نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، ص. ۵۸-۴۳

Water Management in Agriculture
Vol. 12, No. 2, Autumn and Winter 2026, 43-58

مقاله علمی -پژوهشی

مدیریت تخصیص منابع آب سد آزارود با رویکرد تحلیل سناریوها با استفاده از مدل MODSIM

حیدر داودیان[۱]، افراسیاب میرزایی[۲] و محبوبه اصغری[۳*]

چکیده

به دلیل محدود بودن منابع آب و افزایش روزافزون نیازهای آبی، استفاده از راهکارهای نوین تخصیص منابع آب بیش از هر زمان دیگری اهمیت پیدا کرده است. مطالعات احداث سد بر روی رودخانه آزارود در غرب مازندران برای تأمین نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین‌دست انجام شد. هدف از تحقیق حاضر، مدیریت تخصیص منابع آب رودخانه آزارود جهت تأمین تقاضا در بخش‌های شرب، کشاورزی با درنظرگرفتن رشد نیاز آن‌ها در آینده است. به همین منظور ابتدا سد آزارود و مناطق پایین‌دست آن با مدل MODSIM شبیه‌سازی‌شده و سپس مدل برای شرایط حال حاضر و ۲ سناریوی مختلف طرح‌های توسعه در آینده اجرا گردید. سناریوهای پیشنهادی شامل سناریوی اول (احداث سد و تنظیم آب شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی در تمام ماه‌های سال)، سناریوی دوم (شرایط موجود بدون احداث سد) و سناریوی سوم (احداث سد و تنظیم آب شرب و کشاورزی در تمامی ماه‌های سال و تنظیم نیاز زیست‌محیطی تنها در فصول غیر زراعی) است. پارامترهای مورداستفاده در این مدل شامل دبی پایه رودخانه آزارود و بارندگی به‌عنوان ورودی و مصارف آبی شرب، کشاورزی و محیطزیست به‌عنوان خروجی‌های تنظیمی و جریان سرریز و تبخیر از سطح مخزن به‌عنوان تلفات مخزن هستند. شرط‌هایی مانند تأمین حداقل ۹۵ درصد نیاز شرب و حدود ۹۳ درصد نیاز کشاورزی در کل دوره در مدل لحاظ گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در سناریوی دوم عمده کمبود مربوط به فصل تابستان است، بنابراین در درازمدت باتوجه به هم‌زمانی پیک مصرف شرب با کشاورزی، مشکل تأمین آب شرب همچنان باقی خواهد ماند. در سناریوی سوم، نیز در فصل تابستان بخشی از رودخانه در پایین‌دست خشک می‌شود؛ بنابراین مناسب‌ترین گزینه، سناریوی اول است که با ساخت سد، حداقل ۱۵ میلیون مترمکعب آب موردنیاز شرب تأمین خواهد شد. میانگین کمبود سالانه برای نیاز شرب، حقابه کشاورزی و محیطزیست در این سناریو به ترتیب برابر با ۰/۸، ۷ و ۰/۳۱ درصد خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: سد آزارود، شبیه‌سازی، مدیریت منابع آب، MODSIM، نیاز آبی

مقدمه

رشد جمعیت شهرنشینی و توسعه صنعت و کشاورزی باعث افزایش تقاضای آب و اهمیت برنامه‌ریزی منابع آب شده است. بخش قابل‌توجهی از آب موردنیاز کشور به‌خصوص برای مصارف کشاورزی از منابع آب سطحی و از طریق مخازن سدها تأمین می‌شود؛ بنابراین تخصیص بهینه منابع آب و کمی‌سازی نیازهای آب برای دستیابی به پایداری مطلوب ضروری است. در این راستا استفاده از سیاست‌های بهینه برای استفاده از مخازن اهمیت دارد. به دلیل هزینه‌های بالای سدسازی برای جلوگیری از غیراقتصادی شدن و هدر رفتن منابع آب، استفاده هدفمند از مخازن سدها ضروری است. باتوجه به پیچیدگی‌های تخصیص منابع آب و رعایت اولویت‌های تخصیص به نیازهای آبی مختلف، استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی منابع آب بسیار مؤثر است (Nicklow et al., 2010; Li and Zhang., 2015; Zhou et al., 2015; Degefu et al., 2017). مدل‌های ریاضی این

[۱] کارشناسی ارشد عمران، مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ساری، ایران
[۲] کارشناسی ارشد عمران، معاون طرح و توسعه شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ساری، ایران
[۳] دکترای زمین‌شناسی، مهندسین مشاور پندام، تهران، ایران (*- نویسنده مسئول: Email: asghari.ma58@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

فرصت را فراهم می‌کنند که فرایندهای هیدرولوژیکی مرتبط با منابع آب و روابط موجود بین نقاط عرضه و تقاضا، شبیه‌سازی شوند. استفاده از MODSIM، به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت یکپارچه منابع آب، می‌تواند برای ارزیابی تخصیص بهینه آب در حوضه آبریز رودخانه‌ها و مخازن سدها ارزشمند باشد. شوریان و موسوی (۱۳۸۵) برای تعیین مدیریت بهینه منابع آب بالادست حوضه سیروان از MODSIM به‌عنوان یک شبیه‌ساز باهدف انتقال آب بین حوضه‌ای استفاده کردند و مسئله طراحی و بهره‌برداری بهینه از یک سیستم منابع آب را باهدف کاهش هزینه کل موردبررسی قرار دادند. شناوا و شوریان مدل ICA-MODSIM را توسعه دادند و عملکرد بهینه مخزن سد را باتوجه به افزایش تقاضای پایین‌دست و کاهش خطر سیل بررسی کردند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی، باوجود جریان به هنگام رودخانه تقاضای پایین‌دست به‌طور کامل برآورده می‌شود (Shenava and Shourian, 2018). راثی نظامی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در پژوهشی سیستم منابع آب حوضه مهارلو- بختگان در جنوب ایران را بررسی نموده و به این منظور از مدل نرم‌افزاری MODSIM برای شبیه‌سازی وضعیت حال حاضر منابع و مصارف مختلف حوضه آبریز استفاده کردند. در این مدل وضعیت کمی و کیفی رودخانه و تالاب‌های حوضه آبریز برای سال‌های آتی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و در نهایت راهکارهای مدیریتی برای تأمین نیازهای مختلف آبی مصرف‌کنندگان ارائه شد. حلمی و همکاران با ترکیب MODSIM به‌عنوان مدل شبیه‌سازی و الگوریتم انتخاب به‌عنوان مدل بهینه‌سازی به بررسی استفاده بهینه از منابع آب حوضه رودخانه گلماندره پرداختند. نتایج حاکی از عملکرد قابل‌قبول رویکرد شبیه‌سازی- بهینه‌سازی مورداستفاده در تحقیق برای حل مشکل برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب در حوضه است. در این رویکرد میزان عرضه برای تقاضای آب در حوضه حدود ۳۲ درصد افزایش یافته است (Helmi et al., 2022). شرافت پور و همکاران با استفاده از MODSIM یک مدل یکپارچه هیدرو-اقتصادی برای تخصیص آب کشاورزی پایین‌دست سد زاینده‌رود بر اساس ارزش اقتصادی آن ارائه کردند. نتایج حاکی از قابلیت مدل آبی-اقتصادی ارائه شده و نیز مدل‌های هوشمند جایگزین آن در تخصیص آب کشاورزی بود (Sherafatpour et al., 2019). مرتضایی پویا و همکاران برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های تأمین آب متأثر از تغییرات اقلیمی حوضه رودخانه آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی از مدل‌سازی MODSIM با در نظر گرفتن شاخص‌های کارایی مخزن استفاده کردند (Mortezaeipooya et al., 2022). واقفی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی توان تولید محصولاتی کشاورزی در حوضه رودخانه کرخه با استفاده از مدل‌سازی ترکیبی متشکل از مدل تخصیص آب حوضه رودخانه (MODSIM)و مدل هیدرولوژیکی (SWAT) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان آب مصرفی لزوماً منجر به توان تولید محصول بیشتر و درنتیجه بازده بالاتر نمی‌شود (Vaghefi et al., 2017). موسوی و همکاران با استفاده از مدل MODSIM و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به بررسی راهکارهای تأمین بخشی از نیاز زیست‌محیطی دریاچه ارومیه پرداختند (Mousavi et al., 2022). پورمقیم و همکاران نیز برای ارزیابی قابلیت احیای دریاچه ارومیه، ابتدا معیارهای کمی و کیفی مورداستفاده را باتوجه‌به عوامل مؤثر بر وضعیت اکولوژیکی این دریاچه تعریف نمودند و سپس برای تعیین کمیت سری‌های زمانی معیارها، از یک مدل شبیه‌سازی مبتنی بر مدل ترکیبی SWAT-MODSIM استفاده کردند (Pourmoghim et al., 2022). اشرفی و همکاران پایداری و بهبود اکوسیستم حوضه رودخانه زرینه‌رود در جنوب دریاچه ارومیه را با مدل‌های SWAT و MODSIM و تحت سه سناریو مختلف تغییر اقلیم ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که سناریوی شامل پروژه‌هایی مانند تخصیص آب از منابع جدید به دریاچه، احیای شبکه‌های آبیاری و زهکشی و اصلاح الگوی کشت، بهترین سناریو برای بهبود خدمات اکوسیستمی در منطقه موردمطالعه است (Ashrafi et al., 2022). حسین‌پور و همکاران (۱۳۹۷) حجم بهینه مخازن آب شرب شهر گرگان را با استفاده از مدل MODSIM و الگوی فرا کاوشی PSO در سناریوهای مختلف مدیریتی محاسبه و نتایج

آن با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج حاصل از سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که منبع آب زیرزمینی برای تأمین آب در دوره‌های آتی مورد اعتماد نبوده و باید از راهکارهای مدیریتی ازجمله آب پشت سد و یا انتقال آب از مازندران استفاده شود. محسنی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز مسئله بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه آبریز گرگانرود را با استفاده از تلفیق مدل MODSIM و الگوریتم بهینه‌سازی فاخته مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر اهمیت اتخاذ سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از مخازن سیستم به‌منظور افزایش میزان تأمین نیازهای آبی و کاهش اتلاف منابع آبی در سطح حوضه آبریز بود. میثاقی و صادقیها (۱۳۹۷) نیز برای ارزیابی عملکرد مخزن سد نهب در شرایط خشکسالی از مدل MODSIM استفاده کردند. نتیجه بررسی نشان داد که در صورت ادامه روند خشکسالی، احداث سد نهب جهت بهبود شرایط توزیع آب توجیه‌پذیر نمی‌باشد و تنها کاربرد آن کنترل سیلاب‌های ناگهانی و جلوگیری از خسارت ناشی از آن در پایین‌دست سد است. فدایی زاده و شوریان هم تخصیص بهینه منابع آب را از طریق کمی‌سازی نیازهای کشاورزی با ترکیب مدل شبیه‌سازی MODSIM و الگوریتم بهینه‌سازی (PSO) تحت شرایط مطلوب برای برآوردن معیارهای قابلیت اطمینان بررسی کردند (Fadaeizadeh and Shourian, 2019).

برای مدیریت کارآمد مخازن سدها لازم است تصمیمات مختلف بهره‌برداری و تخصیص آب برای مصارف متعدد را قبل از اجرا ارزیابی کرده و مناسب‌ترین سناریو را انتخاب نمود. هدف از این پژوهش نیز مدیریت تخصیص منابع آب مخزن سد آزارود با بررسی و تجزیه‌وتحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی توسط مدل MODSIM به‌عنوان یک مدل شبیه‌سازی جامع مدیریت منابع آب است تا باتوجه به میزان تأمین نیازهای آبی مختلف در این مدل بهترین و مناسب‌ترین سناریو مشخص شود. هرچند تاکنون مطالعات متعددی بر روی رودخانه آزارود انجام شده است، اما هیچ تحقیقی در خصوص مدیریت منابع آب این رودخانه با استفاده از مدل ریاضی انجام نگرفته است، لذا این مقاله از این نظر حائز اهمیت است. لازم به ذکر است که در این مقاله از نتایج ارائه‌شده در گزارش برنامه‌ریزی منابع آب مطالعات مرحله اول سد مخزنی آزارود استفاده شده است (شرکت طوس آب، ۱۴۰۲).

مواد و روش‌ها

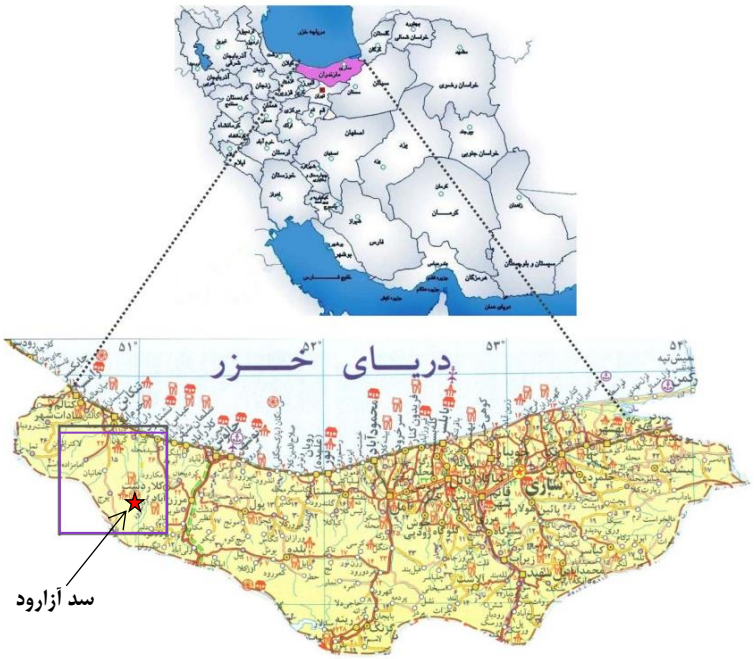
منطقه موردمطالعه

رودخانه آزارود با طول حدود ۴۰ کیلومتر یکی از سرشاخه‌های جاری در غرب استان مازندران است که به لحاظ کمی و کیفی یکی از بهترین پتانسیل‌های آب در محدوده شمال کشور به شمار می‌رود. باتوجه به آورد سالیانه قابل‌توجه این رودخانه (حدود ۷۰ میلیون مترمکعب) طرح سد مخزنی آزارود و نیروگاه برقابی بر روی این رودخانه در حال مطالعه است. موقعیت ساختگاه سد در مختصات جغرافیایی ″۷ ′۴۱ °۳۶ طول شرقی و″۴۶ ′۵۸ °۵۰ عرض شمالی، در فاصله حدود ۸ کیلومتری جنوب شهر نشتارود در شهرستان تنکابن قرار دارد (شکل ۱). هدف از احداث این سد، کنترل سیلاب، تأمین حقابه اراضی کشاورزی پایین‌دست و تأمین نیاز آبی شرب بخش غربی زون ۲ طرح جامع آب‌رسانی استان مازندران است (شرکت خزرآب، ۱۳۹۴).

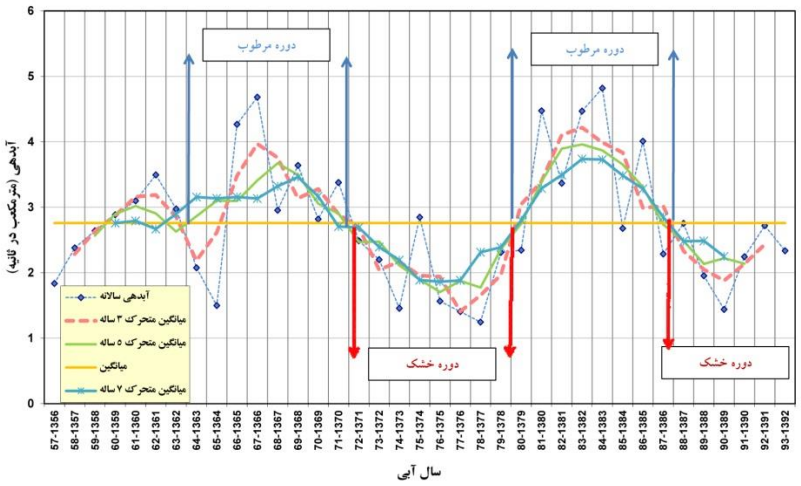
آبدهی رودخانه آزارود

برای تعیین آبدهی و برآورد پارامترهای مختلف هیدرولوژی رودخانه آزارود در محل سد از آمار ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری دینارسرا که در فاصله اندکی از محور سد و در پایین‌دست آن واقع شده، استفاده گردید. داده‌های موردنیاز در ایستگاه دینارسرا طی دوره آماری شاخص (۱۳۶۰-۱۳۹۶) از شرکت آب منطقه‌ای مازندران به‌صورت روزانه اخذ و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. آبدهی در محل پیشنهادی سد بر اساس اصلاح این آمار و حذف اثر روند داده‌ها تعیین شده است. شکل (۲) سری زمانی سالانه آبدهی را به همراه میانگین متحرک ۳ و ۵ ساله آبدهی نمایش می‌دهد. بر این اساس طولانی‌ترین دوره خشک حدود ۷ سال است و آبدهی حداقل در طول آن دوره ۳۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده و درنتیجه متوسط آبدهی سالانه پیش از حذف ترند ۲/۳ مترمکعب بر ثانیه و پس از حذف ترند برابر ۲/۲ مترمکعب بر ثانیه است.

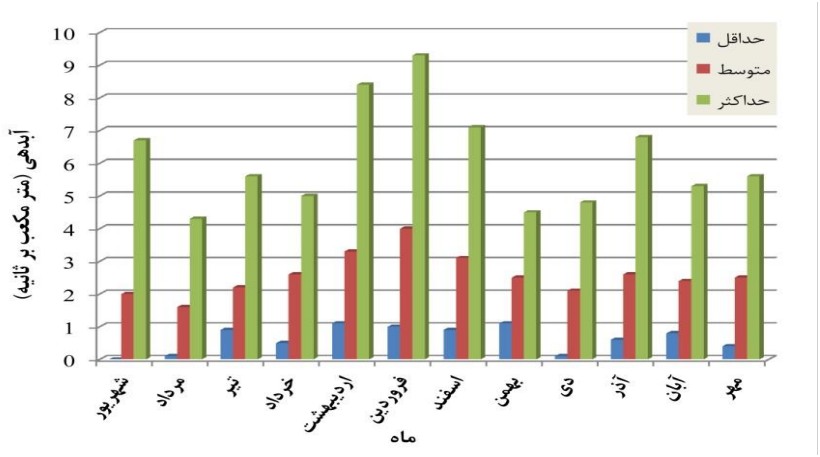
فروردین با تولید ۱۳/۳ درصد از آبدهی سالانه بیشترین آبدهی ماهانه را داراست و بعد از آن به ترتیب اردیبهشت و اسفند از ماه‌های پرآب سال هستند و این سه ماه درمجموع ۳۳/۹ درصد از آبدهی سالانه را شامل می‌شوند. مرداد نیز خشک‌ترین ماه سال است که کمتر از ۵/۱ درصد دبی سالانه در آن اتفاق می‌افتد. تغییرات ماهانه آبدهی حداکثر، حداقل و متوسط رودخانه آزارود نیز در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده موردمطالعه



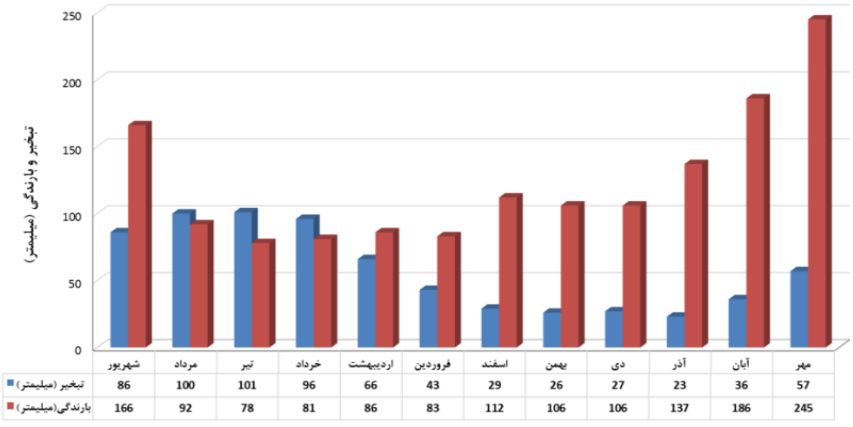
شکل ۲- تغییرات آبدهی سالانه و میانگین متحرک‌های ۳ و ۵ ساله رودخانه آزارود در ایستگاه دینارسرا



شکل ۳- تغییرات ماهانه حداکثر، متوسط و حداقل آبدهی رودخانه آزارود طی دوره آماری شاخص

بارندگی و تبخیر

بر اساس گزارش مطالعات هواشناسی سد آزارود، میزان تبخیر در محل مخزن سد در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد کمی بیشتر از مقدار بارندگی ولی در سایر ماه‌ها کمتر است (شرکت طوس آب، ۱۴۰۰). بر اساس دوره آماری ۶۰-۶۱ تا ۹۲-۹۳ میزان تبخیر سالانه برابر ۶۹۰ میلی‌متر و بارندگی سالانه برابر با ۱۴۷۶ میلیمتر است که نشان‌دهنده کمتر بودن میزان تبخیر نسبت به بارندگی است (شکل ۴)؛ بنابراین در مدل‌سازی منابع آب به‌منظور افزایش ضریب اطمینان از مازاد بارش در سطح مخزن صرف‌نظر شده است.



	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
تبخیر (میلیمتر)	86	100	101	96	66	43	29	26	27	23	36	57
بارندگی(میلیمتر)	166	92	78	81	86	83	112	106	106	137	186	245

شکل ٤- مقایسه بارندگی و تبخیر ماهانه

نیاز آب بخش کشاورزی

بر اساس اطلاعات دریافتی از مرکز خدمات کشاورزی نشتارود الگوی کشت موجود در اراضی منطقه در جدول (۱) ارائه شده است. باتوجه به این جدول، سطح کل اراضی آبی منطقه حدود ۵۶۷۹ هکتار است که به کشت محصولات زراعی و باغی اختصاص یافته است. در اراضی زراعی منطقه منحصراً محصول برنج (شالی) کشت می‌شود و باغات نیز شامل محصولات کیوی و مرکبات است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات نیاز آبی کشاورزی (جدول ۲)، نیاز آبی کل اراضی پایین‌دست سد آزارود حدود ۲۰/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است.

آماربرداری منابع آب زیرزمینی (چاه) در محدوده طرح بر اساس اطلاعات دریافت شده از بانک داده «ساماب» که توسط معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای مازندران تهیه شده است، نشان می‌دهد که ۹۴۵ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق با کاربری کشاورزی در محدوده مطالعاتی موجود است که برداشت از آن‌ها ۹/۸۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است؛ بنابراین، ۵۲ درصد نیاز حقابه کشاورزی پایین‌دست سد آزارود از منابع سطحی و مابقی از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد.

جدول ۱- الگوی کشت موجود در اراضی کشاورزی منطقه طرح

درصد کشت	سطح زیر کشت هکتار	محصول
۱۳	۷۱۹	برنج
۲۷	۱۵۵۱	کیوی
۶۰	۳۴۱۰	مرکبات
۱۰۰	۵۶۷۹	جمع

جدول ۲- نیاز آبیاری کل اراضی کشاورزی در شرایط موجود (میلیون مترمکعب)

ردیف	ماه / محصول	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع میلیون مترمکعب	سطح زیر کشت هکتار
۱	برنج	۰/۹	۱/۱	۱/۸	۲/۱	۱/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷/۶	۷۱۹
۲	کیوی	۰/۰	۰/۰	۰/۶	۱/۱	۱/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۲	۱۵۵۱
۳	مرکبات	۰/۲	۰/۰	۱/۴	۲/۹	۵/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹/۷	۳۴۱۰
	جمع میلیون مترمکعب	۱/۱	۱/۱	۳/۸	۶/۱	۸/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰/۵	۵۶۸۰

نیاز آبی شرب

بر اساس مطالعات انجام‌شده قبلی، نیاز آبی شرب منطقه در افق طرح (سال ۱۴۴۰) در حدفاصل نشتارود شهرستان تنکابن تا شهر چالوس حدود ۶۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است که در حال حاضر بخش عمده آن از آب‌های زیرزمینی باکیفیت نامناسب تأمین می‌گردد (شرکت خزرآب، ۱۳۹۴). مطالعات سد آزارود باهدف تأمین بخشی از آب شرب موردنیاز ساکنان منطقه و جایگزینی با منابع آب زیرزمینی انجام‌گرفته است. در مطالعات طرح جامع آب استان مازندران مقدار تخصیص آب لحاظ شده برای تأمین بخشی از نیاز آبی شرب شهری منطقه هدف (محدوده حدفاصل نشتارود تا چالوس) در افق طرح، ۱۵ میلیون مترمکعب با اولویت تأمین آب شرب در نظر گرفته شده است (جدول ۳، شرکت خزرآب، ۱۳۹۴). از این مقدار نیاز آبی شرب شهرستان نوشهر ۶/۵۶ میلیون مترمکعب، شهرستان چالوس ۷/۶۷ میلیون مترمکعب و شهر نشتارود حدود ۰/۸ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- سری زمانی ماهانه میزان تخصیص شرب و مقدار کل تأمین آب در افق ۱۴۴۰ در حد فاصل نشتارود تا چالوس

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
میزان تخصیص آب میلیون مترمکعب	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۶۳	۱/۵۶	۱/۵۸	۱/۱۲	۱/۱۳	۱/۱۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۴/۹

نیاز آبی محیطزیست

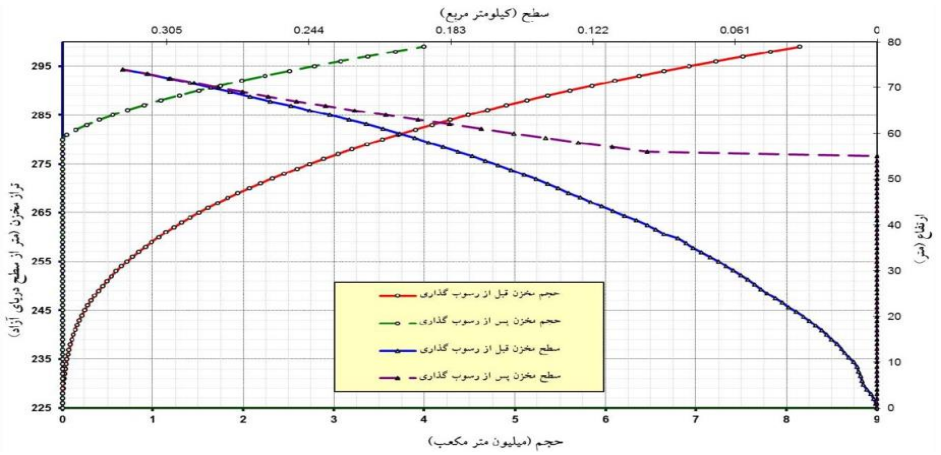
نیاز آبی محیطزیست سد آزارود بر اساس روش مونتانا اصلاح‌شده با احتساب ۱۰ درصد برای ماه‌های دارای آبدهی بالای میانگین و ۳۰ درصد در ماه‌های با آبدهی زیر میانگین و همچنین نیاز آبزی‌پروری رودخانه در پایین‌دست در نظر گرفته شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰). نظر به اینکه این رودخانه زیستگاه آبزیان متنوع در پایین‌دست است، نیاز محیطزیست بر اساس آبدهی متوسط درازمدت رودخانه آزارود در نظر گرفته شده است. براین اساس و باتوجه به آبدهی متوسط رودخانه، نیاز رهاسازی آب موردنیاز محیطزیست در ماه‌های مختلف برآورد شده است (جدول ۴).

جدول ٤- میزان نیاز آبی بخش محیطزیست (مترمکعب بر ثانیه)

سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۶۰	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط	۰/۷	۰/۷	۰/۲	۰/۶	۰/۷	۰/۳	۱/۱	۰/۹	۰/۷	۰/۶	۰/۴	۰/۶	۰/۶
حداکثر	۱/۵	۱/۴	۰/۶	۱/۳	۱/۲	۰/۶	۱/۱	۰/۹	۱/۴	۱/۵	۱/۲	۱/۸	۰/۹
حداقل	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۳	۰/۱	۰/۹	۰/۹	۰/۱	۰/۲	۰	۰	۰/۴

رسوب ورودی به مخزن

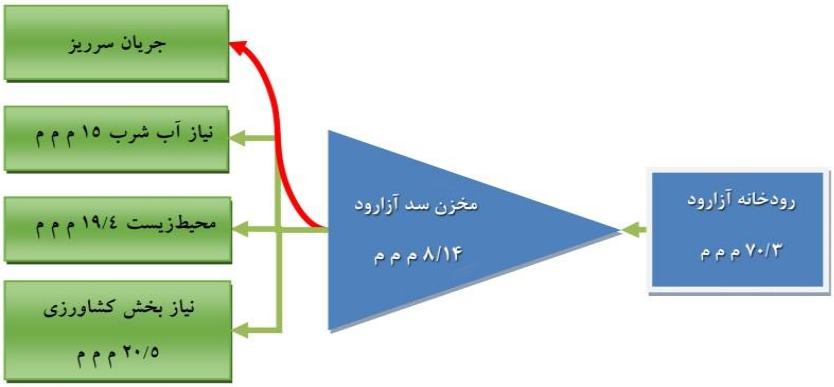
برای محاسبه حجم رسوب حمل شده به مخزن از آمار غلظت رسوب ثبت شده در ایستگاه دینارسرا استفاده شده است. براین اساس حجم رسوب دوره ۵۰ ساله مخزن سد آزارود ۴/۱ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در شکل (۵) تغییرات مقادیر سطح و حجم مخزن نسبت به ارتفاع در ساختگاه سد قبل و پس از رسوب‌گذاری ارائه شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود تراز صفر مخزن پس از رسوب‌گذاری حدود ۲۸۰ متر بالاتر از سطح دریای آزاد خواهد بود.



شکل ۵- منحنی سطح، حجم و ارتفاع سد آزارود قبل و پس از رسوب‌گذاری در مخزن (تراز نرمال ۲۹۹ متر)

بیلان آب مخزن

رودخانه آزارود تنها رودخانه منتهی به سد آزارود است. هدف اصلی احداث سد بر روی این رودخانه تأمین نیاز آبی شرب، حقابه کشاورزی و رهاسازی برای حفظ محیطزیست پایین‌دست است. براین اساس نمای کلی بیلان آب مخزن سد در شکل (۶) مشاهده می‌شود.



شکل ٦- نمای کلی بیلان آب مخزن سد آزارود

مدل MODSIM

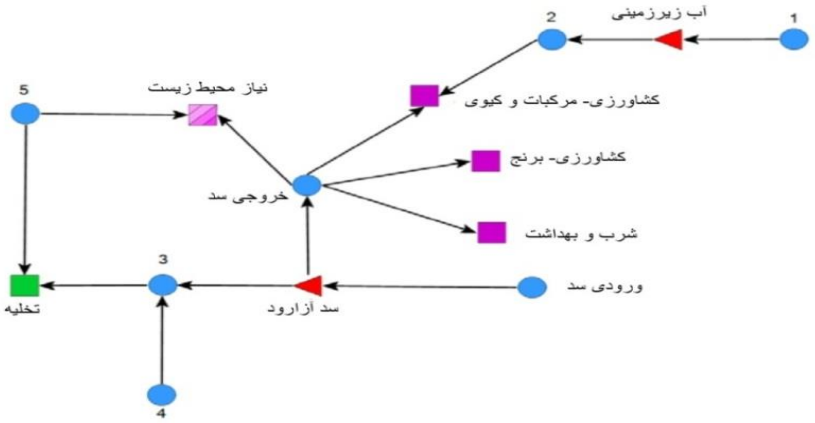
MODSIM یک مدل توانمند شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در تصمیم‌گیری برای سیستم‌های بهره‌برداری چندمنظوره از مخازن، مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی، با امکان درنظر گرفتن سازوکار حاکم بـر مناسبات اداری و قانونی استفاده از منابع آب است. یکـی از قابلیت‌های مهم این مدل امکان کدنویسی در آن بـه زبان‌های برنامه‌نویسی Net.VB و Net#.C است. این مدل قادر به بهینه‌سازی تخصیص آب در هر یک از گام‌های زمانی بین نقاط مصرف تعیین‌شده در محدوده موردمطالعه است. در تحقیق حاضر نیز مدل MODSIM به دلیل آسانی دسترسـی، به‌روز بودن و از همه مهم‌تر قابلیت سفارشی‌سازی آن، برای برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع آب سد آزارود موردتوجه قرار گرفته است. نمای کلی پیکره‌بندی مدل منابع آب و مصارف سناریوهای اول، دوم و سوم در محیط نرم‌افزار MODSIM در شکل‌های (۷ و ۸) نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات موجود، نیاز شرب به‌صورت یک گره مصرفی در مدل تعریف شد و شبیه‌سازی نیاز کشاورزی در مدل MODSIM نیز از طریق تعریف دو گره مصرفی مجزا برای نیاز آبی کشت برنج و نیاز آبی کشت کیوی و مرکبات انجام شد. درصد آب برگشتی نیاز آبی برنج ۲۵ درصد و درصد آب برگشتی نیاز آبی کیوی و مرکبات ۱۷/۵ درصد در نظر گرفته شد. همچنین برداشت ۹/۸۶ میلیون مترمکعب در سال از آب زیرزمینی جهت تأمین نیاز کیوی و مرکبات، یک مخزن آب زیرزمینی مجازی در نظر گرفته شد (شرکت خزرآب، ۱۳۹۴). برای اجرای مدل، پارامترهای مختلف شامل آبدهی، حجم رسوبات، نیاز آبی مصارف شرب، کشاورزی، محیطزیست، بارندگی و تبخیر و منحنی حجم- سطح- ارتفاع مخزن در مدل به کار برده شدند. برای نحوه بهره‌برداری از سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) استفاده شده و اولویت‌های لحاظ شده به ترتیب شرب، محیطزیست و کشاورزی است. در سیاست (SOP)، رهاسازی از مخزن فقط بر اساس نیاز هر دوره انجام می‌پذیرد. اگر آب کافی جهت رفع نیاز موجود نباشد، مخزن خالی می‌شود و اگر آب بیش از نیاز موجود باشد، مخزن پر شده و سپس سرریز خواهد نمود. مدل برنامه‌ریزی منابع آب در سه گزینه بررسی شده است (شکل‌های ۷ و ۸). این گزینه‌ها شامل موارد ذیل است.

۱- سناریوی اول: در این سناریو با ذخیره آب رودخانه توسط سد، تنظیم آب شرب، کشاورزی به همراه نیاز زیست‌محیطی در تمام ماه‌های سال از محل سد انجام می‌گیرد. بر اساس موافقت‌نامه کمیسیون تخصیص آب وزارت نیرو (۱۴۰۰) در خصوص میزان تخصیص سد آزارود، حداکثر آب قابل تأمین شرب، کشاورزی و محیطزیست در مدل برنامه‌ریزی منابع آب با شرط‌های زیر برای احجام مختلف مخزن محاسبه شده است. شرط ۱: حداقل ۹۵ درصد نیاز آبی آب شرب تأمین شود. باتوجه به اهمیت تأمین آب شرب، این نقطه مصرف، اولویت اول تأمین

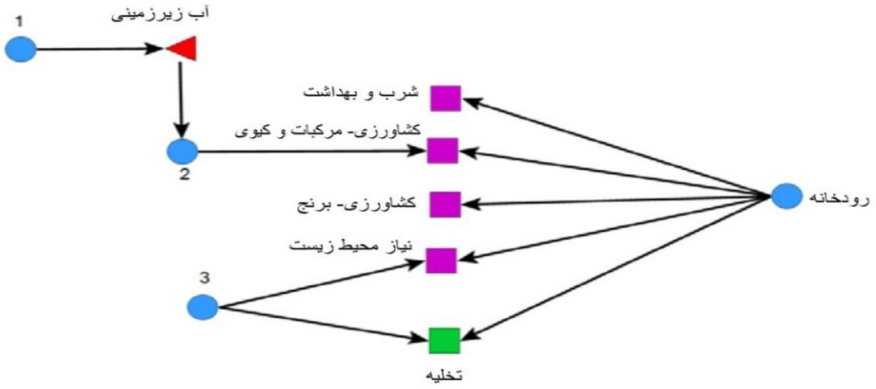
آب لحاظ شده است. شرط ۲: رهاسازی محیط زیستی: در کل دوره نیاز محیط‌زیست متناسب با ماتریس نیازهای تعریف‌شده، تأمین شود. شرط ۳: حدود ۹۳ درصد نیاز آبی کشاورزی در کل دوره تأمین گردد.

۲- سناریوی دوم: در این سناریو برداشت آب بهنگام از رودخانه برای تأمین نیاز شرب در شرایط عدم ایجاد مخزن (سد) انجام می‌گیرد.

۳- سناریوی سوم: در این سناریو با احداث سد و ذخیره آب رودخانه آزارود، تنظیم آب شرب و کشاورزی مطابق با شرط های ۱ و ۳ اشاره شده در بالا در تمامی ماه‌های سال انجام می‌گیرد؛ اما تنظیم نیاز زیست‌محیطی تنها در فصول غیر زراعی از محل سد انجام می‌شود.



شکل ۷- نمای کلی پیکره‌بندی مدل MODSIM مخزن سد آزارود- سناریو اول و سوم



شکل ۸- نمای کلی پیکره‌بندی مدل MODSIM مخزن سد آزارود- سناریو دوم

نتایج و بحث

سناریوی اول: این همان سناریو پایه و کالیبره است. در جدول (۵) میزان آب شرب قابل‌تنظیم در ترازهای مختلف مخزن با فرض حدود ۹۳ درصد تأمین آب موردنیاز حقابه کشاورزی ارائه شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، تراز نرمال مخزن سد آزارود برای تأمین حداقل ۱۵ میلیون مترمکعب آب موردنیاز شرب و سطح تأمین حدود ۹۳ درصد حقابه کشاورزی با اعمال

مدیریت بر منحنی فرمان بین دو تراز ۲۹۸ و ۳۰۰ متر قرار می‌گیرد؛ بنابراین تراز ۲۹۹ متر از سطح دریا به‌عنوان تراز نرمال سد در نظر گرفته شد.

جدول ۵- میزان آب شرب قابل تنظیم در ترازهای مختلف مخزن با فرض حدود ۹۳ درصد تأمین حقابه کشاورزی

تنظیم آب شرب میلیون مترمکعب	حجم مخزن پس از رسوب‌گذاری میلیون مترمکعب	ارتفاع مخزن از بستر متر	تراز نرمال مخزن متر
۱۴/۳۵	۳/۷۷	۷۳	۲۹۸
۱۶/۱۱	۴/۳۹	۷۵	۳۰۰
۱۷/۱۵	۵/۰۶	۷۷	۳۰۲
۱۸/۷۰	۵/۸۱	۷۹	۳۰۴
۲۱/۵۳	۶/۶۱	۸۱	۳۰۶

تعداد سال‌های خشک (بحرانی) که مقدار دبی رودخانه کمتر از حد متوسط و مقدار تأمین نیازهای پروژه است از اهمیت خاصی برخوردار است و اعمال کاهش عرضه آب به مصارف در چنین سال‌هایی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. جدول (۶) میانگین ماهانه نیاز و تأمین شرب، حقابه کشاورزی و محیطزیست را طی دوره شاخص برای تراز نرمال ۲۹۹ متر نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل، میانگین کمبود سالانه برای نیاز شرب، حقابه کشاورزی و محیطزیست در تراز نرمال ۲۹۹ متر، به ترتیب برابر با ۰/۸، ۷ و ۰/۳۱ درصد خواهد بود. باتوجه به کمبود در تأمین نیاز حقابه کشاورزی در دوره خشک، لازم است در این شرایط تمهیدات لازم در خصوص تأمین آب موردنیاز از منابع ثانویه ازجمله منابع آب زیرزمینی منطقه در نظر گرفته شود. خلاصه مشخصات مخزن و مقادیر ورودی و خروجی سد آزارود در سناریوی اول در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ٦- میانگین ماهانه نیاز و تأمین شرب، حقابه کشاورزی و محیطزیست (تراز نرمال ۲۹۹ متر)

ماه/سال	نیاز میلیون مترمکعب			تأمین میلیون مترمکعب		
	شرب	حقابه کشاورزی	محیطزیست	شرب	حقابه کشاورزی	محیطزیست
مهر	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷	۱/۱۲	۰/۰۰	۱/۷۶
آبان	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷
آذر	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۶۲	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۶۲
دی	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۷	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۷
بهمن	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱
اسفند	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۲	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۲
فروردین	۱/۲۵	۱/۱۰	۲/۹۱	۱/۲۵	۱/۱۰	۲/۹۱
اردیبهشت	۱/۲۵	۱/۱۰	۲/۴۱	۱/۲۵	۱/۰۸	۲/۴۱
خرداد	۱/۲۵	۳/۸۰	۱/۸۵	۱/۲۵	۳/۷۲	۱/۸۵
تیر	۱/۶۳	۶/۱۰	۱/۵۵	۱/۶۳	۵/۸۸	۱/۵۵
مرداد	۱/۶۳	۸/۴۰	۱/۱۶	۱/۵۶	۷/۲۹	۱/۱۶
شهریور	۱/۶۳	۰/۰۰	۱/۴۸	۱/۵۸	۱/۰۰	۱/۴۳
سالانه	۱۵/۰۰	۲۰/۵۰	۱۹/۴۱	۱۴/۸۸	۱۹/۰۷	۱۹/۳۵

جدول ۷- خلاصه مشخصات مخزن و مقادیر ورودی و خروجی سد آزارود در سناریوی اول

ردیف	پارامتر			مقدار	واحد
۱	تراز نرمال			۲۹۹/۰	متر
۲	ارتفاع مخزن از بستر			۱۰۰	
۳	حجم مخزن			۸/۱۴	میلیون مترمکعب
۴	متوسط ماهانه آبدهی ورودی در محل سد			۲/۲	مترمکعب در ثانیه
۵	مصارف	حقابه کشاورزی	نیاز	۲۰/۵	میلیون مترمکعب
			تأمین	۱۹/۰۷	
		شرب	نیاز	۱۵/۰	
			تأمین	۱۴/۸۸	
		زیست‌محیطی	نیاز	۱۹/۴۱	
			تأمین	۱۹/۳۵	
		کل مصارف	نیاز	۵۴/۹۱	
			تأمین	۵۳/۳۰	
۶	خروجی غیر تنظیمی		سرریز	۲۸/۳۷	
۷	تلفات از مخزن		تبخیر	۰/۰۲	

سناریوی دوم: این سناریو معرف شرایطی است که برداشت آب بهنگام رودخانه برای تأمین نیاز شرب بدون ایجاد مخزن انجام می‌گیرد. در جدول (۸) میزان تأمین، کمبود و درصد کمبود برای نیازهای شرب، حقابه کشاورزی و رهاسازی محیطزیست ارائه شده است. بر اساس نتایج مدل میانگین کمبود حجمی برای نیاز شرب، حقابه و محیطزیست به ترتیب برابر با ۱، ۲۰/۲۹ و ۲/۰۶ درصد خواهد بود. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در صورت عدم ایجاد سد، در ماه‌های فروردین تا شهریور بیشترین کمبود آب شرب و حقابه کشاورزی اتفاق می‌افتد.

جدول ۸- میانگین ماهانه نیاز و تأمین شرب و حقابه کشاورزی

ماه/سال	نیاز میلیون مترمکعب			تأمین میلیون مترمکعب		
	شرب	حقابه کشاورزی	محیطزیست	شرب	حقابه کشاورزی	محیطزیست
مهر	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷	۱/۱۲	۰/۰۰	۱/۷۵
آبان	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷
آذر	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۶۲	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۶۲
دی	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۷	۰/۹۸	۰/۰۰	۱/۴۶
بهمن	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱
اسفند	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۲	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۲
فروردین	۱/۲۵	۱/۱۰	۲/۹۱	۱/۲۵	۰/۹۳	۲/۷۳
اردیبهشت	۱/۲۵	۱/۱۰	۲/۴۱	۱/۲۵	۰/۸۴	۲/۲۸
خرداد	۱/۲۵	۳/۸۰	۱/۸۵	۱/۲۵	۳/۵۵	۱/۸۵
تیر	۱/۶۳	۶/۱۰	۱/۵۵	۱/۶۳	۵/۵۳	۱/۵۵
مرداد	۱/۶۳	۸/۴۰	۱/۱۶	۱/۵۵	۵/۵	۱/۱۶
شهریور	۱/۶۳	۰/۰۰	۱/۴۸	۱/۵۸	۰/۰۰	۱/۴۲
سالانه	۱۵/۰۰	۲۰/۵۰	۱۹/۴۱	۱۴/۸۵	۱۶/۳۴	۱۹/۰۱

سناریوی سوم: در این سناریو در ماه‌هایی که رهاسازی جهت مصارف کشاورزی وجود دارد، نیاز زیست‌محیطی صفر در نظر گرفته شده است. در جدول (۹) میزان آب شرب قابل تنظیم در ترازهای مختلف مخزن با فرض حدود ۹۳ درصد تأمین آب موردنیاز حقابه کشاورزی ارائه شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، تراز نرمال مخزن سد آزارود برای تأمین حداقل ۱۵ میلیون مترمکعب آب موردنیاز شرب و سطح تأمین حدود ۹۳ درصد حقابه کشاورزی ۲۹۲ متر از سطح دریای آزاد در نظر گرفته شد. جدول (۱۰) میانگین ماهانه تأمین و نیازهای شرب، حقابه کشاورزی و محیط‌زیست را طی دوره شاخص برای تراز نرمال ۲۹۲ متر نشان می‌دهد. بر اساس نتایج درصد خواهد بود. باتوجه به نتایج مدل میانگین کمبود برای نیازها در تراز فوق، به ترتیب برابر با ۰/۸، ۷/۱ و ۰/۸۴ درصد خواهد بود. باتوجه به کمبود در تأمین نیاز حقابه کشاورزی در دوره خشک، لازم است در این شرایط تمهیدات لازم در خصوص تأمین آب موردنیاز از منابع ثانویه ازجمله منابع آب زیرزمینی منطقه در نظر گرفته شود. به‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد، بیشترین کمبود در مرداد اتفاق می‌افتد.

جدول ۹- میزان آب شرب قابل تنظیم در ترازهای مختلف مخزن با فرض تأمین حدود ۹۳ درصد حقابه کشاورزی

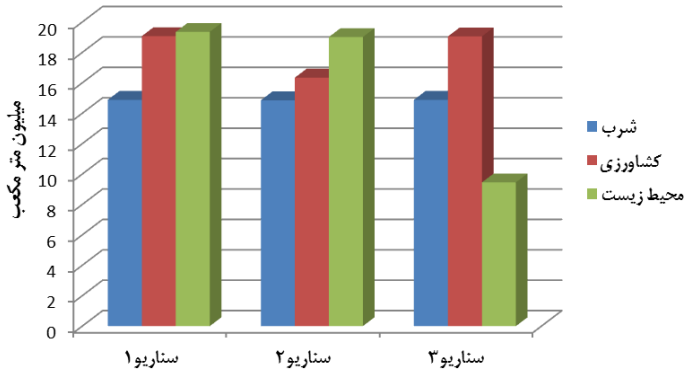
تنظیم آب شرب میلیون مترمکعب	حجم مخزن پس از رسوب‌گذاری میلیون مترمکعب	ارتفاع مخزن از بستر متر	تراز نرمال مخزن متر
۰/۱۲	۱/۷۳	۶۵	۲۹۰
۱۵/۱۵	۲/۱۷	۶۷	۲۹۲
۱۷/۱۰	۲/۶۵	۶۹	۲۹۴

جدول ۱۰- میانگین ماهانه نیاز و تأمین شرب، حقابه کشاورزی و محیط‌زیست (تراز نرمال ۲۹۲ متر)

ماه/سال	نیاز میلیون مترمکعب			تأمین میلیون مترمکعب		
	شرب	حقابه کشاورزی	محیط‌زیست	شرب	حقابه کشاورزی	محیط‌زیست
مهر	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷	۱/۱۲	۰/۰۰	۱/۷۶
آبان	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷	۱/۱۳	۰/۰۰	۱/۷۷
آذر	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۶۲	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۶۲
دی	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۷	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۷
بهمن	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۱
اسفند	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۲	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۲
فروردین	۱/۲۵	۱/۱۰	۰/۰۰	۱/۲۵	۱/۱۰	۰/۰۰
اردیبهشت	۱/۲۵	۱/۱۰	۰/۰۰	۱/۲۵	۱/۱۰	۰/۰۰
خرداد	۱/۲۵	۳/۸۰	۰/۰۰	۱/۲۵	۳/۸۰	۰/۰۰
تیر	۱/۶۳	۶/۱۰	۰/۰۰	۱/۶۳	۶/۰۲	۰/۰۰
مرداد	۱/۶۳	۸/۴۰	۰/۰۰	۱/۵۷	۷/۰۳	۰/۰۰
شهریور	۱/۶۳	۰/۰۰	۱/۴۸	۱/۵۸	۰/۰۰	۱/۴۲
سالانه	/۰۰	۲۰/۵۰	۹/۵۳	/۸۸	۱۹/۰۵	۹/۴۵

سناریوی برتر

با مقایسه سناریوهای اجراشده در مدل برنامه‌ریزی منابع آب طرح آزارود ملاحظه می‌گردد که در سناریو بدون ساخت سد (سناریوی ۲) عمده کمبود مربوط به ماه‌های تابستان است، بنابراین در درازمدت باتوجه به هم‌زمانی پیک مصرف شرب با مصارف کشاورزی، مشکل تأمین آب شرب حل نخواهد شد. در رابطه با گزینه عدم تأمین آب نیاز محیط‌زیست (سناریوی ۳)، چنانچه سازمان محیط‌زیست با این گزینه موافق باشد امکان اجرای آن وجود دارد، اما در واقع باتوجه به اینکه در فصل تابستان بخشی از رودخانه در پایین‌دست خشک می‌شود، این گزینه پیشنهاد نمی‌شود. نهایتاً مناسب‌ترین گزینه سناریوی اول است که نیازهای پایین‌دست را در تراز نرمال ۲۹۹ متر از سطح دریای آزاد با شرط ۹۳ درصد تأمین حقابه کشاورزی و بالای ۹۹ درصد تأمین نیاز شرب و محیط‌زیست برآورده خواهد کرد. بر اساس نتایج مدل، میانگین کمبود سالانه برای نیاز شرب، حقابه کشاورزی و محیط‌زیست در تراز نرمال، به ترتیب برابر با ۰/۸، ۷ و ۰/۳۱ درصد خواهد بود. در شکل (۹) سناریوهای مختلف از نظر میزان تأمین نیازهای شرب، کشاورزی و محیط‌زیست با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل ۹- مقایسه سناریوهای مختلف از نظر تأمین نیازهای شرب، کشاورزی و محیط‌زیست

نتیجه‌گیری

برای مدیریت بهینه منابع آب مخازن و سدها به دلیل محدودیت‌هایی نظیر محدودیت زمان، هزینه، خطرات احتمالی به محیط‌زیست و غیره نمی‌توان همهٔ سناریوها را در حوضه‌ها به کار گرفت و بایستی از بین آن‌ها مناسب‌ترین سناریو انتخاب شود. ازاین‌رو ابزارهای نرم‌افزاری می‌توانند به ارزیابی گزینه‌های ممکن و انتخاب کارآمدترین سناریو کمک نمایند. در این پژوهش با استفاده از مدل MODSIM سناریوهای مختلفی در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب سد آزارود موردبررسی قرار گرفته است. باتوجه به نتایج حاصل از سناریوهای اجرا شده در مدل برنامه‌ریزی منابع آب طرح آزارود ملاحظه می‌گردد که در سناریو دوم (استفاده از آب بهنگام رودخانه بدون ساخت سد)، بیشترین کمبود مربوط به ماه‌های تابستان است، لذا باتوجه به هم‌زمانی پیک مصرف شرب با کشاورزی، مشکل تأمین آب شرب که هدف و رویکرد اصلی اجرای طرح آزارود است به قوت گذشته باقی خواهد ماند. در سناریوی دوم به دلیل عدم تأمین آب موردنیاز محیط‌زیست در فصول زراعی، بخشی از رودخانه در فصل تابستان خشک خواهد شد، لذا گزینه مناسبی نیست. ازاین‌رو سناریوی اول به‌عنوان گزینه منتخب مطرح است. در این سناریو با ساخت سدی به ارتفاع حدود ۸۰ متر از بستر رودخانه (تراز نرمال ۲۹۹ متر) می‌توان ۹۹ درصد نیاز شرب و محیط‌زیست و همچنین ۹۳ درصد حقابه کشاورزی را تأمین نمود؛

بنابراین باتوجه به اهمیت سد آزارود در تأمین بخشی از آب شرب شهرستان‌های چالوس و نوشهر و شهر نشتارود باید سیاست‌های مناسبی اتخاذ شود تا تأمین آب شرب آن‌ها در آینده با مشکل مواجه نشود.

سپاسگزاری

در پایان لازم است مراتب سپاسگزاری و تشکر از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران که در زمینه جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سد آزارود همکاری لازم را داشتند به‌جا آورده شود.

منابع

حسین پور، س.، دهقانی، ا.ا.، ظهیری، ع.، شوریان، م. و مفتاح هلقی، م. ۱۳۹۷. تلفیق استفاده از مدل برنامه‌ریزی منابع آب MODSIM و الگوریتم فراکاوشی PSO در تعیین حجم بهینه مخازن آب شرب (مطالعه موردی: شهر گرگان). نشریه مهندسی منابع آب. ۳۸ (۳): ۷۱-۸۲.

راثی نظامی، س.، نظریها، م.، باغوند، ا. و مریدی، ع. ۱۳۹۰. توسعه مدل تخصیص منابع آب در مقیاس حوضه آبریز با رویکرد تأمین نیاز زیست‌محیطی، مطالعه موردی: حوضه آبریز مهارلو بختگان. پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست. تهران: دانشگاه تهران.

شرکت مهندسین مشاور خزرآب. ۱۳۹۴. طرح جامع آب استان مازندران، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

شرکت مهندسین مشاور طوس آب. ۱۴۰۲. گزارش مطالعات مرحله اول برنامه‌ریزی منابع آب سد آزارود. شرکت آب منطقه‌ای مازندران.

شرکت مهندسین مشاور طوس آب. ۱۴۰۰. گزارش مطالعات مرحله اول هواشناسی سد آزارود. شرکت آب منطقه‌ای مازندران.

شوریان، م. و موسوی، س. ج. ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال بین حوضه‌ای. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان.

کمیسیون تخصیص آب وزارت نیرو. ۱۴۰۰. موافقت نامه تخصیص آب سد آزارود. مصوبه شماره ۱۱۹۰۴/۱۰۰/۱۴۰۰.

محسنی زاده، ا. و شوریان، م. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب در سطح حوضه آبریز با استفاده از تلفیق مدل شبیه‌سازی MODSIM و الگوریتم بهینه‌سازی فاخته (COA). نشریه تحقیقات منابع آب ایران. سال سیزدهم (۴): ۱-۱۶.

میثاقی، ف. و صادقیها، ج. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد مخزن سد نهب در شرایط خشکسالی با استفاده از مدل MODSIM. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۳): ۲۵-۴۲.

Ashrafi, S., Kerachian, R., Pourmoghim, P., Behboudian, M. and Motlaghzadeh, K. 2022. Evaluating and improving sustainability of ecosystemservices in river basins under climate change. Science of The Total Environment. 806(3). DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.150702.

Degefu, D. M., He, W. and Yuan, L. 2017. Monotonic bargaining solution for allocating critically scarce transboundary water. Water Resources Management. 31(9): 2627-2644.

Fadaeizadeh, K. and Shourian, M. 2019. Determination of the optimal river basin-wide agricultural water demand quantities meeting satisfactory reliability levels. Water Resources Management. 33(8): 2665-2676.

Helmi, M. and Khashei-Siuki, A. 2022. Planning the Optimal Allocation of Water Resources Using EA-MODSIM Simulation-Optimization Model. Water Harvesting Research, 5(1): 121-130.

Li, C. Y., and Zhang, L. 2015. An inexact two-stage allocation model for water resources management under uncertainty. Water Resources Management. 29(6): 1823-1841.

Mortezaeipooya, S.S., Ashofteh, P.S., Golfam, P., and Loáicigaei, H. 2022. Evaluation of water supply system performance affected by climate change with MODSIM modeling and reservoir efficiency indicators. Arabian Journal of Geosciences. 15(19). DOI: 10.1007/s12517-022-10795-y.

Mousavi S.M., Babazadeh H., Sarai-Tabrizi M. and Khosrojerdi A. 2022. Evaluation of solutions to supply part of the environmental requirements of Lake Urmia using MODSIM and Analytic Hierarchy Process (AHP). Water and Soil Management and Modeling. 3(3):120-134. DOI: 10.22098/mmws.2022.11521.1143.

Nicklow, J., Reed, P., Savic, D., Dessalegne, T., Harrell, L., Chan-Hilton, A. and ASCE Task Committee on Evolutionary Computation in Environmental and Water Resources Engineering. 2010. State of the art for genetic algorithms and beyond in water resources planning and management. Journal of Water

Resources Planning and Management. 136(4): 412-432.

Pourmoghim, P., Behboudian, M. and Kerachian, R. 2022. An uncertainty-based framework for evaluating and improving the long-termresilience of lakes under anthropogenic droughts. Journal of Environmental Management. 301. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113900.

Shenava, N., and Shourian, M. 2018. Optimal reservoir operation with water supply enhancement and flood mitigation objectives using an optimization-simulation approach. Water resources management. 32(13): 4393-4407.

Sherafatpour, Z., Roozbahani, A. and Hasani, Y. 2019. Agricultural Water Allocation by Integration of Hydro-Economic Modeling with Bayesian Networks and Random Forest Approaches. Water Resources Management. 33: 2277-2299.

Vaghefi, S.A., Abbaspour, K., Faramarzi, M., Srinivasan, R. and Arnold, J.G. 2017. Modeling crop water productivity using a coupled SWAT-MODSIM model. Water. 9(3):157. DOI: 10.3390/w9030157.

Zhou, Y., Guo, S., Xu, C. Y., Liu, D., Chen, L. and Ye, Y. 2015. Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (I): Methodologies. Journal of Hydrology. 531: 964-976.

Water Management in Agriculture
Vol. 12, No. 2, Autumn and Winter 2026, 43-58

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، ص. ۵۸-۴۳

Water Allocation Management of the Azaroud Dam Using a Scenario Analysis Approach with the MODSIM model

H. Davodian [1], M. A. A. Mirzaee [2] and , M. Asghari [3*]

Abstract

Due to the limited of water resources and the continuous increase in water demands, the application of modern water allocation strategies has become more critical than ever. Feasibility studies for the construction of a dam on the Azaroud River in western Mazandaran were conducted to meet downstream domestic and agriculture water demands. The objective of the present study is to manage the allocation of Azaroud River water resources in order to satisfy domestic and agricultural demands, while considering their future growth. For this purpose, the Azaroud Dam and its downstream areas were first simulated using the MODSIM model, and then the model was implemented for current conditions and two different future development scenarios. The proposed scenarios include: (1) construction of the dam and regulation of domestic, agricultural, and environmental water demands throughout all months of the year; (2) existing conditions without dam construction; and (3) construction of the dam and regulation of domestic and agricultural demands throughout the year, with environmental water requirements supplied only during non- growing seasons. The parameters used in the model include the base flow of Azaroud River and precipitation as inputs, domestic, agricultural, and environmental water demands as regulated outputs, and outputs, and reservoir spillway flow and surface evaporation as reservoir losses. Constraints such as meeting at least 95% of domestic water demand and approximately 93% of agricultural demand over the entire simulation period were incorporated into the model. The results indicate that in the second scenario, most of the water deficit occurs during the summer season; therefore, in the long term, due to the coincidence of peak domestic and agricultural water demands, the problem of domestic water supply will persist. In the third scenario, parts of the downstream river reach become dry during summer. Consequently, the most suitable option is the first scenario, in which the construction of the dam provides at least 15 million cubic meters of water required for domestic use. In this scenario, the average annual deficits for domestic, agriculture and environment water demands are estimated to be 0.8%, 7%, and 0.31%, respectively.

Keywords: Azaroud Dam, MODSIM, Simulation, Water demand, Water resources management

[1] MSc in Civil Engineering, CEO of Mazandaran Regional Water Company, Sari, Iran
[2] MSc in Civil Engineering, Deputy for Planning and Development of Mazandaran Regional Water Company, Sari, Iran
[3]PhD in Geology, Pendaram Consulting Engineers, Tehran, Iran (*Corresponding Author Email: ma.gholami@sanru.ac.ir)
Received: 7 Aug 2024
Accepted: 29 Jan 2024