دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

شبیه‌سازی و ارزیابی شاخص تکاپوی آب سد مخزنی شهید یعقوبی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم

میلاد صباغی[۱]، علی شاهنظری[۲] و علی‌نقی ضیایی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: aliponh@yahoo.com)
۳- استادیار، علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۹

چکیده

عرضه و تامین نیاز آبی با اطمینان پذیری بالا نیاز به برنامه‌های دقیق و کامل دارد لذا شناخت رفتار سد و شناسایی عملکرد آن از ملزومات مدیریت سیستم‌های منابع آب و برنامه‌ریزی آینده می‌باشد. در این پژوهش از نرم‌افزار VENSIM که بر مبنای روش پویایی سیستم عمل می‌کند، جهت ارزیابی عملکرد سیستم موجود، پیش‌بینی روند تغییرات مصارف موجود مخزن در حال حاضر و ارزیابی ورودی موردنیاز بررسی و صحت سنجی شده است و شبیه‌سازی برای یک دوره ١٤ ساله (١٣٩١- ١٣٧٨) انجام‌گرفته است. به‌منظور اعتبار سنجی نتایج مدل، عملکرد محاسبه‌ای و مشاهده‌ای حجم مخزن مقایسه شدند و مقدار شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ، خطای استاندارد (SE) و ضریب تشخیص (R^2) به ترتیب ۳/۵، ۳/۱ و ۰/۸۳ محاسبه شد. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی و پژوهش‌های میدانی و مشورت با متخصصین منابع آب منطقه، به ارزیابی عملکرد سد و شاخص تکاپوی آب (W.D.P) که معادل با ۰/۱۲۸ می‌باشد، پرداخته شد. دلیل عدم عملکرد مناسب سد عواملی چون مقدار ورودی به سد (میانگین سالانه ۹ میلیون متر مکعب) به دلیل احداث سد خاکی در بالادست مخزن و آبگیری در بالادست توسط موتور تلمبه‌ها از رودخانه کال سالار می‌باشد و شرایط واقعی با اهداف اولیه قبل از احداث سد (حجم آب قابل تنظیم سالانه ۳۹ میلیون مترمکعب) با شرایط موجود (حجم آب قابل تنظیم سالانه ۵ میلیون مترمکعب) مطابقت نداشته است. در نهایت سیاست‌های افزایش راندمان آبیاری (۱۰٪ تا ۳۰٪ به منظور کمک به آبیاری بخشی از زمین‌های کشاورزی دشت جنگل به میزان ۲/۵ تا ۸ میلیون متر مکعب) و بهره‌برداری بهنگام از سد (در جهت استفاده از جریانات سیلابی و تغذیه آب زیرزمینی) اعمال شد و نتایج نشان داد که با توجه به آبدهی رودخانه و مقدار تقاضا در ۹۲ ماه از ١٦٨ ماه دوره شبیه‌سازی شده قادر به پاسخگویی مقدار نیاز کشاورزی پایین‌دست (دشت رشتخوار) نمی‌باشد اما در ٧٦ ماه علاوه بر اینکه قادر به پاسخگویی نیاز کشاورزی دشت رشتخوار هست قادر به کمک در تأمین بخشی از نیاز کشاورزی دشت جنگل نیز می‌باشد همچنین با توجه به مدل تهیه شده میزان حجم و ارتفاع مخزن براساس شرایط موجود بررسی گردید که سد با حجمی معادل ۳۸ میلیون متر مکعب (حجم سد ۷۲ میلیون متر مکعب) هم نیز توانایی پاسخگویی شرایط موجود را دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد شاخص تکاپوی آب سد، شبیه‌سازی، دشت رشتخوار، رودخانه کال‌سالار، VENSIM

مقدمه

با توجه به نقش حیاتی آب، در تمامی ادوار زندگی بشر و گسترش روزافزون جمعیت، بحران کم‌آبی قابل پیش‌بینی بوده و همواره کارشناسان را بر آن داشته تا با ارائه طرح‌ها و شیوه‌های مهار آب، تلفات آن را کاهش داده و به سهولت در دسترس عموم قرار دهند. (۱۲) سال‌ها است که احداث سدها به‌عنوان مانعی در برابر حرکت آب و ذخیره کردن آن در مخازن عظیم، کنترل سیلاب و تولید انرژی و ... یکی از راهکارهای اساسی به شمار می‌رود (۱۰). گرچه تأثیرات آب بر زندگی بشر و گسترش تمدن‌ها در سراسر جهان شناخته‌شده است اما ادعا شده که مزایای اقتصادی موردنظر، از پروژه‌هایی که برای بهره‌برداری از منابع آب طراحی‌شده، حاصل نشده و همچنین پیش‌بینی‌های ضروری برای کاهش مضرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به‌درستی انجام نشده‌اند (۱۱). استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در حل مسائل مدیریت منابع آب و به‌ویژه بهره‌برداری بهینه از مخازن، جایگاه بارزی در مطالعات گذشته داشته به‌گونه‌ای که مدل‌های مختلفی در سیر تکامل روش‌های بهینه‌سازی در این حوزه توسعه داده شده‌اند. (۲) علیرغم توسعه و استفاده زیاد از روش‌های بهینه‌سازی، توسعه یک مدل شبیه‌ساز که در کنار نمایشی صحیح و کارآمد از یک سیستم پیچیده و پویا، قابلیت اعمال سیاست‌های مختلف تصمیم‌گیری در مدل را نیز داشته باشد همواره مورد تحقیق بسیاری از افراد در حوزه‌های مختلف به‌ویژه تحلیل دستگاه‌ها بوده است (۲۳). در ادبیات تحلیل پویایی سیستم‌ها مدل‌های زیر قابل‌توجه هستند: سیمنوویچ و احمد (۱۶) با استفاده از روش پویا، سیستم بهره‌برداری از یک مخزن را برای سال پرآبی و چندین سیلاب رخداده برای یک سد بررسی و رفتار مخزن را در برابر سیلاب شبیه‌سازی کردند. ایشان در این تحقیق اثرات مدیریت سیلاب در مخازن با سریزهای دریچه دار و سریزهای بدون دریچه با یکدیگر مقایسه کرده و رفتار مدل برای شرط اولیه تراز مخزن، تحلیل حساسیت کردند. مدنی و مارینو (۱۳) تحلیل سیستم پویا را برای مدیریت کردن حوضه آبریز زاینده‌رود در ایران به کاربردند. در این مطالعه، روابط متقابل مختلف اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فیزیکی حوزه در نظر گرفته شد. آن‌ها با استفاده از روش شبیه‌سازی و به کمک حلقه‌ی علت و معلولی به این نتیجه رسیدند که انتقال آب از حوضه دیگر تنها راه‌حل برای این مشکل نمی‌باشد. وینز (۲۳) با استفاده از سیستم‌های پویا، ساختاری برای یک سیستم تأمین آب و با بهره‌گیری از چرخه‌های بازخورد و روابط پویا

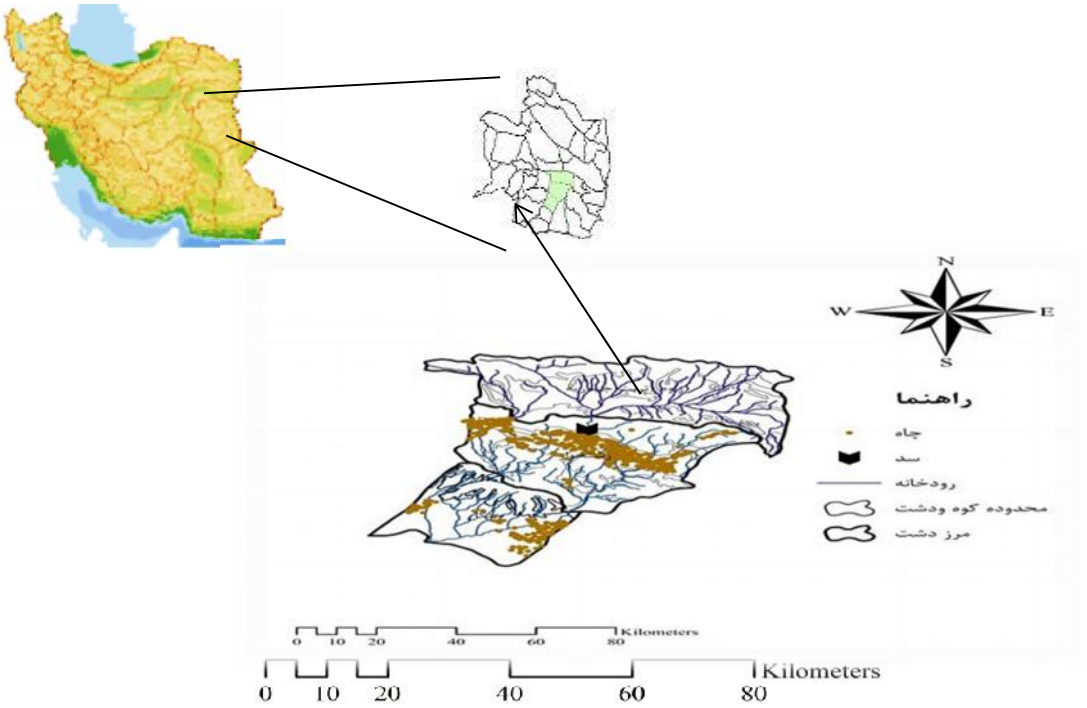
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]

درگذر زمان برای شناسایی رفتار سیستم جهت مدیریت و توسعه پایدار منابع آب برای نیوزلند توسعه داد. المهدی و همکاران (۳) به‌منظور ماکزیمم کردن سود خالص ناشی از مصرف آب در آبیاری زمین‌های کشاورزی یک مدل برنامه‌ریزی خطی را با مدل دینامیکی NSOM[1] ترکیب و نتایج را با نتایج روش پویایی سیستم مقایسه کردند. نتایج نشان داد دیدگاه سیستم دینامیکی پتانسیل بهینه‌سازی را دارد و می‌توان با استفاده از آن در مواقع کمبود آب کشاورزی را مدیریت کرد. جلالی و افشار (۸) برای بهره‌برداری از سدهای برق‌آبی مدلی بر اساس پویایی سیستم ارائه کردند. در این مدل به‌راحتی می‌توان سناریوهای مدیریتی و منحنی فرمان را اعمال کرده و با سرعت بالایی به حل مسئله پرداخت. گلیان و همکاران (۷) سیاست بهره‌برداری از منابع آب در حوضه آبریز آجی چای 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 نمودند. نوذری و لیاقت (۱۵) به کمک سیستم پویا نحوه‌ی حرکت آب و املاح را در خاک، در حضور لوله‌های زهکش زیرزمینی، شبیه‌سازی کردند و نشان داده که این روش می‌تواند زهاب و املاح خروجی از لوله زهکش را شبیه سازی کند. هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد سد شهید یعقوبی با توجه به شاخص تکاپوی آب می‌باشد. لذا برای رسیدن به عملکرد واقعی سد و شناخت رفتار سد، شبیه‌سازی مخزن سد مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار VENSIM انجام شد. مدل‌سازی سد شهید یعقوبی در بازه زمانی ۱۴ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۹) ارائه گردیده و علل بازدهی پایین و دلایل مغایرت آن با اهداف اولیه سد بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

سد شهید یعقوبی در فاصله ۲۳ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تربت‌حیدریه بر روی رودخانه کال سالار احداث گردیده است. ساختگان این سد در موقعیت جغرافیایی ۲۱ ً ۲۴ ° ۵۹ طول شرقی و ۲۷ ۰۹ ° ۳۵ عرض شمالی قرار دارد. حجم سد مخزنی شهید یعقوبی در تراز نرمال (۷۲ میلیون مترمکعب) حجم مرده مخزن (۲۲ میلیون مترمکعب) و حجم مفید آن (۵۰ میلیون مترمکعب)، رقوم تاج از سطح دریا ۱۲۵۵/۷۵، رقوم نرمال از سطح دریا ۱۲۴۹/۷۵و رقوم بستر از سطح دریا ۱۱۹۹/۷۵ متر می‌باشد. (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت سد و دشت‌های (به ترتیب از بالا به پایین) زاوه (تربت‌حیدریه)، رشتخوار و جنگل
Figure 1. The location of the dam and plains (from top to bottom, respectively) Zaveh (Torbat Heydarieh), Roshtkhar and Jangal.

روش پویایی سیستم

رفتار سیستم‌ها برخاسته از ساختار آن‌ها می‌باشد. این ساختار متشکل از اقسام حلقه‌های بازخوردی، متغیرهای حالت (انباره) و نرخ (جریان)، رفتارهای غیرخطی ناشی از تعامل متغیرهای مختلف و تأخیرهای موجود می‌باشد (۱۴). در این پژوهش از نرم‌افزار VENSIM که یک ابزار مدل‌سازی شی گرا است و به کاربر امکان تعریف، ذخیره، شبیه‌سازی، تحلیل و بهینه سازی مدل‌های پویایی سیستم را می‌دهد، استفاده شد (۲۲). نمودارهای ذخیره و جریان ترسیمی در مدل با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیل مرتبه اول (اغلب غیرخطی)

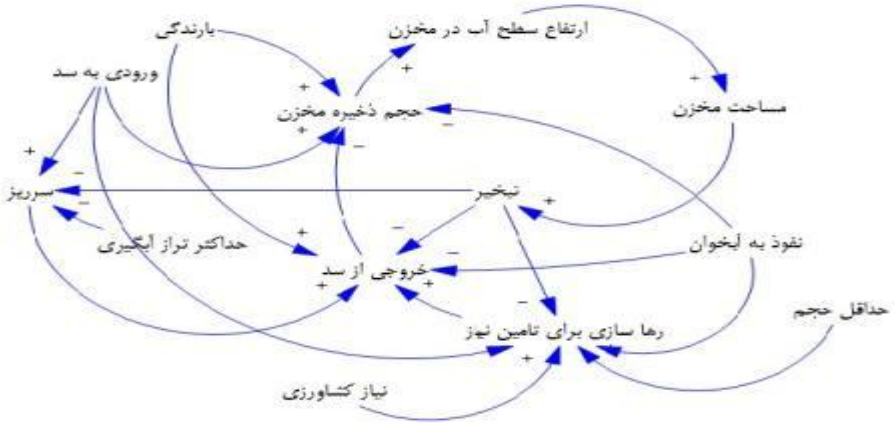
1- Network Simulation Optimisation Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]

که با روش Runge-Kutta حل می‌شوند، ساخته می‌شود (۲۰). پیشرفت از کلیات به جزئیات صورت می‌گیرد به‌طوری‌که به‌صورت تدریجی توابع و اجزای متصل شده بیشتر می‌شود تا یک مدل کامل شود (۱۸). همچنین کاربر می‌تواند در زمان ساخت مدل خود بارها مدل را مورد ارزیابی قرار دهد و تحلیل‌های متنوعی را از سیستم استخراج نماید (۱۷).

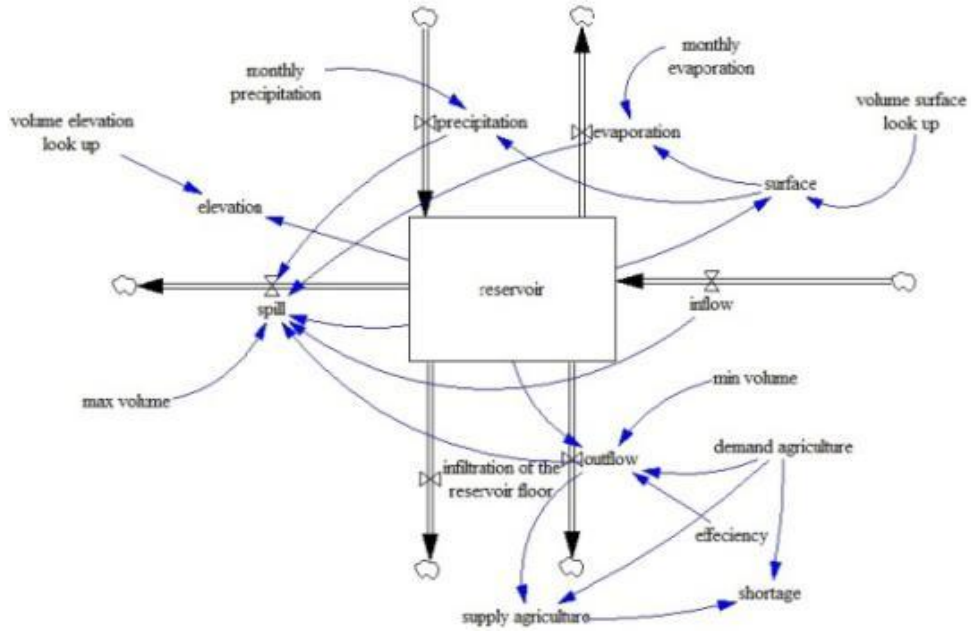
ساختار و گام‌های طراحی مدل

نخستین گام برای طراحی مدل سد مورد نظر دسته‌بندی و آنالیز داده‌های پایه (شامل آمار ورودی ماهانه و سالانه به مخزن، تبخیر از سطح مخزن، توزیع ماهانه نیاز کشاورزی و بارندگی) می‌باشد (۲۱). که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی اخذ شد، سپس ایجاد مدل شبیه‌سازی در نرم‌افزار سیستم دینامیکی vensim و تعریف متغیرها، فرمول‌بندی و نحوه محاسبه میزان ورودی و خروجی از مخزن سد بر اساس نیازهای پایین‌دست (تامین بخشی از نیاز کشاورزی دشت‌های رشتخوار و جنگل) انجام شد. تهیه نمودار علت و معلول و فرآیند تبدیل نمودار علت معلولی به نمودار ذخیره جریان و در نهایت اعتبار سنجی و آزمون مدل مرحله بعدی این مطالعه بود که با داده‌های وضع موجود سد شهید یعقوبی این مقایسه و آزمون صورت گرفته است.



شکل ۲- نمودار علی و معلولی سد

Figure 2. The causal and barrier diagram of the dam



شکل ۳- مدل تهیه‌شده شامل مخزن سد، ورودی و خروجی

Figure 3. Prepared model is including of the reservoir, inflow, and outflow.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]

اطلاعات ورودی به مدل

۱- سری بلندمدت آبدهی ماهانه ورودی به مخزن سد (میلیون متر مکعب)(inflow) ۲- توزیع ماهانه تبخیر از سطح مخزن (میلیمتر) (evaporation) ۳- جدول سطح- حجم- ارتفاع مخزن سد (به ترتیب کیلومتر مربع- میلیون متر مکعب و متر) ۴- حجم حداکثر مخزن (میلیون متر مکعب)(max volume) ۵- حجم حداقل مخزن (میلیون متر مکعب)(min volume) ۶- توزیع ماهانه نیاز کشاورزی (میلیون مترمکعب) (agriculture demand) ۷- نشت به آبخوان(infiltration of the reservoir floor) ۸- بارندگی(precipitation) دوره آماری انتخاب شده جهت شبیه سازی سد شهید یعقوبی یک دوره ۱۴ ساله شامل سالهای آبی ۱۳۹۱-۱۳۷۸ (۱۶۸ ماه) می باشد.

محاسبات بهره‌برداری از مخزن

اساس طراحی حجم مخزن در این پژوهش مبتنی بر استفاده از رابطه توازن حجمی در محل مخزن سد است که بر طبق معادله زیر ارائه می‌گردد (۴).

$$St+1 = St + It + Pt - Qt - ET - Spt - Is \quad (۱)$$

St+1 , St حجم مخزن در ابتدا و انتهای دوره به میلیون مترمکعب ، It ورودی به مخزن در طول دوره t (میلیون متر مکعب)، Pt بارش مستقیم بر روی مخزن در طول دوره t (میلیمتر)، Qt خروجی از مخزن در طول دورهt (میلیون مترمکعب)، Et تبخیر از مخزن در طول دوره t (میلیمتر)، Spt سرریز از مخزن در طول دوره t (میلیون متر مکعب)، Is تلفات نفوذ در مخزن (میلیون مترمکعب).

نمایش ریاضی حالت و جریان

نشانه‌های به‌کاررفته برای ترسیم نمودارهای حالت جریان اولین بار توسط فارستر ابداع شد و برگرفته از مباحث هیدرولیک است. به‌عبارت‌دیگر حالت بیان کننده منبع آب و جریان نیز نشان‌دهنده جریان آب ورودی یا خروجی است (۵).

(۲)

$$Stock(t) = \int_{t0}^{t}[Inflow(s) - outflow(s)]ds + stock(t0)$$

میزان تغییرات حالت در واحد زمان برابر است با نرخ خالص افزایش حالت و یا نرخ ورودی و خروجی:

(۳)

$$d(stock)/dt = Inflow(t) - Outflow(t)$$

حجم مخزن برای هر فاصله زمانی (ماه) با استفاده از کد زیر محاسبه شد:

(۴)

```
Reservoir=inflow-evaporation-infiltration of the
reservoir floor-outflow-spill+precipitation
```

مقدار خروجی از سد با توجه به کد نوشته شده برابر است با:

(۵)

```
IF THEN ELSE((reservoir-min volume)>
demand agriculture, demand agriculture,
(reservoir-min volume)
```

مقدار سریز از سد موردنظر با استفاده از کد زیر محاسبه شد:

(۶)

```
If then else =
((reservoir+inflow+precipitation+outflow-
evaporation)>(maxvolume),(reservoir+ inflow
+ precipitation-outflow-evaporation-
(maxvolume)),0)
```

دیگر پارامترها و متغیرهای مؤثر در سیستم

مقدار نفوذ آب پشت سد به آبخوان که براساس محاسبه بیلان سد بدست آمد.د همچنین برای محاسبه تأمین نیازهای سد مینیمم تقاضا و خروجی از سد در نظر گرفته‌شده است:

MIN (demand agriculture,outflow) (۷)

ارزیابی عملکرد سد

برای ارزیابی، بهره برداری از سدها (کشاورزی، شرب، صنعت و ...) نمی‌توان دستورالعملی عمومی ارائه کرد. طرح‌ها از هر لحاظ متفاوت هستند و به‌خصوص هدف‌های متفاوتی دارند. برای ارزیابی و حل مشکلات ابتدا باید شناخت کافی از مشکلات طرح را پیدا کرد، سپس علت به وجود آمدن را مشخص کرد و درنهایت درصدد از بین بردن آن علل یا عوامل برآییم (۶). با توجه به هدف از این پژوهش شاخص تکاپوی آب (Performance Water Delivery) مورد بررسی قرار گرفت. که با توجه به معادله ۸ محاسبه گردید.

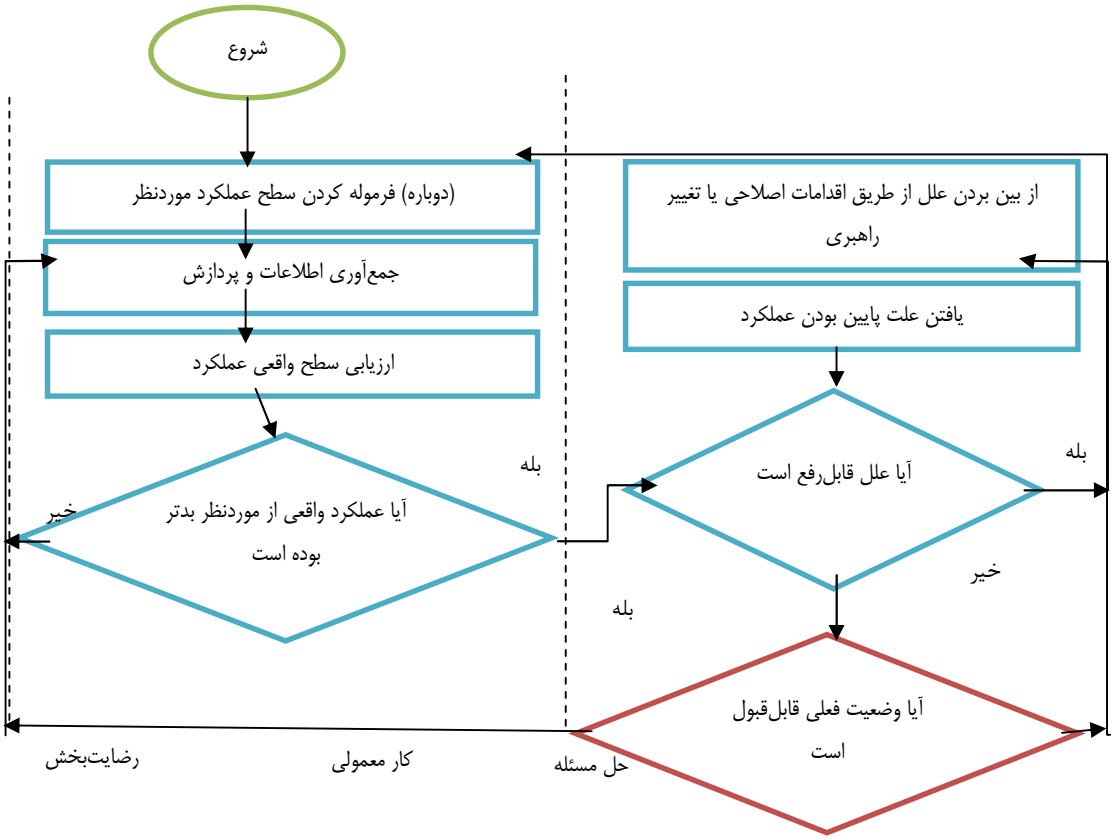
شکل (دیاگرام) ۴ که روند عملیات ارزیابی عملکرد سد را در این پژوهش نشان می‌دهد. پس از جمع آوری و پردازش اطلاعات و همچنین انتخاب شاخص تکاپوی آب با توجه به هدف این پژوهش و ارزیابی سطح واقعی عملکرد با توجه به مدل ارائه گردیده برای سد مورد نظر علت پایین بودن عملکرد سد بررسی گردید و سیاست‌هایی در جهت بهبود شرایط موجود با توجه به قابلیت‌های مدل ارائه شده، اعمال گردید.

(۸)

$$W.D.P = \frac{\text{حجم آب واقعی تحویل داده شده}}{\text{حجم آب مورد نظر برای تحویل}}$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]



شکل ۴- روند عملیات ساده مدیریت ارزیابی عملکرد
Figure 4. Simple process of managing, performance evaluation

طراحی و ارزیابی سیاست‌ها

در سیاست‌های اعمال شده افزایش راندمان آبیاری، بهره برداری بهنگام از سد بررسی شدند. در پژوهش حاضر افزایش راندمان آبیاری برای سه حالت ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ بررسی شد. و هچنین با صفر در نظر گرفتن حجم مخزن و بهره‌برداری بهنگام درصد تامین نیاز کشاورزی تعیین شد. از دیگر سیاست‌های اعمال شده می‌توان به بررسی ارتفاعات و حجم مختلف سد برای پاسخگویی به شرایط موجود و نحوه عملکرد سد با در نظر گرفتن اهداف اولیه در این پژوهش اشاره کرد.

ارزیابی مدل

در مباحث منابع آب نظیر تحقیق حاضر، به دلیل اهمیت بیلان زمانی و مکانی آب، مدلی که قادر باشد رفتار مرجع را بازسازی نماید، حائز اهمیت است (۹). متغییری که صحت سنجی آن بررسی گردیده است، تغییرات حجم مخزن برمبنای خروجی از سد می‌باشد. که برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی مقدار شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE) و ضریب همبستگی (R^2) استفاده شد (۱). در این معادلات مقادیر O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده $\bar{O}$ میانگین مقدار مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(Oi-\overline{O})*(Pi-\overline{O})]^2}{\left[\frac{n\sum_{i=1}^{n}Oi^2-[\sum_{i=1}^{n}Oi]^2}{n-1}\right]*\left[\frac{n*\sum_{i=1}^{n}Pi^2-[\sum_{i=1}^{n}Pi]^2}{n-1}\right]} \quad (۱۰)$$

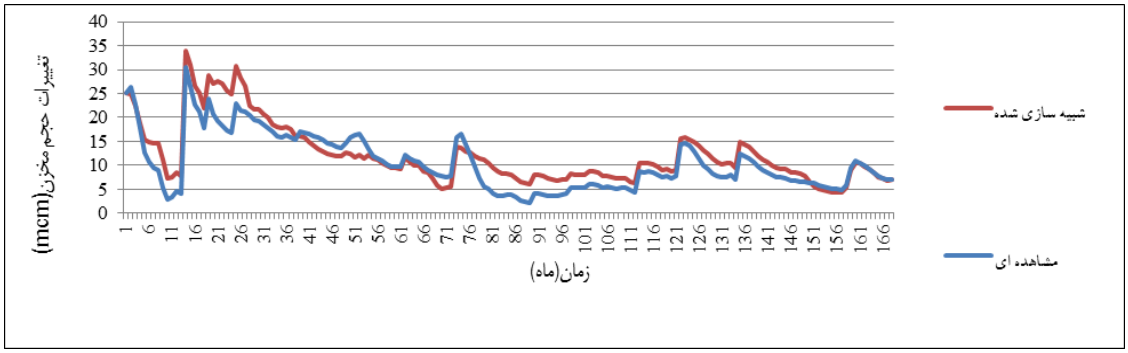
$$(RMSE)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-Pi)^2}{n}} \quad (۱۱)$$

$$SE=\frac{1}{\sqrt{n-2}}[\sum_{i=1}^{n}(Pi-\overline{P})^2-\frac{[\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})(Pi-\overline{P})]}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2}) \quad (۱۲)$$

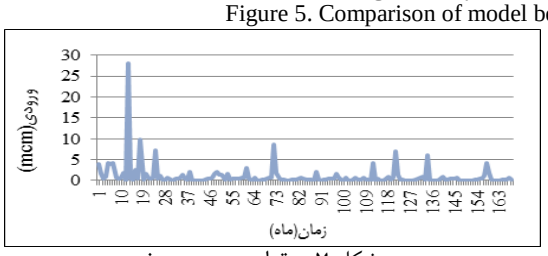
بحث و نتایج

برای صحت سنجی مدل، پارامتر تغییرات حجم مخزن برای شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) به ترتیب ۳/۵، ۳/۱ و ۰/۸۲ محاسبه شد. (شکل ۵).

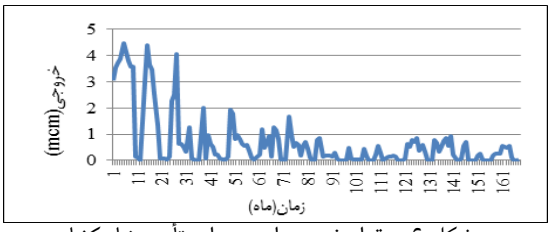
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]



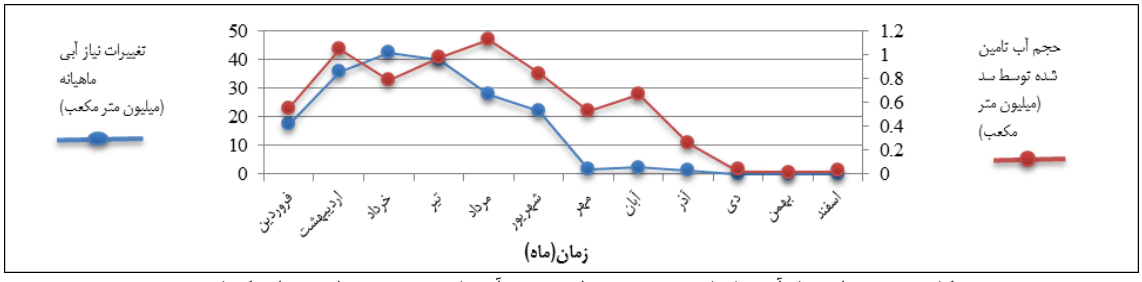
شکل ۵- مقایسه رفتار مدل و رفتار مرجع
Figure 5. Comparison of model behavior and reference behavior



شکل ۷- مقدار ورودی به مخزن سد
Figure 7. Outflow of the dam to supply the agricultural demand



شکل ۶- مقدار خروجی از سد برای تأمین نیاز کشاورزی
Figure 6. Inflow to the dam reservoir



شکل ۸- تغییرات نیاز آبی ماهیانه دشت رشتخوار و حجم آب تامین شده توسط سد برای کشاورزی
Figure 8. Changes in the monthly water requirement of the plain and the volume of water supplied by the dam for agriculture

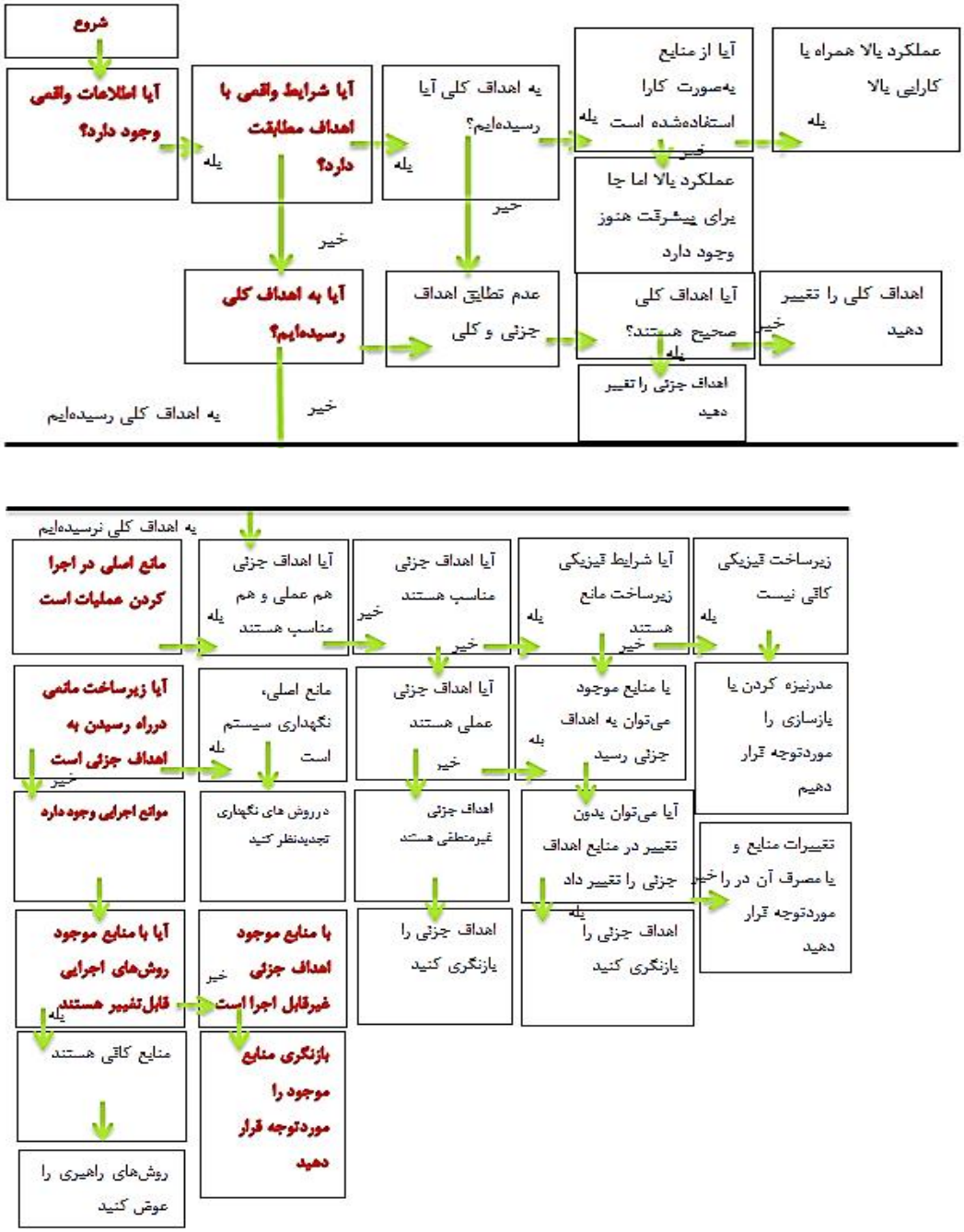
در مدل شبیه سازی شده مقدار خروجی با توجه به نیاز کشاورزی برآورد شده است. (شکل ۶) پس از احداث سد و تشکیل شبکه آبیاری سد شهید یعقوبی و ذخیره آورد سالانه رودخانه کال سالار در دریاچه سد مقدار بسیار اندکی از آب مورد نیاز اراضی کشاورزی دشت رشتخوار از آب تنظیمی سد تامین شده است (شکل ۸) با توجه به شکل ۷ که نمایشی از ورودی به مخزن را با میانگین ماهانه ۰/۹ میلیون متر مکعب نشان می دهد که نسبت به حجم مخزن سد ناچیز بوده و علت و دلایل مغایرت آن در قسمت ارزیابی عملکرد بررسی شده است.

نتیجه حاصل از ارزیابی عملکرد سد

هدف اولیه از احداث سد شهید یعقوبی تامین آب کشاورزی، حجم آب مورد نظر برای تحویل به میزان ۳۹ میلیون متر مکعب بوده است در حال حاضر حجم آب واقعی تحویل داده شده معادل ۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. نتیجه ارزیابی حاصل از شاخص مربوط به (تکاپوی آب) W.D.P برابر با ۰/۱۲۸ می‌باشد. پس از بررسی دلایل قابل قبول نبودن نمره ارزیابی می‌توان به این نکته اشاره کرد که در هنگام طراحی سد، بندها و سدهای ذخیره‌ای احداث شده توسط مردم و دیگر ارگانهای دولتی (جهاد سازندگی) لحاظ نشده است و حجم محاسبه شده برای سد براساس حوزه آبریز، میزان بارندگی، تبخیر، ضرایب جریان، رواناب و دیگر پارامترها محاسبه شده است. با بررسی‌های میدانی، مشورت با متخصصین شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و نتایج حاصل از خروجی مدل روند عملیاتی فرآیند ارزیابی عملکرد و علت یابی سد شهید یعقوبی مطابق با شکل ۹ می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]



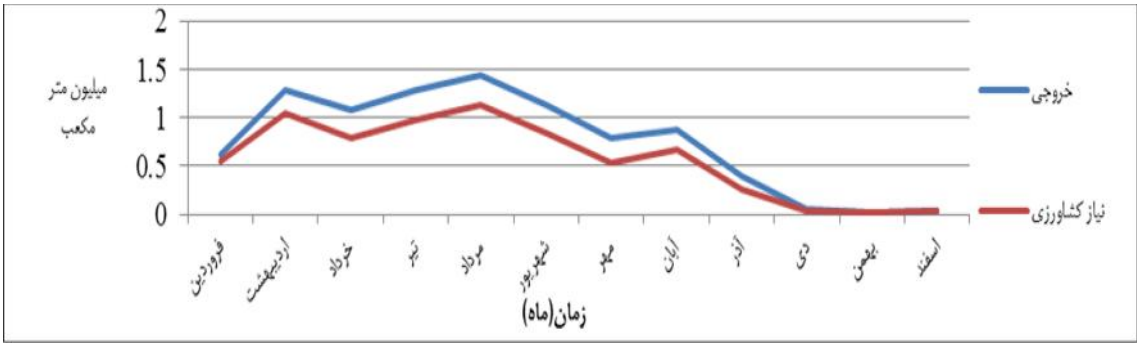
شکل ۹- روند عملیاتی فرآیند ارزیابی عملکرد و علت‌یابی سد شهید یعقوبی. (مسیر طی شده سد با قلم قرمز مشخص‌شده است)
Figure 9. The Operational procedure of Performance evaluation process and Detection of Shahid Yaghoobi Dam, (The path covered by the dam is marked with a red pen)

برآورد تلفات آب در انهار سیستم‌های انتقال آب

تلفات برای انتقال آب از سد با توجه به میانگین ماهانه خروجی و نیاز کشاورزی طی این دوره شبیه‌سازی‌شده (۱۴ساله) سالانه حدود ۲/۵میلیون متر مکعب می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

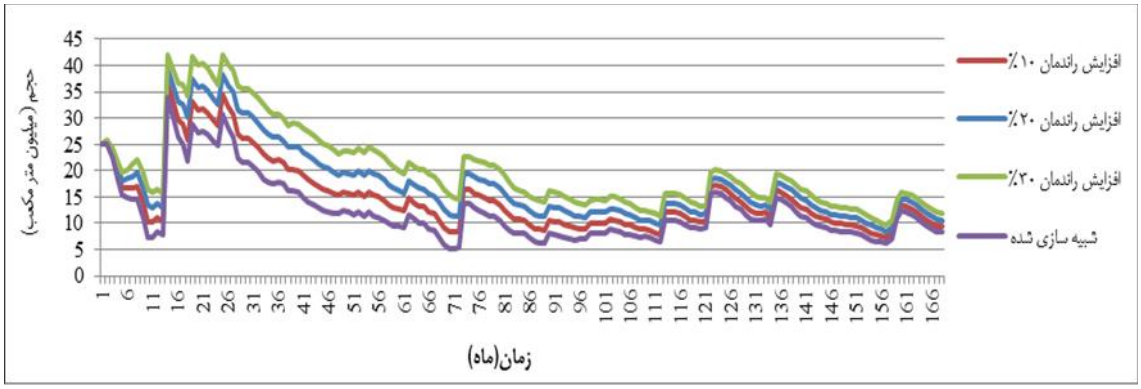
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]



شکل ۱۰ – مقایسه مقدار خروجی (داده‌های مرجع) و نیاز کشاورزی تامین شده توسط سد
Figure 10. Comparison of the outflow (reference data) and the supplied agricultural demands of the dam

نتایج سیاست‌های پیشنهادی افزایش راندمان آبیاری

در این قسمت تأثیر افزایش راندمان آبیاری۱۰٪ ، ۲۰٪ و۳۰٪ بر تغییر حجم آب مخزن سد موردبررسی قرار گرفت. (شکل ۱۱) با افزایش راندمان آبیاری و افزایش حجم آب مخزن می‌توان حجم آب بیشتری را برای تامین نیاز کشاورزی منطقه تخصیص داد. به‌طور میانگین با افزایش راندمان ۱۰٪ سالانه ۲/۵ میلیون مترمکعب به حجم مخزن اضافه می‌شود و به همین ترتیب برای ۲۰٪ و ۳۰٪ حدود ۵ و ۸ میلیون مترمکعب افزایش حجم آب در پشت سد خواهیم داشت. در منطقه مطالعاتی در بخش کشاورزی جهت تأمین نیازهای آبی محصولات کشاورزی از منابع آب سطحی و زیرزمینی بهره‌برداری می شود. بر همین اساس، با مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی، نمی توان کمبود شدید آب را جبران نمود و دلیل اصلی مغایرت اهداف اولیه با وضع موجود، مقدار حجم آب ورودی به سد و بزرگی حجم مخزن نسبت به پتانسیل آبی محدوده می‌باشد.



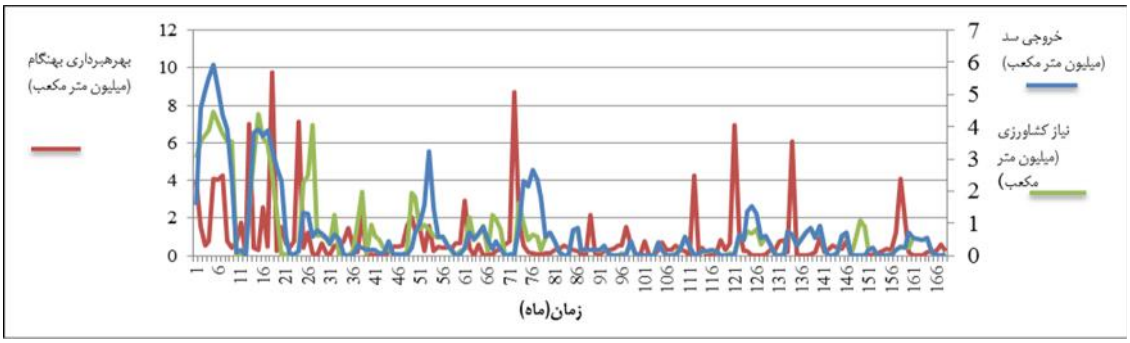
شکل ۱۱– تغییرات حجم مخزن با افزایش راندمان آبیاری
Figure 11. Reservoir volume changes with increasing irrigation efficiency

شبیه‌سازی با بهره‌برداری بهنگام

به منظور تعیین درصد تامین نیازهای کشاورزی تامین شده با بهره‌برداری بهنگام، در مدل تهیه شده در vensim حجم مخزن سد صفر درنظر گرفته شد، و نتایج نشان داد که با توجه به آبدهی رودخانه و مقدار تقاضا در ۹۲ ماه از ۱۶۸ ماه دوره شبیه‌سازی‌شده قادر به پاسخگویی مقدار نیاز کشاورزی ماهانه تعیین شده (مقدار نیازی که توسط جریانات سطحی باید پاسخ داده شود) پایین‌دست (دشت رشتخوار) نمی‌باشد اما در ۷۶ ماه علاوه بر اینکه قادر به پاسخگویی نیاز کشاورزی دشت رشتخوار می‌باشد قادر به کمک در تأمین بخشی از نیاز کشاورزی دشت جنگل نیز می‌باشد. البته با وجود سد در ۶۶ درصد مواقع با توجه به نیاز کشاورزی تعیین شده از جریان‌های سطحی سد برای دشت رشتخوار، حجم آب مورد نیاز، تامین شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

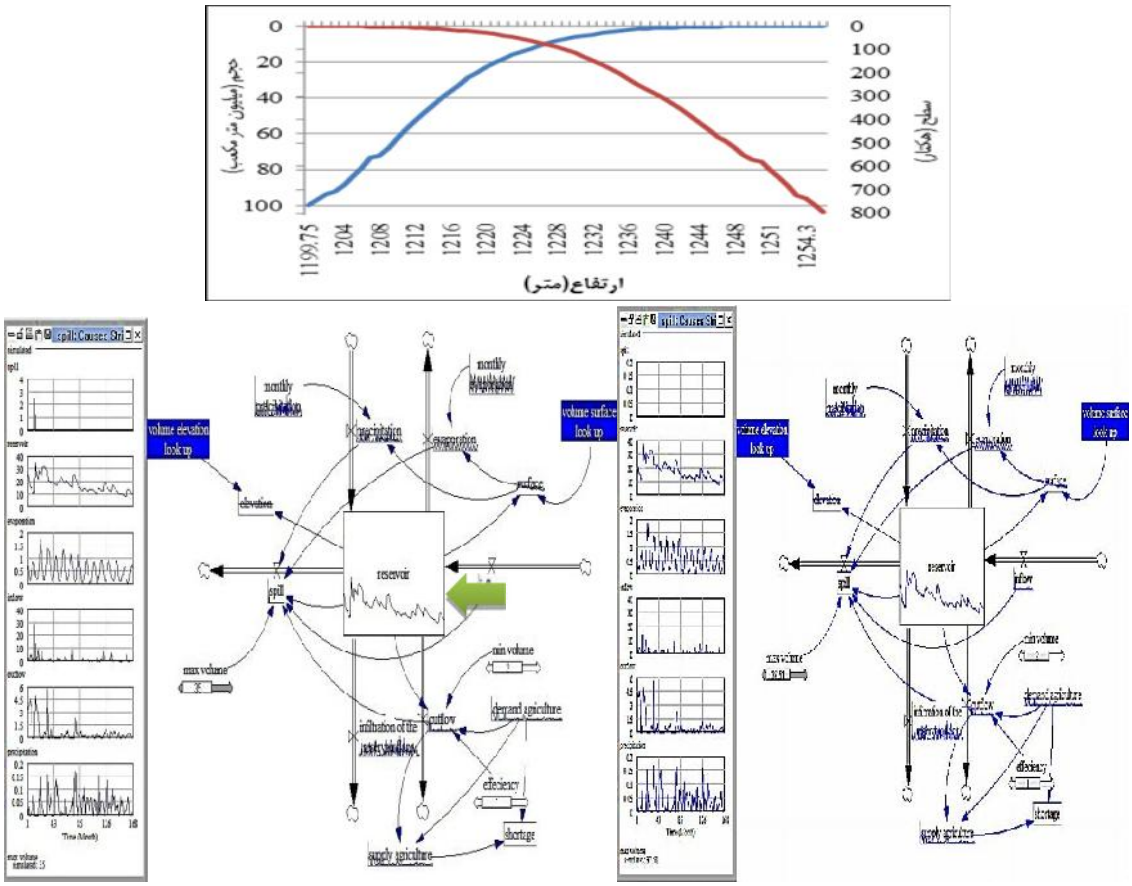
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]



شکل ۱۲ –خروجی سد و جریان رهاسازی شده و نیاز کشاورزی
Figure 12. Outflow and flow released and agricultural demands

بررسی ارتفاعات مختلف تراز سد

با توجه به اینکه سد بزرگتر از پتانسیل حجم آب ورودی طراحی و ساخته شده است لذا در این سیاست به بررسی ارتفاعات مختلف و حجم سد به کمک مدل تهیه شده و شکل ۱۲ پرداخته شد تا به میزان حجم و ارتفاع معقول سد با پتانسیل آبی موجود دست یابیم. با بررسی حجم‌های مختلف میزان سریز در حجم ۳۷/۵۱۷ میلیون متر مکعب متوقف و هیچگونه سریزی نخواهیم داشت. بنابراین میزان افزایش حجم مخزن سد معادل با ۳۴/۴۸۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. از طرفی با توجه به شکل ۱۲ میزان ارتفاع اضافی سد معادل ۱۳/۷۵ متر می‌باشد.



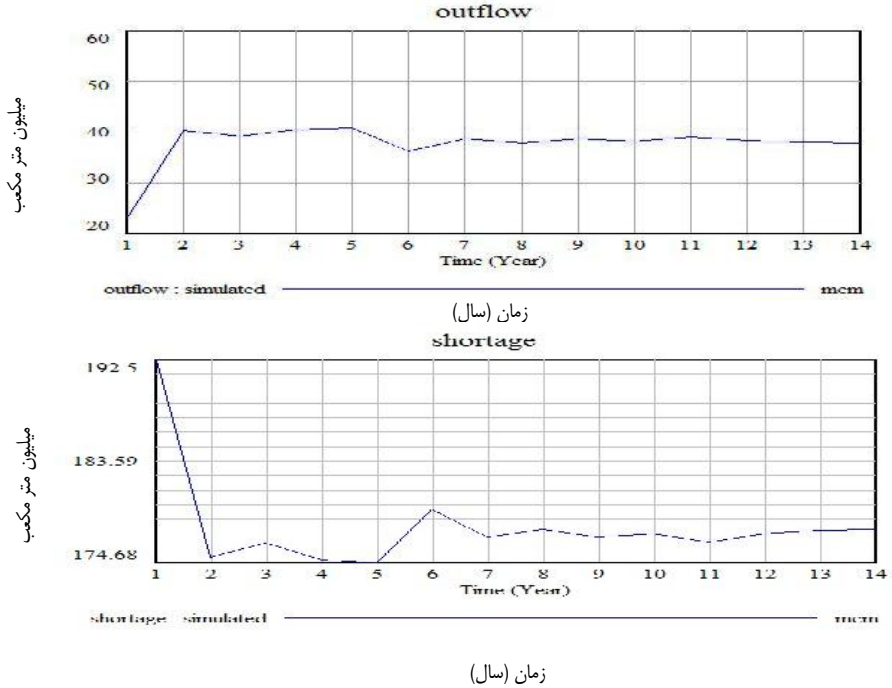
شکل ۱۳– منحنی حجم–سطح–ارتفاع مخزن سد و روند بررسی حجم و ارتفاعات مختلف سد در مدل تهیه شده
Figure 13. The curve of volume-level-height of the reservoir and the process of studying the volume and different heights of the dam in the model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]

بررسی عملکرد سد با توجه به اهداف اولیه (حجم آب قابل تنظیم سالیانه ۳۹ میلیون متر مکعب)

در این سیاست به بررسی افزایش آورد رودخانه با حل مشکلات موجود پرداخته می‌شود. با تنظیم مدل تهیه شده، عملکرد سد برای حجم آب قابل تنظیم سالیانه ۳۹ میلیون مترمکعب بررسی گردید. نتایج نشان داد که با توجه به اهداف اولیه ۱۸٪ از نیاز آبی دشت رشتخوار را در فصول مورد نیاز آب برای کشاورزی از سد تامین خواهد شد. (۸۲٪ از آب زیرزمینی) مقدار نیاز آبی سالانه دشت رشتخوار معادل با ۲۱۵/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد (۱۹).



شکل ۱۴- نمودارهای مقدار خروجی (outflow) و کمبود تامین نیاز آبی (shortage) دشت رشتخوار برای بازه زمانی ۱۴ ساله (میلیون متر مکعب)

Figure 14. The graphs of outflow and water requirement supply shortages of Roshtkhar plain for a 14-year-period (Million Cubic Meter)

روند عملیاتی فرآیند ارزیابی عملکرد و علت یابی سد شهید یعقوبی مطابق با شکل ۱۵ می‌باشد. با توجه به هدف این پژوهش که یافتن علل بازدهی پایین سد در رابطه با تخصیص آب جهت مصرف کشاورزی و دلایل مغایرت با اهداف اولیه پروژه می‌باشد. با بررسی دلایل قابل قبول نبودن نمره ارزیابی می‌توان به این نکته اشاره کرد که در هنگام طراحی سد، بندها و سدهای ذخیره‌ای احداث شده توسط مردم و دیگر ارگان‌های دولتی (جهاد سازندگی) لحاظ نشده است و حجم محاسبه شده برای سد براساس حوزه آبریز، میزان بارندگی، تبخیر، ضرایب جریان، رواناب و دیگر پارامترها محاسبه شده است. عواملی چون احداث سد خاکی در بالادست مخزن، آبگیری و عدم اجرای کامل طرح مدیریت جامع آبخیزداری در سطح حوزه آبریز سبب شده است که سد در این مدت عملکرد مناسبی برای کشاورزی منطقه و پاسخگویی به نیازهای موجود نداشته است. مطالعه تأثیر سدها بر منطقه و بررسی تغییراتی که به وجود می‌آید دارای اهمیت زیادی است که در مطالعات مرحله اول باید مدنظر قرار گیرد. باید کارشناسان به بررسی وضعیت منطقه قبل از احداث در منطقه را مطالعه نمایند. با مطالعات و تحقیقات می‌توان اثرات منفی احداث سدها را تا حد قابل قبولی کاهش داد و از وارد آمدن خسارات جدی به منطقه جلوگیری کرد. باید تمام موارد به‌دقت بررسی گردد و پی آمد احداث سدها مورد آنالیز قرار گیرد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]

منابع

1. Akivaga Mugatsia, E. 2010. Simulation and scenario analysis of water resources management in Perkerra catchment using WEAP model. MSc thesis, Department of civil and structural engineering, school of engineering of Moi University, Kenya. 156 pp.
2. Cheng, C.T., W.C. Wang, D.M. Xu and K. Chau. 2008. "Optimizing hydropower reservoir operation using hybrid genetic algorithm and chaos." Water Resour Manag, 22(7): 895-909.
3. Elmahdi A., H. Malano, T. Etchells and S. Khan. 2004. System Dynamic Optimization Approach to Irrigation demand Management, environmental Engineering Research Event. Published by University of Wollongong Press, 25(7): 196-202.
4. Forrester, J.W. 1995. The beginning of system dynamics. The McKinsey Quarterly, 4(594): 198-204.
5. Forrester, J.W. 1961. Industrial dynamics, 1nd edn, [Cambridge, Mass.] M.I.T. Press, England, 464 pp.
6. Ghahery, A. 1998." Framework for evaluating the performance of irrigation and drainage networks" Water and Development, 17(459): 184-195.
7. Golyan, S., A. Abrishami and M. Tajrishi. 2005. "Policy analysis utilization of water resources in the basin using system dynamics", Journal of Water and Wastewater, 2(80): 63-70 (in Persian).
8. Jalali, M. and A. Afshar. 2004. "Electric energy production system dynamics simulation", The first annual meeting of Iran Water Resources Management, Technical Faculty of Tehran University, 165-174, Tehran, Iran, (In Persian).
9. Jill, S.N. Baron, P.L. LeRoy Poff, N. Angermeier Clifford, H. Dahm Peter, G. Gleick Nelson, J.R. Hairston, B. Robert Jackson and A. Carol. 2002. Johnston, Brian D. Richter, and Alan D. Steinman "Meeting ecological and social needs for fresh water," Ecol Appl, 5(12): 1260-1274.
10. Kaygusuz, K. 2004. "Hydropower and the world's energy future." Energ Source, 26(3): 215-224.
11. Kashimbiri, N., Y. Chen and J. Zhou. 2005 ."Assessment of effects of human development title on the environment by using System Dynamic Modeling Technique (SD)-a case study of the Mkomasi Watershed (Pangani Basin) in Northeastern Tanzania", Human Ecological Risk Assessment, Taylor and Francis, 11(2): 227-232.
12. Loucks, D.P., E.V. Beek, J.R. Stedinger, J.P.M. Dijkman and M.T. Villars. 2005. Water resources system planning and management: An Introduction to methods, models and applications, 1st Ed., UNESCO, Paris, 676 pp.
13. Madani, K. and M.A. Marino. 2009. "System Dynamic Analysis for Managing Iran's Zayandeh- Rud River Basin", Water Resources Management, 23(11): 2163-2187.
14. Niazi, A., S. Prasher, J. Adamowski, T. Gleeson. 2014. A System Dynamics Model to Conserve Arid Region Water Resources through Aquifer Storage and Recovery in Conjunction with a Dam. Sirick, Iran, 6(12): 3957-3959.
15. Nozari, H., M. Heydari and S. Azadi. 2014. Simulation of a Right Abshar Irrigation Network and Its Cropping Pattern Using a System Dynamics Approach. J. Irrig. Drain Eng. 12(160): 1027-1034.
16. Simnovic, S.P. and S. Ahmad. 2000. "System Dynamics Modeling of Reservoir Operation for Flood I", journal of Computing in Civil Engineering, 14 (3): 190-198.
17. Stave, K. 2010. Participatory system dynamics modeling for sustainable environmental management: Observations from four cases. Sustainability, 2(9): 2762-2784.
18. Jalali, M., Z. Sharafi Avarzaman, H. Rahmandad and A. Ammerman. 2016. Social influence in childhood obesity interventions: a systematic review. Obesity Reviews, 17(9): 820-832.
19. Toss hydrograph Consulting Engineers .1383 .Report on groundwater Jangal to balance the budget.
20. Ventana Systems, Inc. 2004. Vensim 5 User's Guide, Ventana Systems. Harvard, MA, USA.
21. Vensim Peronnal Learning Edition, Ventana Systems Inc., online: www.vensim.com/ venple.html.
22. Wang, X.J., J.Y. Zhang, J.F. Liu, G.Q. Wang, R.M. He, A. Elmahdi and S. Elsawah. 2011. Water resources planning and management based on system dynamics: A case study of yulin city. Environ. Dev. Sustain, 29(13): 331-351.
23. Winz, I. 2005 "System Dynamic Approach to sustainable Urban Development", the 23rd International Conference of the System Dynamics, Boston, USA. pp: 257-269.
24. Zarghami, M. and S. Akbariyeh. 2012. "System dynamics Modelling for Complex Urban Water Systems: Application to the City of Tabriz, Iran", Resource, Conservation and recycling, 60(12): 99-106.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]

Simulation and Operation Evaluation of Shahid Yaghoobi Dam by using System Dynamic (Case study: Dam Shahid Yaghoobi)

Milad Sabbaghi[1], Ali Shahnazary[2] and Ali Naghi Ziaei[3]

1-M.Sc. Student, Science in Water Engineering, Sari of Agriculture Sciences and Natural Resources University,
2-Associate Professor, Science in Water Engineering Sari of Agriculture Sciences and Natural Resources University, (Corresponding Author: aliponh@yahoo.com)
3- Assistant Professor, Science and Engineering of Water, Ferdowsi University of Mashhad
Received: August 20, 2016 Accepted: September 19, 2016

Abstract

Water resources simulation is efficient tools to evaluate different options and decision in development conditions. Supply of water demand with high reliability need to exact and perfect planning. So, dam behavior recognition and it operation is from essentials of water resources systems management and future planning. In this study, the software VENSIM the method based on the dynamics of the system has been used. What makes using system dynamics different from other approaches used for studying complex systems (such as optimization) is the use of feedback loops.The model for evaluating the performance of existing systems, predict trends and evaluate the use of reservoirs already studied input is required. Model based on the data of the current status Shahid Yaghoobi dam has been comparison and verification. After validation of the simulation model constructed in terms of its logical structure for a period of 14 years (1378-1391) is conducted. In order validation results, performance calculation and observation were compared volume and values of root mean square error (RMSE), standard error (SE) and the correlation coefficient (R^2), respectively, 3.1, 2.467 and 0.89. The result of field research and simulation is showing that inflow because of soil dam in reservoir upstream and Dewatering in upstream by motor pumps from Kalsallar river had been very low and a significant amount is evaporated from dam back water, too (over 4.7 mcm in year). Based on these findings , it was determined that the actual conditions with the original goals before dam construction (adjustable volume 39 million cubic meters annually) with input data status quo (adjustable annually, 5 million cubic meters of water) does not match and negative consequences on downstream plains (plain Roshtkhar and plain Jangal), including the reduction of surface currents have been feeding and the result of Water Delivery Performance index evaluating equal to 0.128 that it is showing project failure in access to plan of targets. And finally was operated scenarios is including irrigation efficiency increase (10% to 30%).

Keywords: Dam Performance evaluation, Simulation, Roshtkhar plain, Kalsalar River, Vensim

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.188]