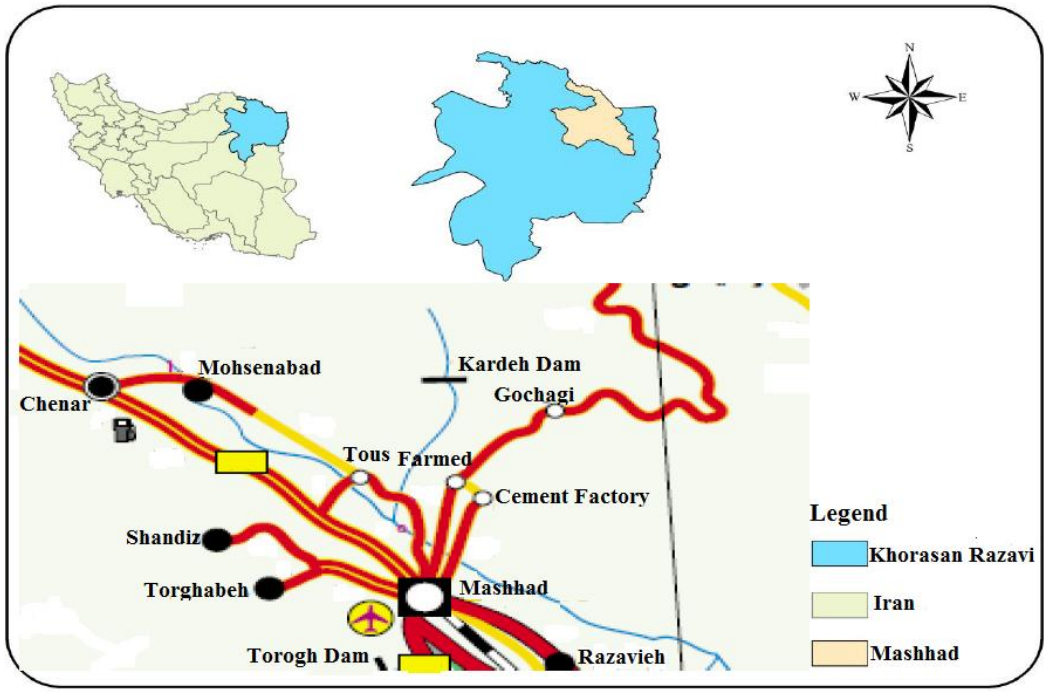
استفاده کردند. نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد در برنامه ریزی جدید تخصیص منابع آب حوضه گرگان‌رود می توان با پذیرفتن ۵٪ کاهش اعتماد پذیری سیستم, نیاز صنعت حاشیه سد وشمگیر را به میزان ۹/۵ میلیون متر مکعب تامین کرد. در نظر نگرفتن رسوب گذاری مخزن در مدل سازی, میزان اعتماد پذیری سیستم را به میزان قابل توجهی کاهش داد. لحاظ نمودن کاهش رسوب گذاری در مخزن, (هر پنج سال به میزان ۱ میلیون متر مکعب) ازیک طرف و افزایش راندمان آبیاری از طرف دیگر می تواند اعتمادپذیری سیستم را در برنامه ریزی حفظ کند. Malmir et al, (2016)، ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیم بر تخصیص آب کشاورزی در سطح حوضه قره سو با مدلWEAP را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مدل اقلیمی، نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دورهی مورد نظر نسبت به دوره پایه (۲۰۰۰- ۱۹۷۱) می باشد. بطوریکه تحت سناریوی اقلیمی ,A2 افزایش ۱.۶ درجه سانتیگراد دما و کاهش ۱.۷۷ درصد بارندگی در منطقه و به تبع این افزایش دما و کاهش بارندگی، برای رودخانه قره سو نیز ۳۲.۶۲ درصد کاهش آبدهی پیش بینی می-شود. بررسی نتایج مدل WEAP تحت سناریوهای اقلیمی, در وضعیت سطح زیر کشت کنونی، نشان دهنده افزایش نیاز تامین نشده بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در دوره آتی می باشد. Amini et al,(2017) ، ارزیابی مدیریت منابع آب در حوضه گاماسیاب استان کرمانشاه با استفاده از مدلWEAP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بیانگر پوشش کامل نیازها در محدودهٔ سد بیستون در شرایط موجود و کمبود آب در صورت به بهره برداری رسیدن سدهای پیش بینی شده در حوضه می‌باشند. Salehpoor et al,(2018) ، مدیریت تخصیص منابع آب در حوضه آبخیز حبله رود را با ترکیب مدل های SWAT و WEAP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد اراضی کشاورزی محدوده فیروزکوه و اراضی شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار با بحران کمبود آب به ویژه در ماه های گرم سال مواجه هستند. بنابراین سناریوهایی مانند تغییر الگوی کشت, کاهش سطح زیر کشت, کاهش سرانه مصرف آب در گره های نیاز شهری و روستایی, افزایش راندمان آبیاری و سناریوهای ترکیبی, برای به تعادل رساندن عرضه و تقاضای آب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با به کارگیری هم زمان راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب (افزایش راندمان آبیاری, کاهش سرانه مصرف و تغییر الگوی کشت), بهتر از حالت استفاده منفرد از هر کدام از سناریوها می توان برداشت آب از منابع مختلف را کاهش داد و به تعادل در عرضه و تقاضای آب در حوضه دست یافت.(Ashrafi et al, (2019 ، شبیه سازی هیدرولوژیک حوضه ی آبخیز الند را با استفاده از مدل WEAP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از شبیه سازی مدل در خروجی حوضه ی آبخیز نشان داد شاخص های آماری ضریب تعیین و ضریب نش ساتکلیف در دوره ی واسنجی به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۸۵ و در دوره ی اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۷۹ و ۰/۷۸ بودند. این نتایج بیان کننده ی عملکرد خوب مدل WEAPدر شبیه سازی رفتار هیدرولوژیک اعم از بارش-رواناب, جریان پایه, آب زیرزمینی و سایر اجزای بیلان آبی حوضه ی آبخیز الند است. همچنین نتایج شبیه سازی سناریوی تأمین آب شرب منطقه از سد آق چای بیان کننده ی کاهش در افت سطح آب زیرزمینی و افزایش حجم آبخوان به میزان سالیانه ۵/۴ میلیون مترمکعب بود . Mardanian et al, (2020) ، تخصیص بهینه منابع آب حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از مدلWEAP مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور چهار سناریوی محتمل شامل سناریوی مرجع, سناریوی بدبینانه، سناریوی خوش بینانه و سناریوی واقع گرایانه در ده سال آینده را در مدل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد به ترتیب درسناریوی مرجع، بدبینانه، خوش بینانه و واقع گرایانه ۵۱، ۷۹، ۳۰ و ۴۱ میلیون مترمکعب از حجم تقاضا قابل تأمین نیست. با توجه به حجم بالای نیاز آبی در بخش کشاورزی, نیاز به مدیریت و برنامه ریزی ویژه در این بخش جهت جلوگیری از افت آب زیرزمینی, کاملاً ملموس می باشد. همچنین نیاز بخش کشاورزی در حوزه مورد مطالعه به صورت رقیب حقابه محیط زیست عمل می کند و بدون مدیریت زمین, مدیریت بخش آب با تنش مواجه خواهد بود. Layani et al,(2022) ، اثرات تغییر شرایط آب و هوایی بر بخش کشاورزی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد را با استفاده از مدل WEAP مورد مطالعه قرار دادند.

نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال سناریوی اقلیمی بدبینانه بهره وری اقتصادی و فیزیکی نهاده آب نسبت به سناریو پایه برای تمامی محصولات کاهش می یابد که این امر پیامدهای منفی رخداد پدیده تغییر اقلیم را در محدوده مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد و برای کشاورزان این منطقه بازگو می‌کند (2022) ,et al RabieiFar ، ارزیابی مدیریت مصرف سد ایوشان برای مصارف مختلف را با استفاده از مدل WEAP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیقشان نشان داد که نیاز زیست محیطی منطقه تحت سناریوهایی که مورد مطالعه قرار دادند، در ماه‌های فروردین و اردیبهشت در طول دوره شبیه‌سازی حدود ۱۰٪ کمتر از حد مجاز تأمین شده و این برای ماه‌های بهار که بایستی حدود۶۰٪ باشد نامطلوب می‌باشد از جمله مطالعات دیگر می‌توان به مطالعات (Mohamadpoor et al, 2016; Vafakhah et al,2015; Ahmadi 2022; Noon et al, 2022) اشاره کرد. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی بهره برداری از سدها تحت برنامه های مختلف مدیریتی با استفاده از مدل WEAP در سد کارده مشهد می‌باشد. در این پژوهش مواردی که در مطالعات قبلی بکار گرفته نشده است یعنی بکاربردن سناریوهای مختلف در حوزه مدیریتی درآن بررسی و بکار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبخیز کارده با مساحت ۵۵۷/۹ کیلومترمربع در شمال شرق ایران و شمال شهرستان مشهد و در محدوده مختصات جغرافیایی "۳۶ '۲۶ °۵۹ تا "۴۸ '۴۴ °۵۹ طول شرقی و "۱۷ '۳۷ °۳۶ تا "۲۵ '۵۸ °۳۶ عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه در دامنه جنوبی رشته کوه های هزار مسجد و زون کپه داغ واقع گردیده و از شمال به کوه های ساری میدان، کوه کمرو، کوه قوری قت، از جنوب به دشت مشهد، از شرق به کوه های صندوق شکن و سنجدی و از سمت غرب به کوه های گندچاه و زردبهره محدود می گردد. فاصله پایین ترین قسمت حوضه (خروجی حوضه) تا شهر مشهد ۴۲ کیلومتر می باشد. شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز کارده در استان خراسان رضوی و در محدوده شهرستان مشهد را نشان می دهد. طبق روش آمبرژه نیمی از وسعت حوضه که در ارتفاعات بالا قرار گرفته است دارای اقلیم کوهستانی مرتفع و نیمی دیگر دارای آب و هوای خشک و سرد می باشد. حال آنکه بر طبق روش دومارتن در حوضه ۳ نوع آب و هوا قابل تشخیص است . قسمتهای مرتفع حوضه دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد بوده و در قسمتهای پایین، آب و هوای خشک مسلط می باشد. آب و هوای نوع مدیترانه ای نیز در قسمتهای میانی حوضه مشاهده می گردد. منحنی آمبروترمیک حوزه کارده نشان می دهد که دوره خشکی از اوایل تیر شروع و تا اواسط مهر به مدت تقریبی ۱۲۰ روز ادامه دارد. تغییرات درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه زیاد است. با این وجود متوسط سالانه درجه حرارت از سالی به سال دیگر چندان زیاد نمی باشد و از ۱ تا ۲ درجه سانتی گراد تجاوز نمی کند. سردترین ماه سال (بهمن) با متوسط درجه حرارت ۴- و حداقل مطلق ۳۶- درجه سانتی گراد و گرمترین ما ه سال (تیر) با متوسط۱۶/۵ و حداکثر مطلق ۳۵ درجه سانتی گراد می باشد. متوسط بارندگی در بخش جنوبی حوضه ۳۷۴.۲ میلی متر و در ارتفاعات بخش شمالی به ۴۵۰ میلی متر می رسد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کارده در استان خراسان رضوی و در محدوده شهرستان مشهد

مدل WEAP

کار با WEAP معمولاً شامل چندین گام است. در تعریف مطالعه‌ی مورد نظر، چهارچوب 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، بارهای آلودگی، منابع و تأمین سیستم نشان می‌دهد. فرضیات کلیدی در شرایط موجود و برای بیان سیاست‌ها، هزینه‌ها و عواملی که بر نیاز، آلودگی، تأمین و هیدرولوژی مؤثرند، تعریف می‌شود. سناریوها در شرایط موجود ساخته می‌شوند و با استفاده از آن‌ها می‌توان اثر فرضیات یا سیاست‌های مختلف را بر میزان دسترسی و مصرف آب در آینده بررسی کرد. نهایتاً سناریوها با توجه به میزان آب، هزینه‌ها و سودها، سازگاری با اهداف زیست‌محیطی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی ارزیابی می‌شوند (Sieber and purkey., 2011). پارامترهای ورودی مدل شامل: داده‌های دبی اندازه‌گیری شده و تعمیم داده شده در محل سد کارده، آمار بارندگی ماهانه و تبخیر از سطح دریاچه سد، منحنی‌های ارتفاع- حجم سد، نیاز شرب و حقابه کشاورزی، داده‌های حجم بهینه، مفید، مرده سد و ترازهای مختلف سد می‌باشد. پارامترهای خروجی آن مقادیر تامین و عدم تامین نیاز شرب و حقابه کشاورزی، مقدار سرریز (در صورت وجود) و حجم آب موجود در دریاچه پشت سد می‌باشند. جهت محاسبه و برآورد پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی محدوده‌های مطالعاتی از آمار ایستگاه‌های تبخیرسنجی، باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو و همچنین ایستگاه‌های سینوپتیک، باران‌سنجی و کلیماتولوژی متعلق به سازمان هواشناسی موجود در مناطق استفاده گردیده است. در داخل و اطراف محدوده طرح مجموعا بالغ بر ۱۰ ایستگاه هواشناسی و باران‌سنجی شناسایی و پارامترهای اقلیمی آنها جمع‌آوری شد. از رودخانه کارده به مدت ۲۷ سال در فاصله سال‌های ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۰ اندازه‌گیری آبدهی بعمل آمده است که میانگین سالانه آبدهی رودخانه در این محل ۲۳/۹۰۹ میلیون مترمکعب در سال تعیین گردید. در مدل WEAP برای مدل‌سازی حوضه از یک ساختار شبکه گره- کمان استفاده می‌شود. در این تحقیق برای مدل-سازی سد از گره‌های مختلف نظیر تقاضای شرب وکشاورزی و کمان‌های مختلف شامل شبکه انتقال آب از منابع عرضه آب به سایت‌های تقاضا، شبکه برگشت آب و بازه‌های مختلف رودخانه استفاده شده است.

$$\Delta Q = Inflow + Rainfall - Evaporation \pm Q_{aq} - Q_{out} \quad (۱)$$

$$Q_{aq} = c(H_{lake} - H_{aquifer}) \quad (۲)$$

H_{lake}: *تراز آب دریاچه سد (متر).*

$H_{aquifer}$: تراز آب اکیفر (متر).

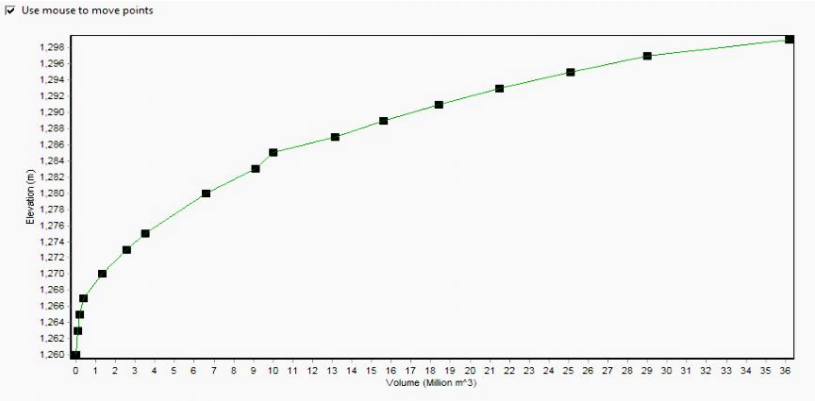
C: ضریب هدایت هیدرولیکی اکیفر (متر مربع در ماه).

Q_{aq}: ورودی یا خروجی فرضی اکیفر آب‌های زیرزمینی در محل اتصال به دریاچه سد ، (متر مکعب در ماه).

Q_{out}: خروجی‌ها مانند تقاضا (متر مکعب در ماه) (Becht and Harper., 2002)

نحوه استفاده از مدل WEAP به این صورت است که یک سال پایه (شرایط موجود)، در نظر گرفته شده و اطلاعات مورد نیاز برای این سال وارد مدل می‌شود سال پایه الزاما بهترین تخمین از سال‌های موجود نیست بلکه سالی است که داده‌های سالم با دقت مورد نیاز موجود باشد. در ادامه سال پایه، یک دوره آماری چند ساله به مدل داده می‌شود. در این تحقیق سال ۲۰۱۰ میلادی، معادل با سال ۱۳۸۹ به عنوان سال پایه و اولین ماه اکتبر معادل مهرماه، انتخاب شده است. داده‌های دوره آماری مربوط به سال-های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۰ برحسب متر مکعب بر ثانیه (CMS) به صورت قطعی و براساس آمار سال‌های گذشته تعیین و بعنوان Head Flow رودخانه، در مدل وارد شد. تا بتوان تا سال ۲۰۳۰، سال افق طرح شبیه‌سازی (تعیین محدوده پروژه، تنظیم پارامترهای عمومی، وارد کردن رودخانه در شماتیک، دبی پایه رودخانه، سایت بخش‌های تقاضا (تقاضای شهری، تقاضای کشاورزی)) لازم را انجام داد و نتایج مورد نظر را بدست آورد. ظرفیت ذخیره[۲] سد ۳۶/۲ میلیون متر مکعب و ذخیره اولیه[۳] سد در سال پایه ۸ میلیون متر مکعب تعیین شده است. ظرفیت اولیه مخزن در هر شبیه‌سازی باید معادل وضعیت مشاهداتی آن به مدل وارد شود. وضعیت اولیه با عنوان سناریوی مرجع معرفی می‌شود. شکل (۲) منحنی حجم- ارتفاع[۴] سد را نشان می‌دهد.

تبخیر خالص[۵] از اختلاف تبخیر ماهانه از سطح آزاد آب در دریاچه پشت سد و میزان بارندگی ماهانه بر روی دریاچه سد برای سال پایه در ماه‌های مختلف برحسب میلی‌متر بدست می‌آید. اطلاعات مربوط به میزان تبخیرخالص از دریاچه سد بر اساس متوسط بلندمدت تبخیر محاسبه شده و مطابق جدول (۱) و شکل (۳) به مدل وارد شده است. همچنین جدول (۲) خلاصه مشخصات فیزیکی و بهره‌برداری سد کارده در مدل WEAP را ارائه می‌کند و جدول (۳) سناریوهایی موجود در مدل را نشان می‌دهد.



شکل۲- منحنی حجم- ارتفاع سد

1. Storage Capacity
2. Initial Storage
3.Volume Storage Curve
5 . Net Evaporation

شکل ۳- شماتیک مدل حوضه سد کارده

جدول ۱-تبخیر خالص برای ماه های مختلف سال.

ماه	اکتبر	نوامبر	دسامر	ژانویه	فوریه	مارس
تبخیر خالص	۱۸۹/۲	۳۲/۷	۱/۸	-۴/۴	-۶/۲	-۲/۴
ماه	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر
تبخیر خالص	۵۱/۱	۱۵۰/۷	۲۵۳/۶	۲۹۶/۶	۳۵۸/۲	۳۱۳/۹

جدول ۲- خلاصه مشخصات فیزیکی و بهره برداری سد کارده در مدل WEAP.

مشخصات فیزیکی سد کارده	ظرفیت ذخیره مخزن (MCM)	ذخیره اولیه (MCM)	نمودار حجم، ارتفاع مخزن	ارتفاع تبخیر خالص از سطح مخزن (mm/month)
مقادیر ورودی به مدل	۳۶/۲	۸	-	-
مشخصات بهره‌برداری سد کاده	حد بالای حجم آب قابل تنظیم (MCM)	حد بالای حجم مرده سد(MCM)	حد بالای حجم بافر سد (MCM)	ضریب بافر
مقادیر ورودی به مدل	۲۸	۱/۶	۱/۶	۱

نتایج و بحث

سناریوها

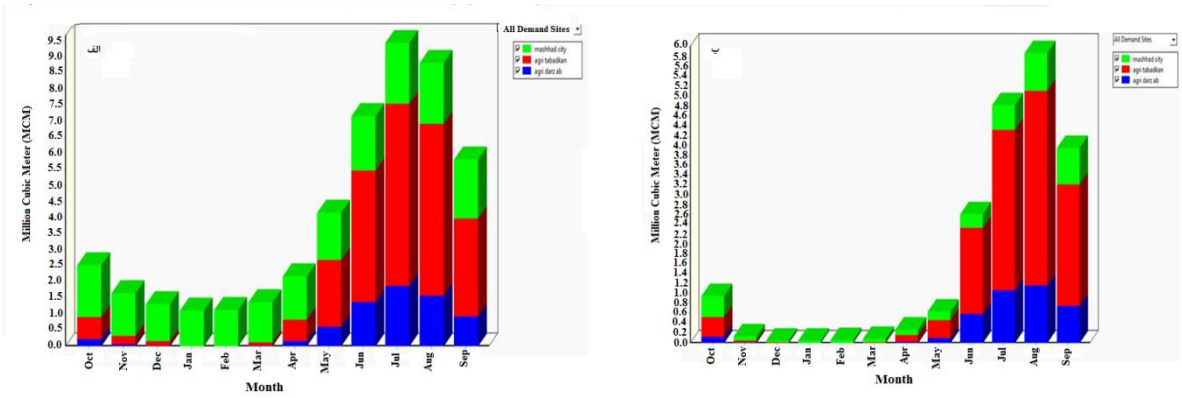
پس از واسنجی مدل و حصول نتایج رضایت‌بخش در این زمینه، مدل پیش‌رو جهت ارزیابی سناریوها و گزینه‌های مدیریتی آماده است. ارزیابی سناریوها با توجه به معیارهای عملکرد سیستم انجام می‌شود و در نهایت گزینه(های) مناسب انتخاب می‌گردد جدول (۳).

جدول ۳- سناریوها و مشخصات آنه

سناریوها	مشخصات
سناریوی مرجع	تقاضای شرب و کشاورزی (راندمان ۴۵ درصد)
سناریوی افزایش راندمان	افزایش راندمان کشاورزی از ۴۵ درصد به ۸۵ درصد
سناریوی ترسالی و خشکسالی	تاثیر تغییرات اقلیم در الگوی هیدرولوژیکی
سناریوی افزایش نرخ رشد جمعیت	افزایش نرخ رشد جمعیت از ۲/۵ درصد به ۴ درصد
سناریوی افزایش سطح زیر کشت	افزایش سطح زیر کشت از ۵۲۱۵ هکتار به ۷۰۰۰ هکتار
سناریوی افزایش راندمان و کم‌آبیاری (DM)	اعمال همزمان افزایش راندمان کشاورزی و مدیریت تقاضا در تمام بخش‌های تقاضا
سناریوی مدیریت تقاضا	اعمال کم آبیاری به میزان ۱۰ درصد به بخش های کشاورزی
سناریوی تغییر الگوی کشت	کاهش ۵۰ درصدی سطح زیر کشت محصولات زراعی

سناریوی پایه (مرجع)

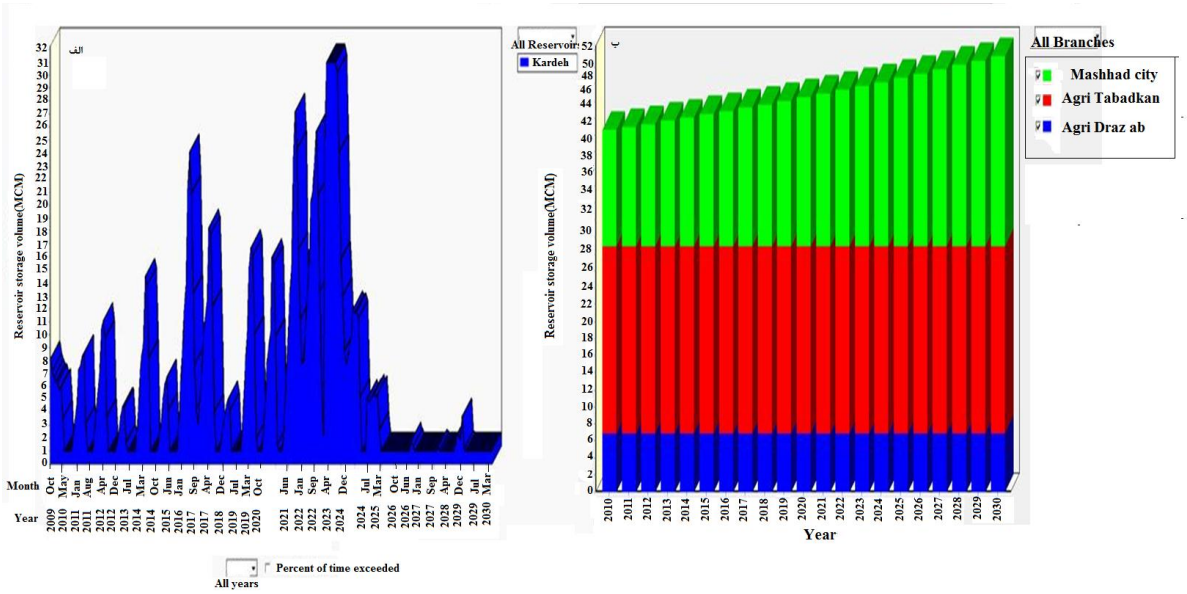
این سناریو یک سناریوی ساده است که چگونگی الگوی مصرف آب را در غیاب هرگونه سیاست توسعه‌ای برای آینده آزمایش خواهد کرد همان‌طور که گفته شد این سناریو یک سناریوی پایه برای سناریوهای دیگر که دارای سیاست‌گذاری توسعه‌ای خاصی هستند، می‌باشد. در این سناریو فرض شده اراضی کشاورزی به شیوه سنتی و با راندمان ۴۵ درصد آبیاری می‌شوند. در سناریوی مرجع میزان کل تقاضا (کشاورزی و شرب)، ۹۷۸ میلیون مترمکعب است.که ۶۲ درصد آن مربوط به تقاضای بخش کشاورزی و ۳۸ درصد آن مربوط به تقاضای شرب می‌باشد. در سناریوی مرجع عدم تامین نیاز ۴۰۸ میلیون متر مکعب می باشد که ۱۶درصد مربوط به تقاضای شرب و ۸۴ درصد مربوط به کشاورزی می باشد و حجم ذخیره مخزن در این سناریو تا سال افق طرح، ۱۵۷۴ میلیون مترمکعب می‌باشد که در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل برای سناریوی مرجع، مقادیر سالانه نیازها در شکل های (۴-A) و (۴- B) را نشان می دهد.



شکل۴- مقادیر سالانه نیازها در سناریوی مرجع(الف) حجم ذخیره مخزن در سناریوی مرجع(ب).

شکل های (۵-الف) و (۵-ب) میزان نیاز و عدم تامین نیاز را در ماه های مختلف سال نشان می دهند. همانطور که در این اشکال مشخص شده است بیشترین میزان نیاز در ماه تیر و کمترین میزان نیاز در ماه های دی و بهمن می باشد و از طرف دیگر بیشترین عدم تامین نیاز در ماه مرداد و کمترین عدم تامین نیاز در سناریو مرجع در ماه های دسامبر و ژانویه رخ می دهد.درصد پوشش نیازها برای سایت های تقاضا در ماه‌های سال برای سناریو مرجع در جدول (۴)، نشان داده شده است.

با توجه به درصد پوشش نیازها می توان گفت فصل تابستان و از جمله ماه شهریور از نظر تامین نیاز آب، پر مشکل ترین ماه سال برای تامین تقاضا در سناریو مرجع می باشد.



شکل ۵- میزان نیاز در سناریو مرجع در ماه های مختلف سال (الف)، مقادیر سالانه نیازها در سناریوی مرجع (ب)

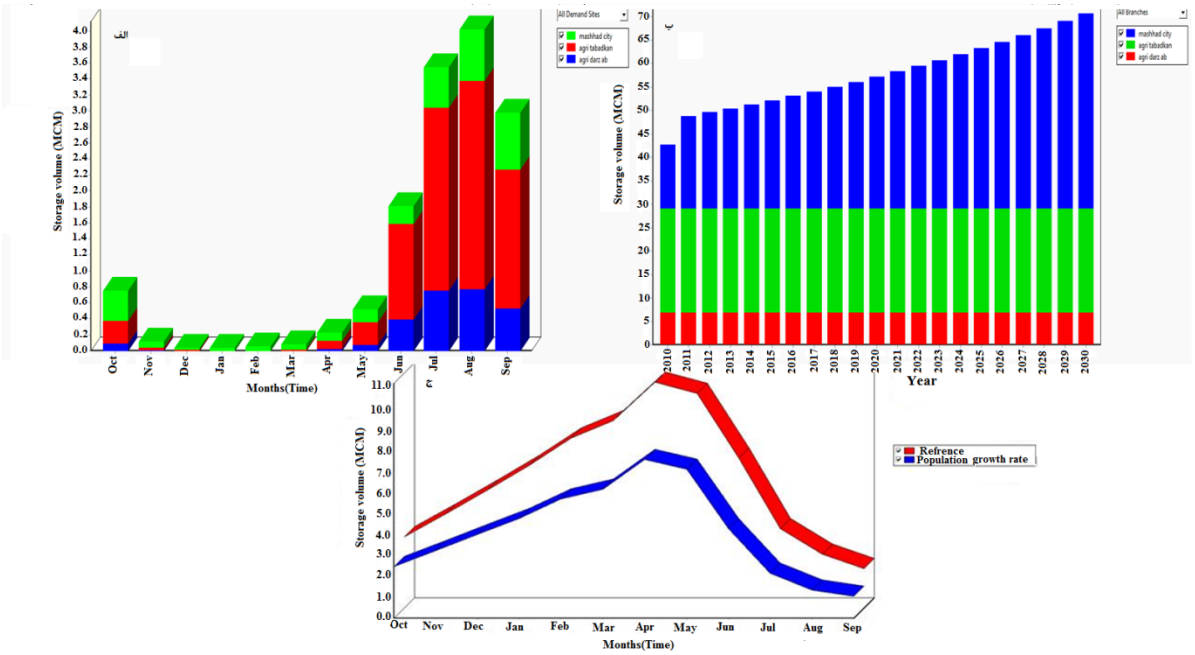
جدول ۴-درصد پوشش نیازها در سناریوی مرجع.

ماه	کشاورزی	شهری		کشاورزی	شهری
اکتبر	۴۰	۷۷/۱	آوریل	۸۱	۹۳/۷
نوامبر	۸۳	۹۵/۸	می	۸۲/۶	۹۱
دسامبر	۸۸/۶	۹۸/۸	ژوئن	۵۷/۲	۸۷
ژانویه	۱۰۰	۹۷/۱	جولای	۴۲/۸	۷۵/۴
فوریه	۸۵/۹	۹۶/۱	آگوست	۲۶/۱	۶۲
مارس	۸۵/۷	۹۵/۹	سپتامبر	۱۹/۱	۶۱/۷

سناریوی افزایش راندمان آبیاری، سناریوی افزایش نرخ رشد جمعیت

در این سناریو با اعمال راندمان ۸۵ درصد برای الگوی کشت میزان کل تقاضا (شهری و کشاورزی)، ۸۵۴ میلیون مترمکعب بدست می‌آید.که ۴۳ درصد آن مربوط به تقاضای شرب و ۵۷ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی می‌باشد. در این سناریو میزان تقاضا نسبت به سناریوی مرجع، ۱۲۴ میلیون‌مترمکعب کاهش یافته است و در نتیجه آن میزان عدم تامین نیاز از ۴۰۸ میلیون متر مکعب در سناریو مرجع به ۲۹۶ میلیون متر مکعب در این سناریو کاهش یافته است. حجم ذخیره مخزن در این سناریو ۱۸درصد بیشتر از سناریوی مرجع می‌باشد. در این سناریو میزان عدم تامین نیاز در ماه مرداد از ۶ میلیون متر مکعب در سناریو مرجع به ۴ میلیون متر مکعب در این سناریو کاهش پیدا می کند شکل (۶-A). در سناریو افزایش نرخ جمعیت میزان کل تقاضا (شهری و کشاورزی)، ۱۲۱۰ میلیون مترمکعب بدست می‌آید.که ۵۰ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی و ۵۰ درصد آن مربوط به تقاضای شهری می‌باشد که در شکل (۶-B) نشان داده شده است. در این سناریو میزان تقاضای شهری با افزایش نرخ رشدجمعیت، از ۲/۵ به ۴ درصد، به میزان ۲۳۲ میلیون‌مترمکعب افزایش یافته است. در نتیجه میزان عدم تامین نیاز از ۴۰۸ میلیون متر مکعب در سناریو مرجع به ۶۳۲ میلیون متر مکعب در این سناریو تغییر

یافته است که ۳۱ درصد آن مربوط به تقاضای شهری و ۶۹ درصد مربوط به تقاضای کشاورزی می باشد. حجم ذخیره مخزن در این سناریو ۵۱۰ میلیون متر مکعب نسبت به سناریوی مرجع، کاهش یافته است شکل (C-۶).

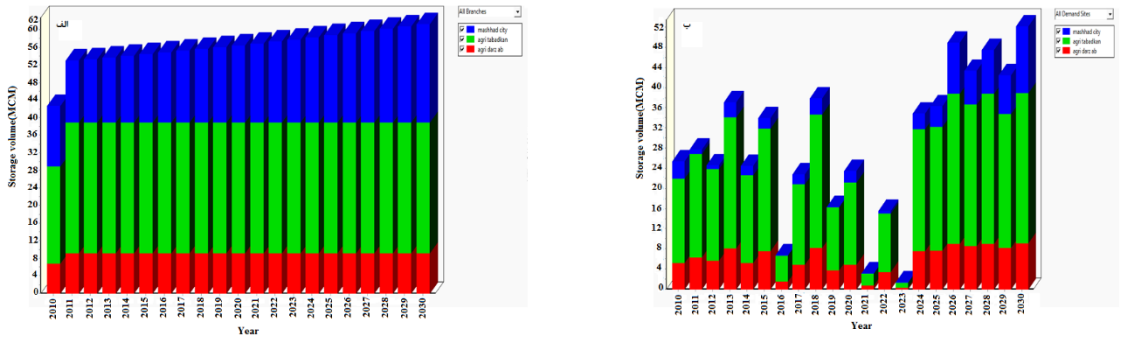


شکل ۶- عدم تامین نیاز در سناریو افزایش راندمان آبیاری در ماه های مختلف سال (الف)، مقادیر سالانه نیازها در طول دوره شبیه سازی در سناریوی افزایش نرخ رشد جمعیت(ب)، حجم ذخیره ماهانه مخزن در سناریوی افزایش نرخ رشد جمعیت نسبت به سناریوی مرجع (ج)

سناریوی افزایش سطح زیر کشت (افزایش تقاضای کشاورزی)

در این سناریو با افزایش سطح زیر کشت، از ۵۲۱۵ هکتار به ۷۰۱۵ هکتار (حداکثر سطح زیر کشت قابل آبیاری از سد کارده)، میزان کل تقاضا (شهری، کشاورزی)، ۱۱۷۷ میلیون مترمکعب بدست می‌آید.که ۶۹ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی و ۳۱ درصد آن مربوط به تقاضای شهری می‌باشد که در شکل (A-۷) نشان داده شده است.

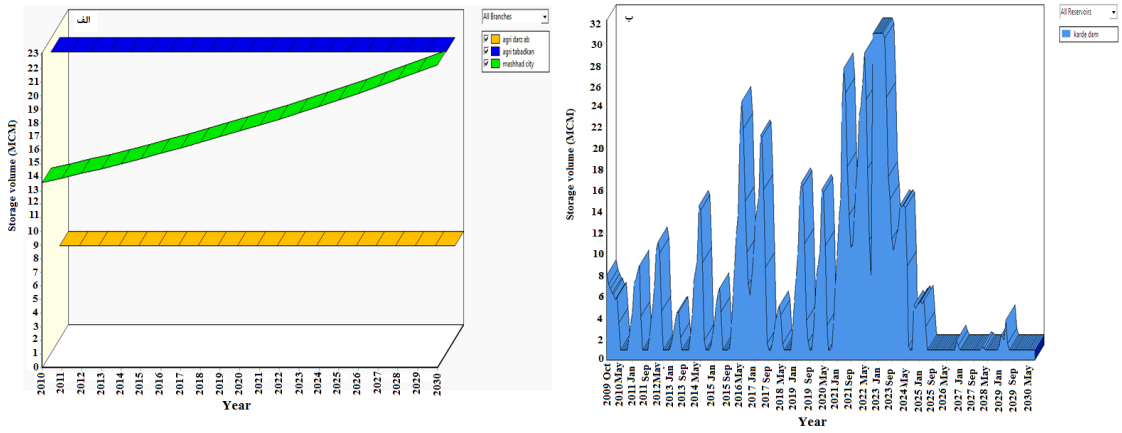
در این سناریو میزان تقاضای کشاورزی نسبت به سناریو مرجع به میزان ۱۹۹ میلیون‌مترمکعب افزایش یافته است. در نتیجه به میزان ۶۰۵ میلیون متر مکعب عدم تامین نیاز وجود دارد که در شکل (B-۷) نشان داده شده است. حجم ذخیره مخزن در این سناریو ۱۹ درصد نسبت به سناریوی تقاضای شهری کاهش یافته است.



شکل۷- مقادیر سالانه نیازها در طول دوره شبیه سازی در سناریوی افزایش تقاضای کشاورزی (الف)، عدم تامین نیاز و یا کمبود آب در سناریوی افزایش تقاضای کشاورزی(ب).

سناریوی مدیریت تقاضا (DM)

در این سناریو با اعمال مدیریت تقاضا به میزان ۱۰ درصد، میزان کل تقاضا (شهری وکشاورزی)، ۹۷۸ میلیون مترمکعب بدست می‌آید.که ۶۲ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی و ۳۸ درصد آن مربوط به تقاضای شهری می‌باشد شکل(A-۸). در این سناریو میزان تقاضا مانند سناریوی مرجع است. تفاوت این سناریو نسبت به سناریوی تقاضای شهری در عدم تامین نیاز آن می‌باشد که در این سناریو عدم تامین نیاز به میزان ۵۲ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. حجم ذخیره مخزن در این سناریو به میزان ۱۵۷ میلیون متر مکعب، بیشتر از سناریوی مرجع می‌باشد (B-۸).

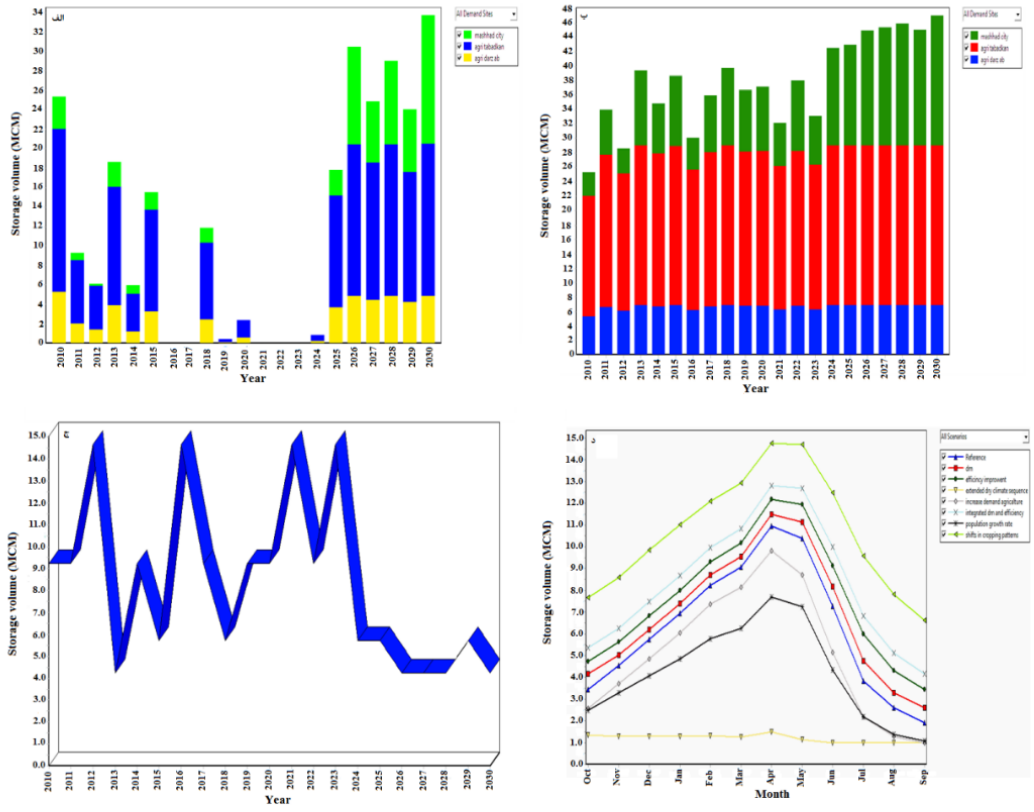


شکل ۸- مقادیر سالانه نیازها در طول دوره شبیه سازی در سناریوی مدیریت تقاضا (الف)، حجم ذخیره سالانه مخزن سد کارده در سناریوی مدیریت تقاضا(ب).

سناریوی افزایش راندمان و مدیریت تقاضا (DM)، سناریوی ترسالی و خشکسالی، سناریوی تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت (تناوب)

در سناریو افزایش راندمان و مدیریت تقاضا با اعمال مدیریت تقاضا به میزان ۱۰ درصد در بخش‌کشاورزی و راندمان ۸۵ درصد برای الگوی کشت کشاورزی میزان کل تقاضا (شهری، کشاورزی)، ۸۵۴ میلیون مترمکعب بدست می‌آید. که ۵۷ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی و ۴۳ درصد آن مربوط به تقاضای شهری می‌باشد. در این سناریو میزان تقاضا مانند سناریوی افزایش راندمان، است با این تفاوت که در این سناریو عدم تامین نیاز تا مقدار ۲۵۵ میلیون متر مکعب کاهش یافته است. در این سناریو

عدم تقاضا در ۵ سال به صفر رسیده است، شکل (۹-A) نشان دهنده میزان عدم تامین تقاضا در سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ در سناریو افزایش راندمان و مدیریت تقاضا می باشد. حجم ذخیره مخزن به میزان ۲۱۰۴ میلیون متر مکعب، که ۲۵ درصد بیشتر از حجم ذخیره مخزن در سناریوی مرجع می‌باشد. در این سناریو میزان کل تقاضا (شهری، کشاورزی)، ۹۷۸ میلیون مترمکعب بدست می-آید.که ۶۲ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی و ۳۸ درصد آن مربوط به تقاضای شهری می‌باشد. در این سناریو میزان تقاضا مانند سناریوی تقاضای شهری، است و عدم تامین نیاز به میزان ۷۹۸ میلیون متر مکعب می باشد که بیشترین مقدار عدم تامین نیاز در بین سناریوهای بررسی شده می باشد و در شکل (۹-B) نمایش داده شده است. حجم ذخیره مخزن به میزان ۳۰۲ میلیون متر مکعب، که ۸۱ درصد کمتر از حجم ذخیره مخزن در سناریوی تقاضای شهری می‌باشد. جریان ورودی سالیانه مخزن در این سناریو در شکل (۹-C) نمایش داده شده است. در سناریو تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیرکشت، با فرض کاهش سطح زیر کشت گیاهان زراعی به جز گندم و جو به میزان ۵۰ درصد و تغییر ندادن الگوی کشت محصولات باغی و گندم و جو میزان کل تقاضا (شهری، کشاورزی)، ۸۴۹ میلیون مترمکعب بدست می‌آید. که ۵۶ درصد آن مربوط به تقاضای کشاورزی و ۴۴ درصد آن مربوط به تقاضای شهری می‌باشد. در این سناریو عدم تامین نیاز ۲۹۲ میلیون مترمکعب می باشد که ۷۹ درصد مربوط به تقاضای کشاورزی و ۲۱ مربوط به تقاضای شرب می باشد. در این سناریو با فرض کاهش سطح زیرکشت گیاهان زراعی به میزان ۵۰ درصد و تغییر ندادن الگوی کشت محصولات باغی، عدم تامین نیاز به پایین ترین حد خود در بین سناریوهای بررسی شده می رسد که میزان آن ۱۷۵ میلیون مترمکعب می باشد که ۷۰ درصد مربوط به تقاضای کشاورزی و ۳۰ مربوط به تقاضای شرب می باشد. حجم ذخیره مخزن به میزان ۲۸۲۷ میلیون متر مکعب، که ۴۴ درصد بیشتر از حجم ذخیره مخزن در سناریوی مرجع می‌باشد. با توجه به شکل (۹-D) بیشترین ذخیره مخزن مربوط به سناریو تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت می باشد و کمترین ذخیره مخزن به سناریو سال آبی و اقلیم خشک اختصاص دارد.



شکل ۹- عدم تامین نیاز و یا کمبود آب در سناریوی افزایش راندمان و مدیریت تقاضا(الف)، عدم تامین نیاز و یا کمبود آب در سناریوی ترسالی و خشکسالی(ب)، جریان ورودی سالانه مخزن سد کارده در سناریوی ترسالی و خشکسالی (ج)، مقایسه حجم ذخیره مخزن در سناریوهای مختلف (د).

نتیجه‌گیری

مدل WEAP که در این تحقیق استفاده شده است یک چارچوب جامع، انعطاف‌پذیر و کاربرپسند برای تحلیل سیاست فراهم می‌کند. پس از جمع‌آوری اطلاعات، با توسعه و شبیه‌سازی منابع و مصارف سد کارده در مدل WEAP، نوبت به تدوین سناریوها و ارزیابی آنها برای رسیدن به هدف تحقیق که برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب سد کارده می‌باشد، می‌شود.این سد از طرح‌های راهبردی در تامین بخشی از آب مصرفی شهر مشهد که بهره‌برداری از آن برطبق برنامه ریزی‌های انجام شده در زمان افزایش تقاضای آب در شهر مشهد ، صورت می‌گیرد. در این پروژه نتایج سناریوی مرجع و نیز سناریوی تقاضای شهری، افزایش راندمان کشاورزی و... مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت که هدف از آن پاسخ دادن به این سوال است که آیا سد مذکور جواب‌گوی نیازهای تعریف شده شامل: نیاز شهر مشهد و حقابه نواحی کشاورزی در پایین دست سد کارده می‌باشد یا نه. در صورت عدم پاسخگویی سد به تمام نیازها با اعمال راهکارهای مدیریتی در قالب سناریوهای مختلف برای بهره‌برداری بهینه از مخزن سد، درصد تامین نیازها را افزایش داد، که توضیحات بیشتر در مورد آنها در بخش بعدی آورده شده است. بکارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP به عنوان یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری، ارزیابی طرح‌ها و برنامه‌هایی که به منظور بهره برداری بهینه از سد برای تامین تقاضای بخش‌های مختلف مصرف کننده و تسکین اثرات خشک‌سالی اتخاذ می‌شود، محور اصلی مطالب ارایه شده می‌باشد. این مدل با در نظرگرفتن آوردها، منابع آب ذخیره شده در مخزن سد، انواع نیازهای

آبی و اولویت‌دهی به آن‌ها، میزان اطمینان‌پذیری و درصد تامین نیازها را محاسبه می‌کند. با مقایسه اثر اعمال این سیاست‌ها و مشاهده نتایج آن موثرترین راهکارها برای تامین نیاز بخش‌های متقاضی و کاهش سطح بحران خشک‌سالی ارایه می‌شود. تمامی تصمیم‌های اتخاذ شده در سناریوهای مدیریت بهره‌برداری و یا هر یک از سطوح بحران که مستقیما به بیلان آب منطقه مرتبط باشد تحت عنوان سناریوهای متعدد وارد خواهند شد. این تصمیم‌ها می‌تواند شامل تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت هر یک از محصولات، مدیریت تقاضای آب به واسطه کم آبیاری و استفاده از روش‌های انتقال و توزیع کارآمدتر آب و... باشد. با توجه به نتایج بدست آمده برای سناریو تقاضای شهری، این سد به تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی تمام نیازهای تعریف شده باشد. این امر بیشتر تابع رژیم رودخانه می‌باشد، در برخی ماه‌ها و سال ها آورد آن به حدی بوده که فراتر از نیازهای ماهانه و سالانه می باشد و برخی ماه‌ها و سال ها به طور متوالی آورد آن به حدی کم می‌باشد که پاسخگوی نیازها نمی‌باشد. برای مدل شرایط خشک‌سالی نیز اعمال شده است که نتیجه وخیم‌تر خواهد شد. یکی از فرضیات ما در این مدل‌سازی این بود که مقدار آورد رودخانه از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۴۰۹ برابر با آورد رودخانه در سال‌های ۱۳۶۴تا ۱۳۸۹ می‌باشد که این امر با توجه به اینکه در طی سال‌های اخیر روند کلی آبدهی رودخانه‌ها در ایران نزولی می‌باشد از دقت مدل می‌کاهد. از جمله، اقداماتی مدیریتی که باعث کاهش مصرف آب در بخش تقاضای شهری و کشاورزی شود و توانایی سد را در پاسخگویی بهتر به تامین نیازها افزایش دهد، تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت می باشد ولی به دلیل کاهش تولید محصولات کشاورزی و به طبع آن سخت شدن شرایط زندگی ساکنین پایین دست سد کارده که شغل اصلی آنان کشاورزی و دامپروری می باشد نمی توان به طور مداوم آن را اجرا نمود. از دیگر اقدامات مدیریتی که باعث کاهش مصرف آب در بخش تقاضای شهری و کشاورزی می شود مدیریت تقاضا و افزایش راندمان آبیاری می‌باشد، بالا بردن راندمان آبیاری با استفاده از توسعه سامانه تحت فشار، پوشش انهار سنتی، احداث استخرهای ذخیره‌سازی تا حدی می‌تواند راه‌گشای این مشکل باشد و بخشی از مشکلات کم آبی را در سال های اخیر کاهش دهد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان پیشنهاد کرد که:۱- توسعه فاکتورهای دیگر، شبیه آلودگی تولید شده بوسیله کشاورزی، که می‌تواند بطور قوی مدل شده و قابلیت مدیریت و تصمیم‌گیری دارد. ۲- توسعه مدلسازی و بکارگیری آن در زمینه آبهای زیرزمینی. ۳- بهبود مدیریت سیستم-های آبیاری در آینده. ۴- بکارگیری از روش سال آبی برای مطالعه تاثیر تغییر اقلیم بر تراز آب مخازن سدها، هرچند نتیجه دقیقی نمی‌دهد اما یک پیشگویی از آینده با استفاده از این روش فراهم می‌شود.۵- بسط مدل از نگاه کیفی به آب مخازن سدها. را می-توان در قالب پژوهش-هایی دیگر مدل WEAP مدلسازی کرد.

منابع

Ahmadi A. 2022 The effect of increasing water use efficiency on improving the status of groundwater resources using WEAP model in Qazvin Plain. Water and Soil Management and Modelling, 2(1), 53-62.

Amini A., Javan M., EghbalzadehA., 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.

Ashrafi M., Zeinalzadeh K., Besharat S., Yasi M. 2019. The performance of WEAP model in hydrologic simulation of Aland watershed. Iranian journal of Ecohydrology, 6(2), 341-352. (In Persian).

Asitatikie A. N., Gebeyehu W. Z.2021. Assessment of hydrology and optimal water allocation under changing climate conditions: The case of Megech river sub basin reservoir, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Modeling Earth Systems and Environment, 7, 2629-2642.

Dehghan Z., Delbari M., Mohammadrezapour O. 2015. Planning Water Resources Allocation under Various Managerial Scenarios in Gorganroud Basin. Water and Soil Science, 25(3), 117-132.

Dile Y. T., Tekleab S., Ayana E. K., Gebrehiwot S. G., Worqlul A. W., Bayabil H. K., ... Srinivasan R. 2018. Advances in water resources research in the Upper Blue Nile basin and the way forward: A review. Journal of Hydrology, 560, 407-423.

Gedefaw M., Wang H., Yan D., Qin T., Wang K., Girma A., ... Abiyu A.2019. Water resources Mirzaie Nodoushan F., Araghinejad S., Bozorghaddad O. 2015. Developing WEAP an integrated water resources model for modeling in drought conditions. Watershed Engineering and Management, 7(1), 85-97.

Mohamadpoor M., Zeinalzade K., Rezaverdineghad V., Hesari B. 2016. WEAPModel Calibration and Validation in Simulating the Impact of Irrigation Systems Change on the Ahar-Chai Basin Hydrological Response. Iranian journal of Ecohydrology, 3(3), 477-490.

Movahed Atar F., Samadi H. 2014. Evaluation of Zayanderud dam operation during drought period by using weap model. Irrigation and Water Engineering, 4(2), 18-28.

Noon A. M., Ibrahim H. G., Sulaiman S. O. 2022,. Application of water evaluation and planning (WEAP) model for reuse of urban wastewater in Western Iraq. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2386, No. 1, p. 040008). AIP Publishing LLC.

RabieiFar H., Amini G., Mohammadi G., Hosseinii,

allocation systems under irrigation expansion and climate change scenario in Awash River Basin of Ethiopia. Water,11(10),1966.

Hamza A. A., Getahun B. A. 2022. Assessment of water resource and forecasting water demand using WEAP model in Beles river, Abbay river basin, Ethiopia. Sustainable Water Resources Management, 8(1), 22.

Kemal B., Adeba D. 2021. Surface Water Potential Assessment and Water Demand Evaluation (A Case of Dabus Watershed, Blue Nile Basin). Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 10(4), 155-168.

Kermanshahi S., Davari K., Hashemi Nia M., Farid Hosseini A., Ansari H.2013. Using the WEAP Model to Assess The Impact of Irrigation Water Use Management on Water Resources of Neyshabour Plane. Water and Soil, 27(3), 495-505.

layani G., Bakhshoodeh M. 2022. Effects of climate change on the agricultural sector in the Kheirabad River Basin: Application of WEAP Software. Agricultural Economics Research, 13(4), 208-223.

Malmir M., Mohammadrezapour. O., Sharifazari S. 2016. Evaluation of Climate Change Impacts on Agricultural Water Allocation in Qara Su Watershed, Using WEAP. Irrigation and Water Engineering, 6(3), 143-155.

Mardanian S, Zare Bidaki R, Abdollahi K. O. 2020.ptimal Allocation of Water Resources in Khanmirza Watershed Using WEAP. jwmseir 2020; 14 (49) :11-19.

S. A. 2022. Using the WEAP model to evaluate the consumption management of Ayushan dam for different uses. Water and Soil Management and Modelling, 2(3),1-16.

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 ResourcesResearch, 14(3), 239-253.

Touseef M., Chen L., Yang W. 2021. Assessment of surface water availability under climate change using coupled SWAT-WEAP in Hongshui River Basin, China. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(5),298.

Vafakhah M., Javadi M.R., Najafi MajdJ.2015 Effect of Land Use Changes on Runoff Depth in Chalousrud Watershed. Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(2), 211-220.