نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

Vol. 11, No. 36, Spring 2017

سال یازدهم- شماره ۳۶- بهار ۱۳۹۶

ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب سد چغاخور با استفاده از روش پویایی سیستم

مصطفی کدخداحسینی[۱]، شایان شامحمدی[۲]، رسول میرعباسی نجف آبادی[۳] و حامد نوذری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۳

چکیده:

پیش‌بینی تغییرات رفتاری در سیستم‌های منابع آب تحت تأثیر اعمال سناریوها و سیاست‌های بهره‌برداری تلفیقی می‌تواند به بهره‌برداری بهینه از این منابع کمک کند. به‌منظور بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سد چغاخور برای تأمین نیازهای پایین‌دست مدل پویایی سیستم در محیط VENSIM طراحی و اجرا گردید. همچنین مقادیر ورودی به مخزن سد و تبخیر از مخزن سد با استفاده از مدل سری زمانی SARIMA برای پنج سال آینده پیش‌بینی شد. به این ترتیب همه عوامل تأثیرگذار بر حجم آب موجود در سد و همچنین برهم‌کنش عرضه و تقاضای آب کشاورزی و زیست‌محیطی در محدوده مورد مطالعه بررسی شد. پس از اینکه این پارامترها و ارتباط متقابل آن‌ها در محیط مدل وارد گردید، مدل واسنجی شد. سپس سناریوهای مختلفی ازجمله تغییر در روش محاسبه نیاز زیست‌محیطی، افزایش راندمان آبیاری اراضی کشاورزی و تغییر در سطح زیر کشت قابل آبیاری با توجه به شرایطی که در آینده در محدوده طرح ممکن است به وجود آید، اجرا گردید. نتایج مدل برای پنج سال آینده نشان داد که سد چغاخور در بهینه‌ترین حالت توانایی تأمین نیاز آبی ۱۶۰۰ هکتار از اراضی آبخور را دارد که در این حالت میزان تأمین نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی به ترتیب ۸۳ و ۹۵ درصد می‌باشد. علاوه بر این با تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار و با افزایش ۳۰ درصدی راندمان آبیاری، می‌توان سطح زیر کشت با آبیاری سطحی را از ۳۰۰ به ۳۹۰ هکتار با آبیاری تحت فشار افزایش داد.

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، پست الکترونیک: Hosseini_mostafa69@yahoo.com
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا

کلید واژه‌ها: *پویایی سیستم، تخصیص منابع آب، سد چغاخور، VENSIM، SARIMA*

مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنعتی، اقتصادی و کشاورزی، مدیریت به هم پیوسته منابع آب مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. این دیدگاه بر توسعه منابع آب و خاک و سایر منابع با حفظ عدالت، برابری اجتماعی و بازده اقتصادی تأکید دارد، بطوریکه پایداری اکوسیستم‌های حیاتی نیز حفظ شود. همچنین مهم‌ترین محدودیت توسعه کشاورزی ایران کمبود آب می‌باشد. در ده‌های اخیر، سدها و تأسیسات آبرسانی زیادی با هدف تأمین و عرضه هرچه بیشتر منابع آب به بخش‌های مصرف‌کننده کشور احداث شده است. کمبود منابع آب در دسترس از طرفی و افزایش روزانه تقاضای آب در بخش‌های مختلف از سوی دیگر، باعث ایجاد اختلاف بین عرضه و تقاضای آب شده است [۱، ۱۵]. با توجه محدودیت منابع آب قابل عرضه در کشورهایی مانند ایران که با محدودیت فیزیکی آب مواجه هستند، سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در بخش عرضه آب‌های متعارف قادر به پاسخ‌گویی به افزایش تقاضای آب نمی‌باشد. بنابراین راه‌حل بحران آب را می‌توان در چگونگی توسعه و مدیریت صحیح منابع آبی جستجو نمود. به عبارت دیگر، مدیریت تقاضا مهم‌ترین راه مقابله با بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. یکی از ابزارهای قوی مدیریتی که در سال‌های اخیر برای شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب استفاده شده، علم پویایی سیستم[۵] است. در این روش که شیءگرا و بر پایه بازخورد است، علاوه بر ارتباط دینامیکی بین خصوصیات کمی و کیفی آب به مسائل اجتماعی و اقتصادی توجه می‌شود و سیستم موردنظر بدون نیاز به ریاضیات پیچیده به سهولت قابل شبیه‌سازی است [۱۹،۱۶]. مدل‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد سیاست‌های آبی موجود و یا پیشنهاد یک سیاست جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف این مدل‌ها، بهبود طرح‌ها و سیاست‌های بهره‌برداری است و اگر کاربر آشنایی کافی با سیستم داشته باشد، می‌تواند راه‌حل مناسب را با جست‌وجو به دست آورد. رویکرد دینامیک سیستم‌ها در تحلیل مسائل مربوط به منابع آب به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به برنامه‌ریزی کیفیت آب و محیط‌زیست [۱۳]، سیلاب

5. system Dynamic

[۵،۲۵]، برنامه‌ریزی اضطراری و مدیریت بحران [۸،۲۶]، بهره‌برداری از مخازن [۳]، ارزیابی اثرات خشکسالی [۲۱]، مدل‌سازی آب‌های مشارکتی [۱۲،۲۷]، و مدیریت، برنامه‌ریزی و تحلیل تصمیم‌گیری سیاست‌های مدیریت منابع آب [۱۱،۱٤]، اشاره نمود. سیمونویچ و همکاران [۲۳] برای ارزیابی درازمدت منابع آب و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حوضه رود نیل در مصر از روش پویایی سیستم‌ها استفاده کردند و با ارائه سناریوهای مختلف مدیریتی دریافتند این روش عملکرد مناسبی در ارزیابی تخصیص منابع آب این حوضه دارد. پایمزد و همکاران [۱٦] برنامه‌ریزی غیرخطی و سیستم‌های پویا را در تخصیص آب کشاورزی برای حوضه آبریز زاینده‌رود اصفهان، به‌منظور برآورد نیاز بخش کشاورزی و با در نظر گرفتن آب قابل دسترس به کار بردند. در این تحقیق از بهینه‌سازی سیستم پویا استفاده شد و نتایج آن توانایی قابل قبول بهینه‌سازی به روش سیستم پویا را نشان داد. ناصری و همکاران [۱۷] یک مدل شبیه‌ساز دینامیک را برای بررسی تأثیر احداث سد شهر چای بر روی آبخوان پایین‌دست ارائه دادند. در این مطالعه اثر سناریوهای مختلفی همچون افزایش راندمان آبیاری، اجرای طرح فاضلاب شهری و مدیریت تقاضا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای تعادل در آبخوان با جابه‌جایی تخصیص آب کشاورزی و فضای سبز از آب تصفیه شده فاضلاب به جای چاه‌ها می‌توان از کاهش سطح آب آبخوان جلوگیری کرد. شیخ خوزانی و همکاران [۲۱] مطالعه‌ای با عنوان مدل‌سازی بهره‌برداری از مخازن چند منظوره به روش پویایی سیستم ارائه دادند. در این تحقیق مدلی از سد دامغان به روش پویایی سیستم توسعه داده‌شده است و هدف از این مدل‌سازی تعیین تأثیر سیاست‌های مختلف بر رفتار مخزن و میزان تأمین نیازهای پایین‌دست در افق آینده (۱٤۱۰) بوده است. نتایج به دست آمده نشان داد که با اجرای سیاست‌های مناسب بهره‌برداری نه‌تنها می‌توان نیازهای مورد نظر را در حالت موجود در حد قابل قبول تأمین نمود، بلکه می‌توان توسعه نیازها را در سیاستی چون بهره‌برداری استاندارد از مخزن، نیز در نظر گرفت. صلوی تبار و همکاران [۲۰] یک مدل شبیه‌سازی تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی را برای مدیریت منابع آب حوضه آبریز رودخانه هراز با استفاده از تکنیک پویایی سیستم توسعه دادند و نشان دادند پویایی سیستم روش مناسبی برای مدل‌سازی و بررسی اثر سناریوهای مختلف در مدیریت آب این حوضه آبریز است. احمدی و همکاران [٤] در مطالعه‌ای با عنوان بررسی عملکرد مخزن در ارائه نیازهای مختلف توسط پویایی سیستم از مدل برنامه‌نویسی VENSIM استفاده کردند. هدف از این مطالعه بررسی وضعیت سد ذخیره‌ای کوثر برای جمع‌آوری سیلاب و برآورد نیازهای موجود می‌باشد. نتایج نشان داد که این مدل دارای دقت و عملکرد بالایی در شرایط مختلف تخصیص منابع آب سد و بررسی تأثیر سناریوهای مختلف روی تخصیص آب به نیازهای موجود را دارد. عبدولوندی و همکاران [۲] در مطالعه‌ای اثرات آب‌های سطحی و زیرزمینی در سد نمرود را با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه اثرات احداث سد بر پایداری منابع آب زیرزمینی منطقه و همچنین رویکردهای مدیریتی با استفاده از مدل پویایی سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به تجزیه و تحلیل نتایج شبیه‌سازی می‌توان پایداری منابع آب منطقه را با افزایش راندمان آبیاری و برنامه‌ریزی مناسب اقتصادی با محصول مناسب و بالاترین برداشت، به دست آورد. در تحقیق حاضر سعی شد با استفاده از روش پویایی سیستم و محیط برنامه‌نویسی VENSIM، حجم آب مخزن سد چغاخور شبیه‌سازی و وضعیت آبدهی و میزان تأمین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی سد برای دوره زمانی ۹۸-۱۳۹٤ شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین اثر اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف بر میزان تخصیص منابع این سد مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

مواد و روش

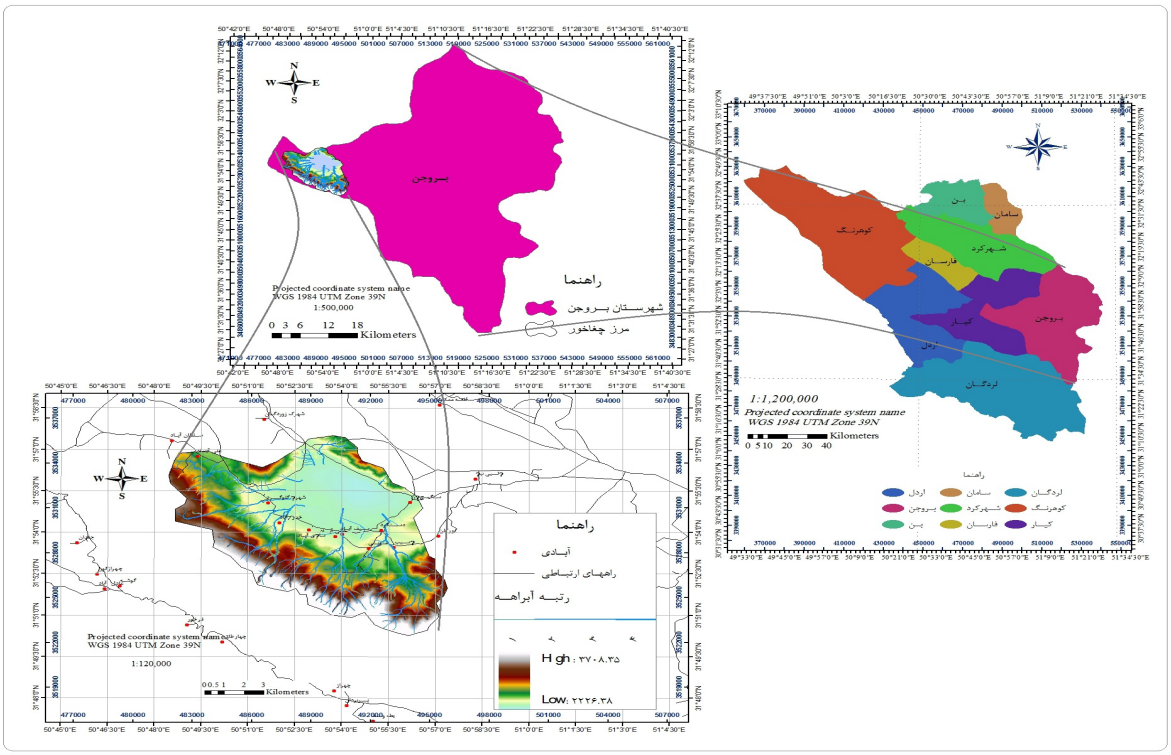
سد چغاخور در استان چهارمحال بختیاری در شهرستان بروجن و در موقعیت جغرافیایی 55°31'N"16 و56°50' 'E"14 با در دامنه ارتفاعات برآفتاب و کلار (۳۸۳۰متر) در نزدیکی شهر بلداجی واقع گردیده است. سد چغاخور بر روی تالاب بین‌المللی چغاخور با ارتفاع شش متر و حجم مخزن ٤۲ میلیون مترمکعب واقع شده است. همچنین برای حفظ حیات تالاب حداقل نیاز زیست‌محیطی تالاب، حدود ۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. این سد با هدف تأمین ۸۰۰۰ هکتار نیاز آبی اراضی کشاورزی منطقه احداث شده است و هم‌اکنون شبکه آبیاری آن برای حدود ۳۵۰۰ هکتار از اراضی توسعه داده شده است. سیستم آبیاری حدود ۱۳۰۰ هکتار از اراضی آبخور سد از نوع تحت فشار و مابقی از نوع آبیاری سطحی می‌باشد. راندمان آبیاری سطحی و تحت‌فشار در منطقه به ترتیب حدود ٤۵ و ۷۵ درصد می‌باشد [۱۸]. در این مطالعه از داده‌های ماهیانه دبی ورودی به مخزن (شکل دو)، تبخیر (شکل سه) طی دوره ۱۳۹۳-۱۳۷٦ استفاده شده است [٦]. نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست سد با روش مونتانا محاسبه گردید. همچنین اولویت این سد تأمین نیاز کشاورزی منطقه و سپس نیاز زیست‌محیطی می‌باشد. شکل یک موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی

بر اساس مطالعات انجام شده در اراضی آبخور این سد میزان آب مورد نیاز کشاورزی در ماه‌های مختلف در سال در جدول یک نشان داده شده است [٦]. با توجه به کمبود منابع آبی سد چغاخور از زمان بهره‌برداری تا هم‌اکنون هیچ آبی برای نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته نشده است. در این مطالعه برای تعیین این نیاز روش مونتانا و تامین قابل قبول آن مورد توجه قرار گرفته است. نیاز زیست‌محیطی در ماه‌های مختلف سال در روش مونتانا متفاوت می‌باشد [۲٤]. در جدول دو نیاز آبی زیست‌محیطی به روش مونتانا ارائه شده است.

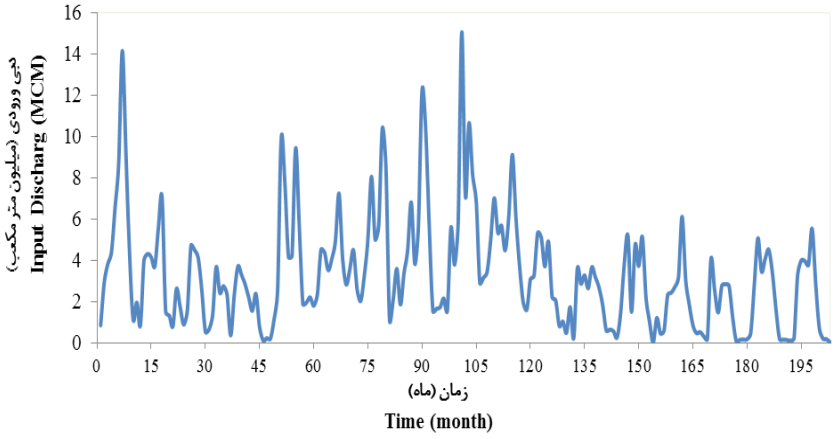
مدل پویایی سیستم

مدیریت منابع آب نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع است. علم پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش است که قادر به شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب برای پشتیبانی و تصمیم‌گیری می‌باشد. هدف عمده این روش شبیه‌سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده است. امروزه در برخورد با مسائل منابع آب، نیاز به ابزارهایی است که بتواند ساختار و اجزاء سیستم‌های منابع آب را منطبق با خصوصیات و روابط واقعی آن‌ها تعریف نماید و در کنار آن از سادگی و سرعت لازم برخوردار باشد. علاوه بر آن امکان مشارکت کاربران سطوح مختلف در توسعه مدل نیز می‌بایست به‌عنوان یکی از مزایای این ابزارها مدنظر باشد. روش پویایی سیستم یک روش شبیه‌سازی شیءگرا بر اساس روابط بازخورد است که ضمن ایجاد مشارکت کاربران هر مدل در توسعه آن، سادگی و سرعت قابل توجهی را در تعریف سیستم و توسعه مدل ایجاد می‌نماید. امکان توسعه گروهی مدل‌ها و قابلیت و سادگی اصلاح مدل در واکنش به تغییرات سیستم



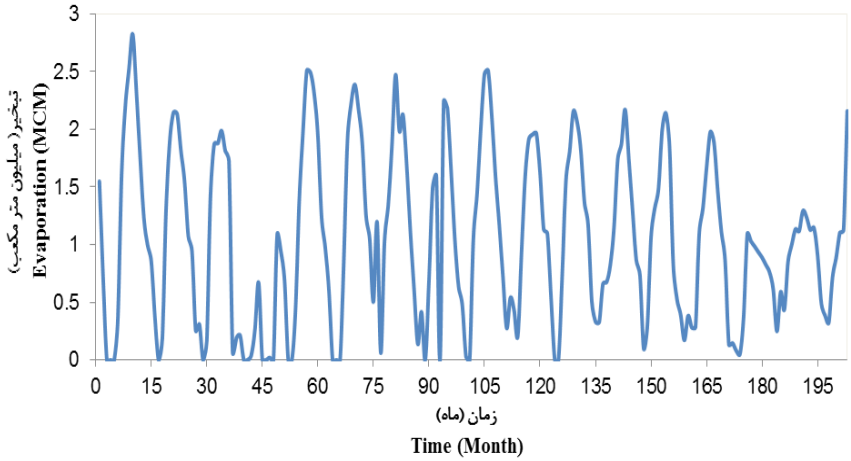
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. The geographical location of the study area



شکل ۲- دبی ورودی ماهانه به مخزن سد چغاخور [٦]

Fig 2. monthly inflow discharge reservoir Choghakhor Dam [6]



شکل ۳- تبخیر ماهانه از مخزن سد چغاخور [٦]

Fig 3. Monthly evaporation from the reservoir Choghakhor dam [6]

جدول ۱- توزیع ماهانه آب ناخالص مورد نیاز کشاورزی در پایین‌دست سد چغاخور (مترمکعب در هکتار)

Table 1. Distribution of gross monthly water needed for agriculture in downstream Choghakhor (M^3/Ha)

مترمکعب در هکتار (M^3/Ha)	Month	ماه
665.3	October	مهر
59.4	November	آبان
0	December	آذر
0	January	دی
0	February	بهمن
0	March	اسفند
947.8	April	فروردین
1530.2	May	اردیبهشت
2130.9	June	خرداد
1489.7	July	تیر
1409.8	August	مرداد
883.3	September	شهریور

نیز از جمله قابلیت‌های این روش است. در سال‌های اخیر، استفاده از پویایی سیستم (SD) در شاخه‌های مختلفی از علوم مرتبط با منابع آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان به موارد تحلیل منطقه‌ای و برنامه‌ریزی حوضه آبریز رودخانه، آب شهری، سیلاب، آبیاری و مدل‌های فرآیند پالایش آب اشاره نمود.

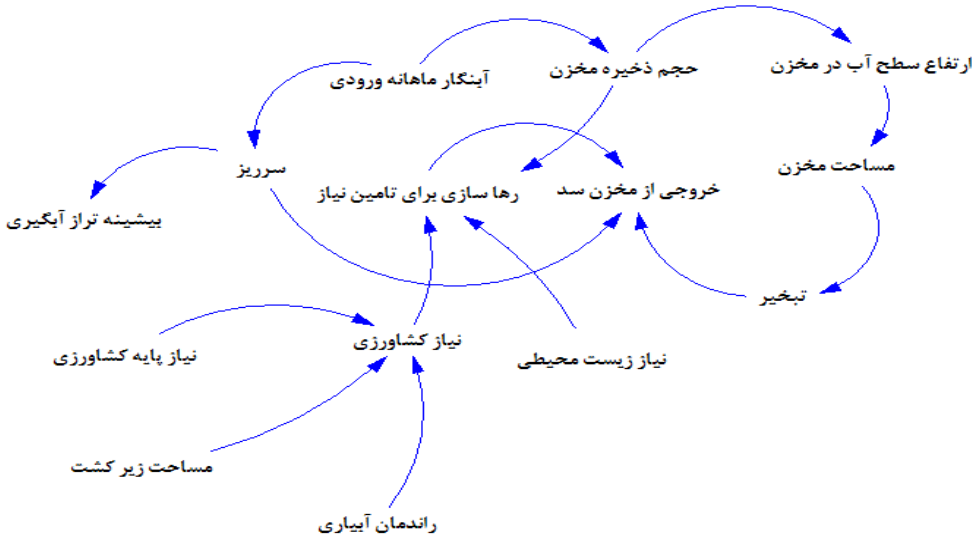
مدل VENSIM

با توجه به وجود نگرش سیستمی در مدیریت منابع آب و ویژگی پویای حوضه‌های آبریز، در این تحقیق سیستم منابع آب سد چغاخور با در نظر گرفتن رویکرد پویایی سیستم‌ها و با استفاده از محیط برنامه‌نویسی Vensim شبیه‌سازی شده است. بدین منظور، مدل مفهومی سد و حوضه آبریز ایجاد و کلیه عوامل مؤثر در بیلان آب مشخص شده است (شکل چهار). سپس منابع و مصارف آب در این حوضه به‌طور دقیق برآورد و به نرم‌افزار Vensim وارد شده است. جهت انجام شبیه‌سازی با نرم‌افزار Vensim لازم است تا ابتدا ساختار مدل (تعریف متغیرهای سیستم و اتصالات و روابط بین متغیرهای مذکور) تهیه‌شده و پس از وارد نمودن داده‌های مربوطه در نرم‌افزار، اجرا و شبیه‌سازی مدل صورت پذیرد تا نتایج خروجی حاصل گردند. با مراجعه به فایل خروجی مدل شبیه‌سازی می‌توان از طریق مقایسه داده‌های ورودی نیازهای مختلف و اعداد خروجی تأمین متناظر با هر نیاز، درصدهای حجمی و زمانی تأمین نیاز مذکور را محاسبه کرد. شکل ٤ نمودار علت و معلولی سد چغاخور را نشان داده است.

جدول ۲- حداقل نیاز زیست‌محیطی به روش مونتانا

Table 2. minimum environmental requirements in Montana method

سهم میانگین سالانه رودخانه (درصد) The average annual share of the river (percent)		Quality fish life in the river	کیفیت حیات ماهی در رودخانه
مهر تا اسفند October to March	فروردین تا شهریور April and May		
60-100	60-100	Optimized condition	وضعیت بهینه
40	60	excellent	بسیار عالی
30	50	High	عالی
20	40	Good	خوب
10	30	acceptable	قابل قبول
10	10	Weak	ضعیف
10<	10<	Acute shortage	کمبود شدید



شکل ٤- نمودار حلقه‌های علت و معلولی سد چغاخور

Tabel 4. Causal loop diagram dam Choghakhor

مدل SARIMA[1]

یکی از کاربردها و نیز از ملاک‌های پذیرش الگو در مدل‌سازی ARIMA پیش‌بینی مقادیر آینده داده‌ها است. به عبارت دیگر، آخرین ملاک انتخاب یک الگو این است که رفتار مناسب‌تری را برای پیش‌بینی ارائه دهد در مدل‌های ARIMA خطی تنها بر اساس الگوی گذشته، آینده عناصر پیش‌بینی می‌شود، یعنی الگوی به دست آمده از مقادیر گذشته، در طول افق پیش‌بینی، همان رفتار را خواهد داشت که در گذشته نزدیک داشته است در بیشتر مواقع، این فرض صحیح نبوده و فرآیند مورد بررسی با زمان تغییر می‌کند. از این جهت، انتظار می‌رود دقت بازآفرینی و پیش‌بینی به سمت انتهای افق پیش‌بینی کاهش یابد [۷]. شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها بدین صورت می‌باشد که مدل‌سازی سری‌های زمانی دارای چهار مرحله تشخیص الگو، برآورد پارامترهای مدل، تشخیص درستی الگو و پیش‌بینی می‌باشد[۹]. هرگاه در یک سری بعد از هر فاصله زمانی مشخص (s) شباهت‌هایی پیدا شود، سری دارای رفتار فصلی یا تناوبی با دوره تناوب s می‌شود. مدل‌های عمومی فصلی SARIMA که توسط باکس و همکاران [۹] ارائه شدند را به‌طور مختصر می‌توان به‌صورت $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ نوشت که (p,d,q) بخش غیر فصلی مدل و (P,D,Q) مؤلفه فصلی مدل است. در این تحقیق پیش‌بینی داده‌های دبی ورودی به مخزن و تبخیر از مخزن سد برای پنج سال آینده از سال ۹٤ تا ۹۸ با استفاده از مدل SARIMA در نرم‌افزار Minitab انجام شد.

1- Seasunal Autoregressive integrated moving average

جدول ۳- سناریوهای مورد بررسی با تغییر در سطح زیر کشت و روش‌های متفاوت محاسبه نیاز زیست‌محیطی

Tabel 3. Scenarios studied by change in cultivation and different methods to calculate environmental demand

شماره سناریو Number Scenarios	نیاز زیست‌محیطی	Environmental Demand	سطح زیر کشت (هکتار) Area cultivation (Ha)
1	وضعیت فعلی (صفر)	Current situation (Zero)	8000
2	مونتانا	Montana	8000
3	حداقل نیاز	Minimum Requirements	8000
4	وضعیت فعلی (صفر)	Current situation (Zero)	3500
5	مونتانا	Montana	3500
6	حداقل نیاز	Minimum Requirements	3500
7	وضعیت فعلی (صفر)	Current situation (Zero)	*2200
8	مونتانا	Montana	*1600
9	حداقل نیاز	Minimum Requirements	*1650

***- بیشترین سطح قابل آبیاری با ۸۰٪ تأمین نیاز کشاورزی، به‌طوری که نیاز زیست‌محیطی از روش‌های مذکور محاسبه شده باشد**

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی مدل‌های برازش داده‌شده از ۱۷ سال آمار (۹۳-۱۳۷٦) و اطلاعات موجود، ١٤ سال (۹۰-۱۳۷٦) برای آموزش و سه سال (۹۳-۱۳۹۱) برای صحت‌سنجی در نظر گرفته شد. معیارهای ارزیابی مدل‌های مورد بررسی در این مطالعه مجذور میانگین مربعات خطا[1]، ضریب همبستگی[2]، معیار آکائیک[3] و معیار بیضی شوارز[4] در نظر گرفته شده است. روابط ریاضی معیارهای ارزیابی در روابط یک تا چهار نشان داده‌شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{(pre)i} - Q_{(obs)i})^2} \qquad (۱)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{(obs)i} - Q_{(pre)i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{(obs)i} - Q_m)}} \qquad (۲)$$

که در این روابط $Q_{(pre)i}$ مقدار پیش‌بینی پارامتر در زمان i، $Q_{(obs)i}$ مقدار مشاهده شده پارامتر در زمان i، Q_m میانگین مقادیر مشاهداتی پارامتر و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

$$ACI = n \times (\ln \times (2 \times \pi \times RSS)/n) + 1) + 2 \times m \qquad (۳)$$

که $m = p + q + P + Q$ برابر مجموع تعداد پارامترهای مدل، RSS مجموع مربعات باقیمانده‌ها و n تعداد مشاهدات می‌باشد [۸].

$$SBC = n \times (\ln \times (2 \times \pi \times RSS)/n) + 1) + m \times \ln(n) \qquad (٤)$$

همچنین مدلی که کمترین مقدار AIC و SBC را داشته باشد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود.

همچنین در این مطالعه نه سناریو برای تخصیص منابع آب سد چغاخور به نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی در پنج سال آینده مورد بررسی قرار گرفته، که شامل ترکیبی از سطح زیر کشت‌های مختلف و روش‌های متفاوت در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی می‌باشد. برای تأمین نیاز زیست‌محیطی سه سناریو مورد بررسی قرار گرفت. در سناریوی اول که در حال حاضر اجرا می‌شود، هیچ نیاز زیست‌محیطی به پایین‌دست سد اختصاص داده نمی‌شود. در سناریوی دوم مقدار نیاز زیست‌محیطی از روش مونتانا محاسبه شده و در سناریوی سوم طبق گزارش منابع آب سد چغاخور، میزان حداقل نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست این سد ۳۲۰ لیتر در ثانیه باید در نظر گرفته شود [٦]. همچنین وضعیت کشاورزی برای دو سطح زیر کشت ۸۰۰۰ و ۳۵۰۰ هکتار بررسی قرار گرفته و سپس بهینه‌ترین حالتی که این سد قادر به تأمین نیازها خواهد بود، مشخص شد. جزئیات سناریوهای مورد بررسی در جدول سه ارائه‌شده است.

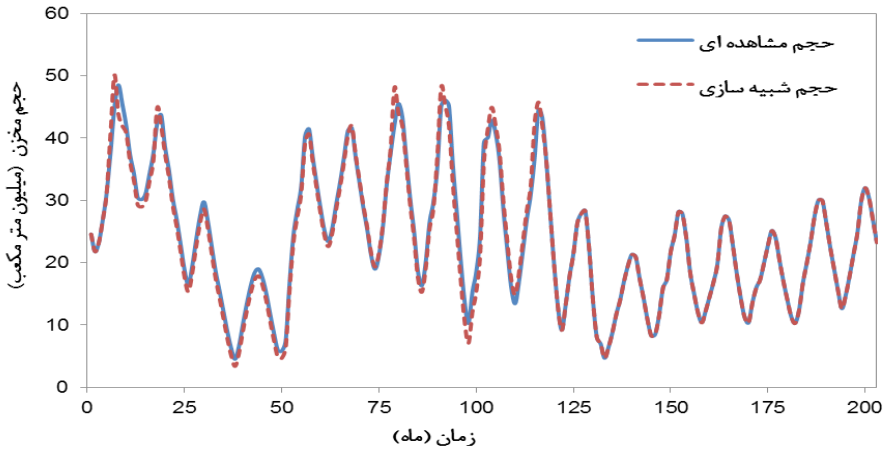
نتایج و بحث

در مطالعه حاضر پیش‌بینی میزان تأمین نیازهای پایین‌دست سد چغاخور از منابع آب این سد برای سال‌های ۹٤ تا ۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. برای مدل‌سازی این سد از داده‌های دبی ورودی و تبخیر در خلال سال‌های ۷٦ تا ۹۳ استفاده شد. همچنین به‌منظور پیش‌بینی وضعیت تخصیص منابع آب سد چغاخور در دوره پنج ساله آینده، سری زمانی داده‌های دبی ورودی به مخزن و تبخیر ماهیانه با برازش بهینه‌ترین مدل ARIMA فصلی (SARIMA) بر داده‌های تبخیر و ورودی (مجموع بارش و دبی) به مخزن سد تولید گردید. نتایج معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل SARIMA در جدول چهار نشان داده شده است. برای داده‌های ورودی از مدل ARIMA(1,0,5)(1,1,1) و برای داده‌های تبخیر از سطح مخزن از مدل ARIMA(1,0,1)(1,1,1) استفاده شد و سری زمانی این داده‌ها به‌منظور پیش‌بینی شرایط برای پنج سال آینده به مدل Vensim وارد گردیدند. پیش از اجرای مدل برای صحت‌سنجی آن

1- Root Mean Square Error
2- correlation coefficient
3- Akaike information criterion
4- Schwarz Bayesian Criterion

از مقایسه حجم مشاهده‌ای و شبیه سازی شده مخزن استفاده شد و نتایج آن در شکل پنج ارائه شده است. همانطور که مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حجم مخزن نشان می‌دهد مدل دقت و عملکرد بالایی در شبیه‌سازی سد را دارد. در جدول چهار درصد تأمین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی در پنج سال آینده (۱۳۹۸-۱۳۹٤) برای کل سناریوهای مورد بررسی آورده شده است.

همان‌گونه که در جدول پنج مشخص شده است، در سناریوی اول سطح زیر کشت بر اساس طراحی اولیه سد معادل ۸۰۰۰ هکتار و نیاز زیست‌محیطی بر اساس وضعیت حال حاضر سد که هیچ نیاز زیست‌محیطی برای پایین‌دست در نظر گرفته نشده، صفر قرار داده شده است. در صورت اجرای این سناریو، سد تنها ٢٤ درصد از نیاز کشاورزی را برای پنج سال آینده تأمین خواهد کرد. در سناریوهای دو و سه سطح زیر کشت ۸۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده اما نیاز زیست‌محیطی به ترتیب از روش مونتانا و ثابت ۳۲۵ لیتر در ثانیه در نظر گرفته شده است. درصد تأمین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی در این سناریوها در جدول سه نشان داده‌شده است. در سناریوهای چهار تا شش سطح زیر کشت ۳۵۰۰ هکتار در نظر گرفته شد که برابر میزان توسعه شبکه آبیاری سد می‌باشد و نیاز زیست‌محیطی برابر سه حالت مذکور در نظر گرفته شد که در بهترین حالت سد توانایی تامین تنها ۵۲ درصد از نیاز کشاورزی را خواهد داشت. سناریوهای هفت تا نه بر اساس نوع محاسبه نیاز زیست‌محیطی، بهینه‌ترین سطح زیر کشت از روش سعی و خطا



شکل ۵- مقایسه مقدار حجم مخزن مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل Vensim

Fig 5. Compare the observed and simulated of the volume reservoir by vensim model

جدول ٤- ارزیابی عملکرد بهترین مدل SARIMA در پیش‌بینی داده‌های ماهانه تبخیر و ورودی (مجموع بارش و دبی) به سد

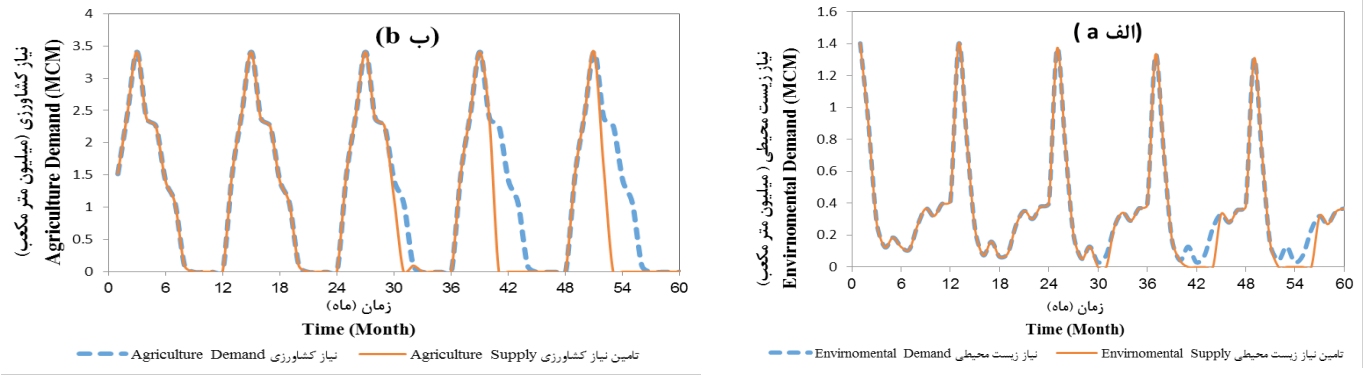
Tabel 2. Evaluate the performance of the SARIMA model to predict the monthly data evaporation and input (total precipitation and discharge) to dam

	مدل SARIMA	AIC	SBC	RMSE (MCM)	R
دبی Discharge	(1,0,5)(1,1,1)	-166.6	-140.5	1.06	0.85
تبخیر Evaporation	(1,0,1)(1,0,1)	-162.8	-150.66	0.4	0.87

جدول ۵- درصد تأمین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی در سناریوهای مورد بررسی برای دوره ۵ سال آینده (۹۸-۱۳۹٤)

Tabel 4. Percent agricultural and environmental demandss of the scenarios study for a period of 5 years (2015-19)

شماره سناریو Number Scenarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9
نیاز کشاورزی Agriculture Demand	24	20	20	52	42	44	80	83	82
نیاز زیست‌محیطی Enviromental Demand	0	61	37	0	93	69	0	95	82



شکل ٦ – سری زمانی (الف) نیاز زیست‌محیطی بر اساس روش مونتانا و (ب) نیاز کشاورزی برای سطح زیر کشت ١٦٠٠ هکتار در دوره زمانی ٩٨-١٣٩٤

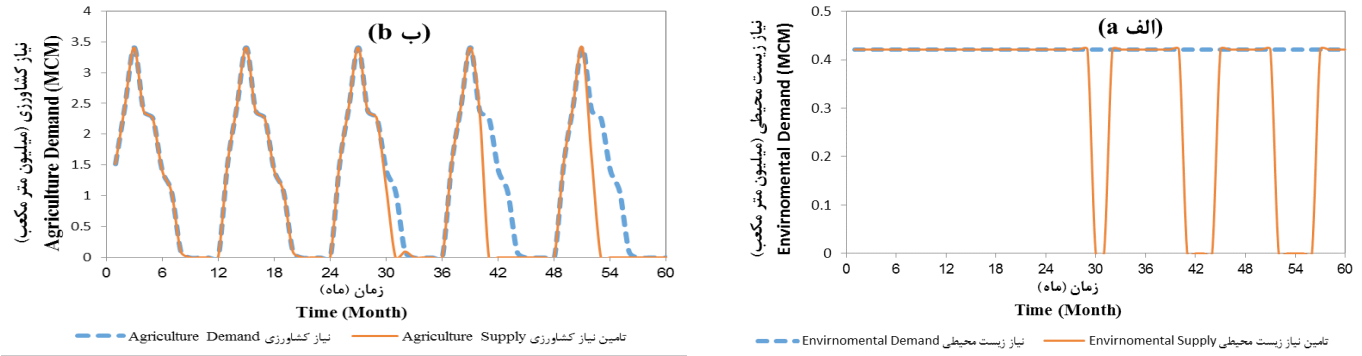
Fig 6. Time series (a) Environmental requirements based on Montana method and (b) Agriculture demand for 1600 area cultivation in period 2015-19

محاسبه شده است، به طوری که درصد تأمین قابل قبول برای نیاز کشاورزی بیش از ٨٠ و برای نیاز زیست‌محیطی بیش از ٩٠ درصد در نظر گرفته شده است. بیشینه سطح زیرکشت قابل آبیاری برای سناریوهای هفت، هشت و نه به ترتیب ٢٢٠٠، ١٦٠٠ و ١٦٥٠ هکتار می‌باشد. همان‌طور که از جدول پنج استنباط می‌شود، سد چغاخور برای سطح زیر کشت معادل ٨٠٠٠ و ٣٥٠٠ هکتار توانایی تأمین نیازها را ندارد. بنابراین حالات بهینه در این مطالعه تعریف شده اند که بر اساس نوع برآورد نیاز زیست محیطی می‌باشد. در سناریوها بهینه‌ترین حالت که علاوه بر نیاز زیست‌محیطی، نیاز کشاورزی هم به مقدار قابل قبول تأمین شده، سناریو هشت می‌باشد. در این سناریو نیاز کشاورزی برای پنج سال آینده به میزان ٨٣ درصد و نیاز زیست‌محیطی معادل ٩٥ درصد تأمین‌شده است که بیشترین سطح زیر کشت در این سناریو ١٦٠٠ هکتار محاسبه شده است. با توجه به اینکه از ١٦٠٠ هکتار ٣٠٠ هکتار از اراضی آبخور سد از آبیاری سطحی استفاده می‌کنند در صورتی که این اراضی به آبیاری تحت فشار مجهز شوند، با توجه به اختلاف ٣٠ درصدی راندمان آبیاری سطحی و تحت فشار و اینکه ٣٠ درصد از ٣٠٠ هکتار اراضی معادل تقریباً ٩٠ هکتار می‌باشد، در این منطقه می‌توان سطح ٣٠٠ هکتار اراضی با سیستم آبیاری سطحی را به ٣٩٠ هکتار اراضی با سیستم آبیاری تحت فشار افزایش داده و به‌طور کلی میزان اراضی قابل آبیاری را از ١٦٠٠ به ١٦٩٠ هکتار افزایش داد. در سناریو نه نیاز کشاورزی یه میزان قابل قبول ٨٢ درصد تامین شده است. به‌منظور ارزیابی و بررسی پیش‌بینی میزان تقاضا و عرضه آب، در پنج سال آینده، سری زمانی نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی در شکل‌های شش و هفت ترسیم شده‌اند که به ترتیب مربوط به سناریوهای هشت و نه می‌باشند. شکل شش نشان می‌دهد با اجرای سناریو هشت سطح زیر کشت را می‌توان تا ١٦٠٠ هکتار افزایش داد و همچنین نیاز زیست‌محیطی بیش از ٩٠ درصد تأمین خواهد شد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد مقدار کمبودها ار اواسط سال سوم (مرداد ١٣٩٦) ایجاد شده که مقدار این کمبود آب برای تامین نیازهای کشاورزی و زیست محیطی در دوره پنج ساله به‌ترتیب برابر ١١/٨ و ١/١ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در شکل هفت حداقل نیاز زیست‌محیطی ٣٢٠ لیتر در ثانیه معادل ٠/٤٢١٢ میلیون مترمکعب در ماه به‌طور ثابت در نظر گرفته شده است. نتایج اجرای مدل برای این سناریو نشان داد که سطح زیر کشت را می‌توان تا ١٦٥٠ هکتار افزایش داد که در این حالت میزان تأمین نیاز زیست‌محیطی و کشاورزی ٨٢ درصد می‌باشد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد مقدار کمبود آب برای تامین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی به‌ترتیب ١٣/٦٨ و ٤/٦٤ میلیون متر مکعب خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سیستم منابع آب سد چغاخور با در نظر گرفتن رویکرد پویایی سیستم‌ها برای پیش‌بینی وضعیت آبدهی سد چغاخور در تأمین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی در خلال سال‌های ٩٨-١٣٩٤، با استفاده از محیط برنامه‌نویسی Vensim شبیه‌سازی شد. به‌منظور پیش‌بینی داده‌های ورودی به سد که شامل مجموع بارش و دبی رودخانه، و تبخیر از سطح مخزن سد در پنج سال آینده از مدل سری زمانی ARIMA فصلی (SARIMA) استفاده شد. بدین منظور برای مدل‌سازی از داده‌های ورودی و خروجی از سد در خلال سال‌های ٩٣-٧٦ استفاده شد. نه سناریو مختلف برای بررسی درصد تأمین نیازهای کشاورزی و زیست‌محیطی بررسی شد و بهینه‌ترین حالت با بیشترین سطح زیر کشت مشخص شد. نتایج این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- سد چغاخور توانایی تأمین نیاز کشاورزی برای سطح زیر کشت ٨٠٠٠ و ٣٥٠٠ هکتار را ندارد و برای افزایش سطح زیر کشت می‌توان الگوی کشت منطقه را تغییر داد و از محصولاتی با میزان نیاز آبی کمتر استفاده کرد.
- در شش سناریو وضعیت تأمین نیازها برای سطح زیر



شکل ۷- سری زمانی (الف) نیاز زیست‌محیطی بر اساس حداقل نیاز ۳۲۵ لیتر بر ثانیه و (ب) نیاز کشاورزی برای سطح زیر کشت ۱۶۵۰ هکتار در دوره زمانی ۹۸-۱۳۹۴

Fig 6. Time series (a) Environmental requirements based on the minimum requirement of 325 L/S and (b) Agriculture demand for 1650 area cultivation in period 2015-19

کشت ۸۰۰۰ و ۳۵۰۰ هکتار که برای هرکدام نیاز زیست‌محیطی از سه روش متفاوت محاسبه شده بود، بررسی شد و در بهترین حالت که آبی برای نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته نشود، درصد تأمین نیاز کشاورزی به ترتیب ۲۴ و ۵۲ می‌باشد.

- سه سناریو برای بهینه‌ترین حالت با بیشترین سطح زیر کشت در نظر گرفته شد. در این سناریوها نیاز زیست‌محیطی، به سه روش مذکور قرار داده شد. زمانی که هیچ آبی برای تأمین نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته نشود (وضعیت فعلی)، سد توانایی تأمین نیاز کشاورزی تا ۲۲۰۰ هکتار را دارد. زمانی که نیاز زیست‌محیطی بر اساس روش مونتانا و حداقل نیاز در نظر گرفته شود، حداکثر سطح زیر کشت به ترتیب ۱۶۰۰ و ۱۶۵۰ هکتار خواهد بود و این در صورتی است که درصد تأمین نیاز زیست‌محیطی در هریک از این الگوها به ترتیب ۹۵ و ۸۲ بوده است.
- بهترین حالتی که این سد هم نیاز زیست‌محیطی و هم نیاز کشاورزی را به مقدار قابل قبول تأمین کند، حالتی می‌باشد که نیاز زیست‌محیطی از روش مونتانا محاسبه شود. در این حالت نیاز کشاورزی و زیست‌محیطی به ترتیب به میزان ۸۳ و ۹۵ درصد تأمین خواهد شد.
- با توجه به اینکه در وضعیت فعلی سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار با راندمان ۷۵ درصد برابر ۱۳۰۰ هکتار است، در بهترین حالت موجود که ۱۶۰۰ هکتار محاسبه شد. میزان ۳۰۰ هکتار از اراضی موجود آبیاری سطحی با راندمان ۴۵ درصد دارد. با تغییر در سیستم آبیاری و افزایش راندمان آبیاری به میزان ۳۰ درصد، می‌توان سطح زیر کشت را ۳۰ درصد اضافه کرد. در این حالت اراضی آبخور سد را می‌توان به میزان ۹۰ هکتار افزایش داده و سطح زیر کشت را به ۱۶۹۰ هکتار گسترش یابد.
- به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که مدل پویایی سیستم عملکرد مناسبی در مدیریت، برنامه‌ریزی، بهره‌مندی بهینه از منابع آب، سیاست‌گذاری و بررسی تأثیر اعمال هریک از سناریوهای مدیریتی را دارد که با نتایج مطالعات احمدی و همکاران [۴]، عبدلوندی و همکاران [۲] و صلوی تبار و همکاران [۲۰] مطابقت دارد.

منابع

1. Ababaei, B. Saraei, M. Farhadi, B. Sohrabi, T. and Mirzaei, F. 2012. Calibration CERES-Barley models using inverse modeling under irrigation. Journal of Soil and Water Resources Protection. 2(1): 37-48. (in Persian)

2. Abdolvandi A.F. Parsamehr A. Babazadeh H. Eslamian S. and Hosseinipour Z. 2014. Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources Using System Dynamics Approach (Case Study: Namroud Dam). World Environmental and Water Resources Congress.333-323.

3. Ahmad, S and Prashar, D. 2010. Evaluating municipal water conservation policies using a dynamic simulation model. Water Resource Management, 24: 3371–3395.

4. Ahmadi M.H. Rajabpour R. Raeiszadeh F and Farzin S. 2014. Investigation the effects of reservoir operation on providing different demands by System Dynamics (Case study: Kowsar dam in Iran). International Journal of scientific research and management. 2(14): 1807-1811.

5. Ahmad, S. and Simonovic, S.P. 2004. Spatial system dynamics: a new approach for simulation of water resources systems. Journal of Computing Civil Engineering. 18: 331–340.

6. Anonymous, 2014. Water sources report Regional

Water Organization of Chaharmahal Bakhtiari. 150 pp.

7. Asakere, H. 2009. ARIMA modeling for the annual average temperature in Tabriz. Journal of Geographical Research. 92: 3-24. (in Persian).

8. Bagheri, A. Darijani, D. Asgari, A. and Morid, S. 2010. Crisis in urban water systems during the reconstruction period: a system dynamics analysis of alternative policies after 2003 earthquake in Bam–Iran. Water Resource Management. 24: 2567–2596.

9. Box, G.E.P. Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. 1994. Time Series Analysis, Forecasting and Control (3rd edn). Prentice-Hall, Englewood Cliffs. NJ.

10. Bozdogan, H. 2000. Akaike's information criterion and recent developments in information complexity. Journal of Math Psychology. 44:62–91.

11. Hassanzadeh, E. Zarghami, M. and Hassanzadeh, Y. 2012. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. Water Resource Management. 26: 129–145.

12. Langsdale, S. Beall, A. Carmichael, J. Cohen, S. and Forster, C. 2007. An exploration of water resources futures under climate change using system dynamics modeling. Integratin assessment. 7:51–79.

13. Leal Neto, A.Cع Legey, L.F.L. Gonzalez-Araya, M.C. and Jablonski, S. 2006. System dynamics model for the environmental management of the Sepetiba Bay watershed, Brazil. Environmental Management. 38: 879–888.

14. Madani, K. and Marino, M.A. 2009. System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. Water Resource Management. 23: 2163–2187.

15. Naseri, A. Babazadeh, H. Nakhjavani, S. 2011. Select the most appropriate runoff water from an emitting point emitting a distribution analysis. Journal of Soil and Water Resources Protection. 1: 29-42. (In Persian)

16. Naseri, H.R. Ahmadi, S. Salvatabar, A. 2010. Exploitation of water resources modeling coastal dam Urmia Shahrchay using softwere VENSIM. The 1nd Iranian national Conference on applied research in water resource. 16 and 17 Nov. Kermanshah. 1-10. (in Persian)

17. Paymazd, Sh. Morid, S. and Moghadasi, M. 2010. Non-linear plan and dynamic systems in agricultural water allocation (case study: the river basin). Journal of Irrigation and Drainage. 1(1):44-52.

18. Riahi, H. 2011. Evaluate the efficiency of irrigation in the plains Shahrekord, Borujen and lordegan. Master's thesis. Irrigation and Drainage Engineering. University Shahrekord. (in Persian)

19. Salvatabar, A. Zarghami, M. and Abrishamchi, A. 2006. System dynamics model in Urban Water Management Tehran. Journal of Water and Wastewater. 3: 12-28. (in Persian).

20. Salvatabar, A. Bandari, R. Hasani, Kh. And Ehtiat, M. 2011. Simulation combined surface and underground water resources, case study: Haraz River catchment. The 2nd Iranian national Conference on applied research in water resource. 16 and 17 Nov. Zajan. 1-9. (in Persian)

21. Shahbazbegian, M. and Bagheri, A. 2010. Rethinking assessment of drought impacts: a systemic approach towards sustainability. Sustain Science springer. 5: 223–236.

22. Shikh khozani, Z., Hosseini, KH. and Rahimian, M. 2010. Operation multipurpose reservoir modeling using system dynamics. Journal of modelling in engineering, 21:57-66. (in Persian)

23. Simonovic, P.S. Fahmy, H. and Shorbagy, A. 1997. The use of object- oriented modeling for water resources planning in Eygpt. Water Resources Management. 11:243- 261.

24. Simonovic, S.P. and Ahmad, S. 2000. System dynamics modelling of reservoir operation for flood management. Journal of Computing in Civil Engineering. 14 (3):190-198.

25. Simonovic, S.P. and Li, L. 2003. Methodology for assessment of climate change impacts on large-scale flood protection system. Water Resource Management. 129:361–371.

26. Simonovic, S.P. and Ahmad, S. 2005. Computer-based model for flood evacuation emergency planning. Natural. Hazards. 34:25–51.

27. Tidwell, V.C. Passell, H.D. Conrad, S.H. and Thomas, R.P. 2004. System dynamics modeling for community-based water planning: application to the Middle Rio Grande. Aquatic Sciences. 66:357–372.

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 11, No. 36, Spring 2017

سال یازدهم- شماره ۳۶- بهار ۱۳۹۶

Abstract

Evaluation of Different Allocation Scenarios for Choghakhor Dam Reservoir Using System Dynamic

M. kadkhodahosseini[1], S. Shahomammadi[2], R. Mirabbasi[3] and H. Nozari[4]

Received: 2015/09/20 Accepted: 2016/11/13

Prediction of behavioral changes in water resources systems under applying different scenarios and policies can help to optimum operation of these resources. In order to integrated operation of Choghakhor dam reservoir for meeting the downstream demands a system dynamic model was designed and implemented in VENSIM software. Also the amount of the runoff input to the reservoir and the evaporation from the reservoir surface was predicted based on the ARIMA model for the next five years. After defining these parameters and their interactions in the model, it was calibrated. Then different scenarios, including changes in the calculation method for environmental demand, increasing irrigation efficiency and changes in the irrigated agricultural area, was implimented. The results of running the model for next five years showed that the Choghakhor Dam reservoir can supply the water demands for 1600 Ha of farmlands in the most optimal condition. In this case, the agricultural and environmental supply were obtained about 83 and 95 percent, respectively. In addition, by changing of the irrigation system from surface irrigation to pressurized system and increasing irrigation efficiency by 30% the cultivated area, can be developed up to 1690 hectares.

Keywords: Water resources allocation, VENSIM, SARIMA, Choghakhor Dam, System Dynamic

1- M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahrekord University. Corresponded Author, Email: Hosseini_mostafa69@yahoo.com.
2- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahrekord University,
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shahrekord University
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Buali Sina University