تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶ (ص ۳۴۷-۳۳۵)

مدیریت بهره‌برداری از آب مخزن سد امیرکبیر به کمک روش پویایی سیستم و مدل برنامه‌ریزی غیرخطی

حامد نوذری[1*]، مژگان مصطفی[2]

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۷ – بازنگری: ۶/ ۷/ ۱۳۹۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۲۵)

چکیده

مدیریت منابع آب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر است که می‌تواند سرمنشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. درواقع امروزه چالش منابع آب دغدغه بسیاری از کشورهای خاورمیانه است. محدودیت منابع آب قابل‌دسترس و خشک‌سالی‌های اخیر در ایران نیز نشان می‌دهد که ایران با یک بحران جدی در زمینه آب مواجه است. این بدین معناست که برای رهایی از شرایط اشاره‌شده باید یک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح در زمینه منابع آب موجود صورت پذیرد. لذا در این تحقیق به‌منظور مدیریت بهره‌برداری از مخزن سد امیر کبیر، روش تلفیقی شبیه‌سازی پویایی سیستم، بهینه‌سازی غیرخطی کلاسیک و مدل پیش‌بینی خطی باکس و جنکینز، روی سد مذکور موردبررسی قرار گرفت. در همین راستا، ابتدا حجم آب مخزن سد امیرکبیر به کمک روش پویایی سیستم‌ها در محیط برنامه نویسی ونسیم شبیه‌سازی شد. سپس با استفاده از مدل پیش‌بینی خطی باکس و جنکینز، دبی ورودی و تبخیر از این مخزن برای سال‌های آبی ۹۳ تا ۹۷ پیش‌بینی شدند و نتایج حاصل از آن‌ها وارد مدل شبیه‌سازی شدند. درنهایت به کمک نرم‌افزار لینگو و روش کلاسیک غیرخطی نحوه‌ی مصرف آب پشت مخزن بهینه شد. مقایسه نتایج بهینه‌سازی و نتایج مدل نشان داد که در شرایط بهینه‌سازی مقادیر کمبود و سرریزها طی تقسیم در ماه‌های مختلف، تعدیل‌شده و از خسارت‌های احتمالی جلوگیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سری زمانی، پویایی سیستم‌ها، عملکرد سد، ونسیم، لینگو.

مقدمه

کمبود منابع آبی از یک‌سو و افزایش جمعیت و تقاضای بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی از سوی دیگر، تأمین آب مناسب را در ردیف اولویت‌های مهم برنامه‌ریزی مدیران قرار داده است. علاوه بر لزوم تأمین آب کشاورزی، شهری و صنعتی، وجود ابعاد سیاسی، اجتماعی و اقتصادی نیز فضای رقابتی را در برخورداری از منابع آب به وجود آورده است، لذا استفاده از علوم تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب ضروری می‌باشد. در این راستا متغیرهای مؤثر زیادی از قبیل میزان بارش، جمعیت، سطح زیر کشت و میزان تقاضا وجود دارد که به دلیل ماهیت وابسته به زمان و تصادفی بودن آن‌ها، بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید و ضرورت اتخاذ راهکاری مناسب در جهت تصمیم‌گیری صحیح را ایجاب می‌نماید. لذا در این تحقیق سعی می‌شود با استفاده از روش پویایی سیستم، عملکرد مخزن سد شبیه‌سازی شود و پس از اعتباریابی مدل، پارامترهای هیدرولوژیکی ورودی و خروجی از سد برای یک دوره ۵ ساله به کمک مدل‌های سری زمانی پیش-بینی شود و عملکرد مخزن سد برای دوره مذکور به کمک مدل شبیه‌ساز مشاهده شود. در نهایت به کمک یک روش بهینه‌سازی غیرخطی، دستورالعملی پویا برای بهره‌برداری مناسب از مخزن تهیه خواهد شد. با توجه به گستردگی این تحقیق، سابقه مطالعات در زمینه شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و پیش‌بینی به کمک مدل‌های سری زمانی، مورد بررسی قرار گرفت.

در زمینه شبیه‌سازی، روش تحلیل پویایی سیستم ابزار مدیریتی مناسبی است که ابتدا توسط Foster (1961) جهت درک بهتر مسائل استراتژی در سیستم‌های پویای پیچیده ابداع گردید. مدل‌هایی که با این روش نوشته می‌شوند، با بینش فرآیندهای بازخورد، کاربران سیستم را به فهم بهتری از رفتار پویایی سیستم‌ها در طول زمان نائل می‌سازد. محدوده‌های کاربردی این روش بسیار وسیع بوده و در سال‌های اخیر تمایل به مدل نمودن سیستم‌ها با نگرش پویایی سیستم در تحقیقات مهندسی آب بیشتر شده است. Simonovic, (2002) به منظور ارزیابی درازمدت منابع آب و تجزیه‌وتحلیل سناریوهای پیشنهادی در مقیاس جهانی، مدلی را ارائه نمود. این مدل به

* نویسنده مسئول : hanozari@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

روش پویایی سیستم توسعه داده‌شده و پنج بخش صنعت، جمعیت، کشاورزی، منابع تجدید ناپذیر و آلودگی را در مقیاس جهانی تحلیل می‌نماید. Sánchez *et al* (2009) به ارزیابی مدل‌های پویایی سیستم در مدیریت منابع آب حوضه‌ها پرداختند. مدل توسعه داده‌شده توسط آن‌ها میزان آب موجود، نیازها و آلودگی‌های ایجادشده توسط مصرف‌کنندگان مختلف را محاسبه می‌کند. نتایج این تحقیق نشان داد که تا سال ۲۰۵۴ میزان نیازها حدود ۷۶ درصد افزایش خواهد یافت این در حالی است که ۳۹ درصد از آب قابل‌دسترس، از طریق استفاده مجدد فاضلاب‌ها تأمین می‌شود و آلودگی آب تا ۹۱ درصد افزایش خواهد یافت. آن‌ها نشان دادند که این روش می‌تواند ابزار مدیریتی کارا و مفید در مدیریت منابع آب باشد. Sheikh khozani *et al*. (2010) با استفاده از روش پویایی سیستم به مدل‌سازی سد دامغان در افق ۱۴۱۰ پرداختند. نتایج نشان دادند که پویایی سیستم روش مناسبی برای شبیه‌سازی مخزن می‌باشد و مدل مذکور به میزان دبی ورودی به مخزن حساسیت بیشتری نشان می‌دهد و باید در اندازه‌گیری این پارامتر دقت بیشتری به عمل آید. Madani and Mariño (2009) به تجزیه‌وتحلیل پویایی سیستم برای مدیریت حوضه رودخانه زاینده‌رود پرداختند. نتایج نشان دادند که انتقال بین حوضه‌ای بهترین و تنها راه‌حل برای مشکل کمبودهای این رودخانه نیست و گزینه‌های مختلف مدیریت تقاضا و کنترل جمعیت در زمانی که با انتقال آب بین حوضه‌ای ترکیب شود، می‌تواند در مقابله با بحران آب حوضه با افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی آب و کنترل خروج آب‌های زیرزمینی بیشتر مؤثر باشد.Shahbazbegian and Bagheri (2010) ، با استفاده از روش پویایی سیستم روش‌های مقابله با اثرات خشک‌سالی را موردبررسی قراردادند و دقت این روش را مناسب ارزیابی نمودند.Bagheri and Hosseini (2011) ، به ارزیابی توسعه منابع آب در دشت مشهد با استفاده از روش پویایی سیستم پرداختند. آنها نشان دادند، سیاست تغییر نیاز آبی با توجه به تغییر الگوی کشت نسبت به سایر سیاست‌ها (بهره‌وری اقتصادی از آب، تغییر در روش تقسیم آب، بهبود استفاده از آب و توجه به کمبود آب) مؤثرتر بوده و روند افت آب زیرزمینی کمتر می‌باشد. این محققین کشت گندم را جهت توسعه اقتصادی منطقه پیشنهاد نمودند.

در زمینه بهینه‌سازی، Li *et al* (2006) به منظور تخصیص بهینه‌ی آب و تعیین بیشترین سود مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی، از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای Multistage Stochastic استفاده نمودند و ۸۱ سناریو برای سه مصرف‌کننده‌ی شهری، کشاورزی و صنعتی ارائه نمودند. نتایج نشان داد که اگر آب وعده داده‌شده به مصرف‌کننده در دوره‌ی موردنظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود، مصرف‌کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت، مصرف‌کننده ضرر خواهد کرد. Wu *et al* (2012) با استفاده از الگوریتم NSGA-II سود ناشی از تأمین آب بخش‌های مختلف متقاضی آب مخزن Lango را بیشینه و کمبود آب موردنیاز محیط‌زیست را کمینه نمودند. آنها نشان دادند که الگوریتم NSGA-II و مدل ارائه‌شده می‌تواند در مدیریت مخزن بکار رود. Razaghi *et al* (2014) سد مخزنی نمرود و زیرحوضه پایین‌دست آن را با استفاده از مدل MODSIM8.1 شبیه‌سازی نمودند و مدل را برای دو حالت با و بدون جیره‌بندی اجرا کردند. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست جیره‌بندی، شاخص‌های اعتمادپذیری و پایداری سیستم به ترتیب به میزان ۱۰ و ۷ درصد افزایش و شاخص‌های آسیب‌پذیری و سرعت برگشت‌پذیری ۱۸ و ۹ درصد کاهش می‌یابد که نشان از بهبود این شاخص‌ها در شرایط اعمال سیاست جیره‌بندی در سیستم دارد. Rastegaripour and Karbasi (2015) به مدیریت آب سد لار با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای پرداختند. این روش از ترکیب دو روش برنامه‌ریزی پویا و نادقیق در چارچوب بهینه‌سازی تصادفی تشکیل‌شده است. نتایج نشان داد که در بدترین شرایط طی سه سال آینده در بخش شهری ۰/۵۴ و در بخش کشاورزی ۰/۴۸ میلیون مترمکعب کمبود آب رخ خواهد داد. Moghaddasi *et al*. (2009) به مقایسه تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی برنامه‌ریزی غیرخطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک در مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی پرداختند و نشان دادند که روش برنامه‌ریزی غیرخطی نسبت به دو روش دیگر برتری دارد. Azarafza *et al*. (2012) سه نوع الگوریتم فراکاوشی ازجمله الگوریتم مجموعه ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بازپخت به‌منظور استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای شهر ارومیه را به کار گرفتند. در این تحقیق بهینه‌سازی مخزن برای آورد ۵ ساله رودخانه شهرچای و باهدف تأمین نیاز پایین‌دست ازجمله نیاز شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی انجام گرفت. طبق نتایج به‌دست‌آمده الگوریتم بهینه‌سازی مجموعه ذرات به‌صورت مؤثری نسبت به سایر روش‌ها در حل مسئله مخزن سد شهرچای عمل نمود و منحنی‌های فرمان رهاسازی و حجم ذخیره برای سدشهرچای‌با استفاده از این روش استخراج گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

در زمینه پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیکی، پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. بنا بر عقیده بسیاری از محققین خشکی و خشک‌سالی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و برای کاهش اثرات سوء آن باید راه‌حلی یافت (Ghahraman and Sepaskhah, 2005). لذا در دهه‌های اخیر، مسئله شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیکی و استفاده از تحلیل‌های آماری و مدل‌های ریاضی جهت بالابردن دقت در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مصارف منابع آب، اهمیت خاصی پیدا کرده است. ازآنجاکه پدیده‌های هیدرولوژیکی در قلمرو پدیده‌های تصادفی قرار می‌گیرند، تحلیل آن‌ها در محدوده علم آمار و احتمال که از زیرمجموعه‌های هیدرولوژی است انجام می‌شود، در این راستا استفاده از سری زمانی موردتوجه قرار می‌گیرد. Yurekli and BKurunc (2005) ، به بررسی عملکرد روش‌های استوکستیکی در تولید دبی کمینه ماهانه با استفاده از داده‌های روزانه دبی در سه ایستگاه پرداختند. آن‌ها از دو روش استوکستیکی ARIMA و توماس-فیرینگ برای شبیه‌سازی استفاده کردند. محاسبه شاخص‌های آماری نشان داد که مدل‌سازی به روش ARIMA بهتر از توماس-فیرینگ می‌باشد. Dodangeh *et al.* (2012) از مدل‌سازی سری‌زمانی برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی به‌منظور مدیریت و سیاست‌گذاری در زمینه منابع آب در شرایط بحرانی استفاده کردند. به این منظور در این تحقیق مدل رایج باکس- جنکینس ARIMA استفاده شد و نتایج خوبی در برازش به داده‌های ماهانه پارامترهای درصد رطوبت نسبی، تبخیر، دمای هوا، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی داشت. Dabral *et al* (2014) ، به مدل‌سازی تبخیر با استفاده از سری‌های زمانی پرداختند. آن‌ها فرض کردند که تبخیر از تشت را می‌توان به اجزای قطعی و احتمالی تجزیه کرد. این محققین روند موجود در سری زمانی را حذف و از آنالیز فوریه برای شناسایی روند پریودیک سری استفاده نمودند و نتایج قابل قبولی را در پیش‌بینی تبخیر به دست آوردند. همچنین Akiner and Akkoyunlu (2012) ، به منظور پیش‌بینی میزان جریان رودخانه حوضه ملن ترکیه از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. نتایج نشان داد که ارتباط قابل‌توجهی بین مدل شبیه‌سازی‌شده و نتایج مشاهده‌شده وجود دارد.

با بررسی مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت؛ پژوهش‌های بسیاری وجود دارد که مخزن یک سد را شبیه‌سازی کرده و سیاست‌های مختلفی را برای بهره‌برداری از مخزن سد آزمون نموده‌اند. از سوی دیگر محققین بسیاری به کمک روش‌های بهینه‌سازی موجود، منحنی فرمان مخزن یک سد را بهینه نموده‌اند. اما گاهی اوقات راه حل‌های مدیریتی اتخاذشده در جهت بهبود وضع موجود مؤثر نبوده و حتی عمل به آنها ممکن است منجر به مشکلات جدیدی پس از اجرای سیاست اتخاذشده شود. چراکه تمام محدوده بازخوردهای ممکن در این سامانه در نظر گرفته نشده است. از سوی دیگر ذخیره آب پشت مخزن سد، پویا بوده و اجرای هر سیاستی بدون در نظر گرفتن این پویایی، می‌تواند آثار مستقیم و جانبی دیگری داشته باشد که جبران خسارات ناشی از آن بسیار دشوار و پرهزینه باشد. لذا در پژوهش حاضر، به منظور اجتناب از عکس‌العمل‌های منفی نسبت به سیاست‌های اتخاذشده، از یک روش تحلیل‌گر پویای مجهز به سامانه تصمیم‌گیری استفاده می‌شود تا با یک نگرش جامع‌تر به این سامانه، بتوان ارتباط پویای متقابل بین پارامترهای موجود را مدل‌سازی کرده و با توجه به پیچیدگی‌های این سامانه، بتوان تأثیر مستقیم و جانبی تصمیم‌ها و تغییر شرایط نسبت به زمان را به‌خوبی شبیه‌سازی نمود. بنابراین پس از شبیه‌سازی حجم آب پشت مخزن، مؤلفه‌های هیدرولوژیکی ورودی و خروجی مخزن سد از قبیل دبی ورودی و تبخیر از مخزن، با استفاده از تجزیه‌وتحلیل سری زمانی و مدل‌های استوکاستیک، پیش‌بینی شده و به کمک مدل تحلیل‌گر دینامیکی، تغییرات حجم آب مخزن برای دوره پیش‌بینی شده اجرا می‌گردد. در نهایت سعی می‌شود تا با روش برنامه‌ریزی غیرخطی، خروجی آب از مخزن و حجم آب پشت مخزن سد بهینه گردد و راهکار مناسب جهت مدیریت بهره‌برداری از مخزن سد در دوران کم‌آبی، ارائه شود.

مواد و روش‌ها

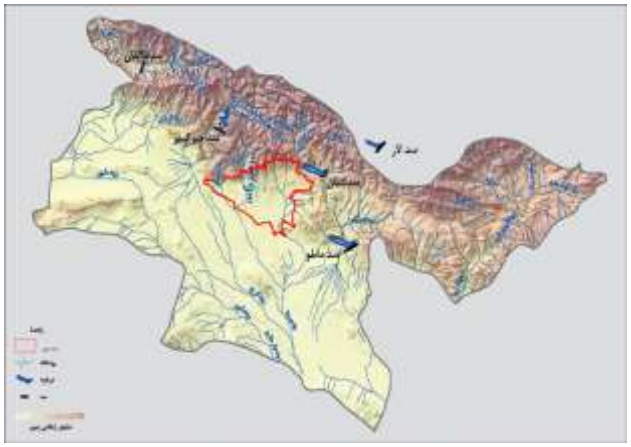
منطقه موردمطالعه

در سال ۱۳۲۸ مطالعات سد امیرکبیر آغاز گردید و در سال ۱۳۳۶ عملیات احداث آن شروع و در سال ۱۳۴۰ به بهره‌برداری رسید. این سد بر روی رودخانه کرج با سطح حوزه آبریزی به مساحت ۷۶۴ کیلومترمربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان ۴۷۲ میلیون مترمکعب در استان تهران و در فاصله ۶۳ کیلومتری شمال غربی تهران و در کیلومتر ۲۳ جاده کرج – چالوس، در شمال شهرستان کرج قرار دارد. اهداف احداث این سد شامل کنترل سیلاب‌های بهاره و جلوگیری از خسارت‌های ناشی از سیل، تأمین آب شرب تهران سالانه به میزان ۳۴۰ میلیون مترمکعب، تنظیم آب برای مصارف آبیاری و کشاورزی اراضی حومه کرج به میزان ۱۳۰ میلیون مترمکعب در سال و تولید انرژی برق–آبی جهت کمک به شبکه سراسری برق به‌ویژه در ساعات اوج مصرف به میزان سالانه ۱۵۰۰۰۰ مگاوات ساعت

Archive of SID
www.SID.ir

می‌باشد. تصویر سد امیرکبیر در شکل (۱) قابل‌مشاهده می‌باشد. همچنین نقشه توپوگرافی استان تهران به همراه موقعیت مکانی سدهای این استان در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۱. تصویر سد امیرکبیر (کرج)



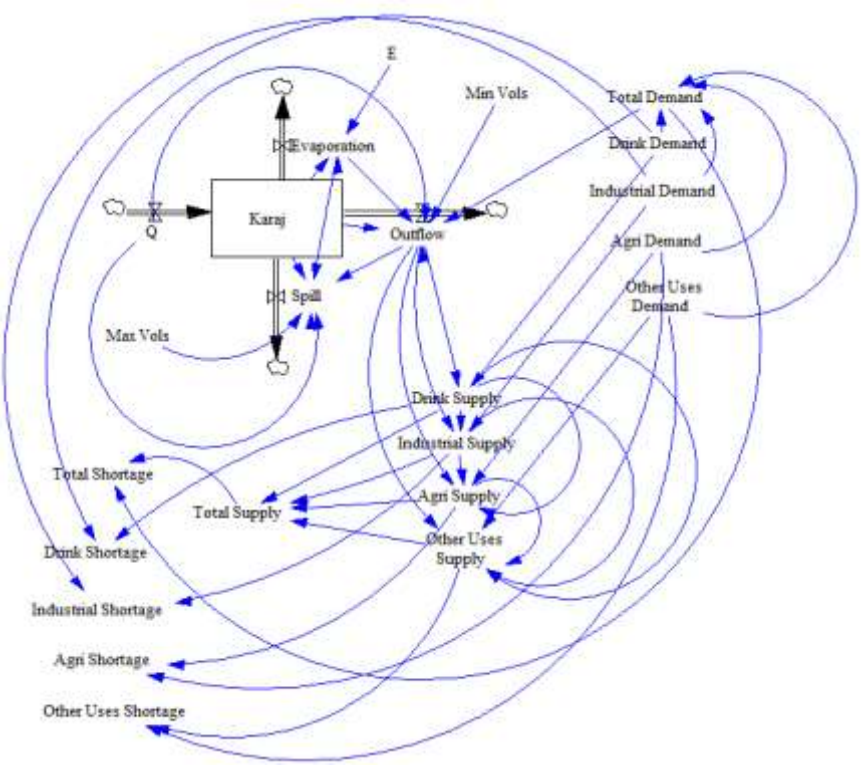
شکل ۲. نقشه توپوگرافی استان تهران به همراه موقعیت مکانی سدها

مدل‌سازی پویایی سیستم

با توجه به ضرورت وجود نگرش سیستمی در مدیریت منابع آب و ویژگی پویایی حوضه‌های آبریز، در این تحقیق سیستم منبع آب سد امیرکبیر با در نظر گرفتن رویکرد پویایی سیستم‌ها و با استفاده از محیط برنامه‌نویسی ونسیم مدل‌سازی و شبیه‌سازی می‌شود. بدین منظور ابتدا کلیه منابع و مصارف آب در این حوضه به‌طور دقیق محاسبه‌شده و سپس نحوه تخصیص منابع آب این سد با رویکرد پویایی سیستم‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد.

نمودار حالت-جریان

ساختار مدل تخصیص منابع آب سد امیرکبیر و نمودارهای حالت و جریان آن در شکل (۳) ارائه شده است. در این شکل کلیه منابع آب موجود و نیازها شامل نیاز شرب، صنعت، کشاورزی و سایر مصارف (زیست‌محیطی، تغذیه مصنوعی و غیره)، نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار علت و معلولی سد امیرکبیر در محیط نرم‌افزار ونسیم

متغیرهای بکار رفته در شکل فوق به شرح زیر می‌باشند: Q: آبدهی ماهانه ورودی به مخزن، Karaj: حجم آب مخزن، Spill: میزان سرریز از مخزن، E: میزان تبخیر از منطقه، Evaporation: میزان تبخیر از مخزن سد، Drink Demand:

www.SID.ir

مقادیر نیاز شرب ماهانه، Industrial Demand: مقادیر نیاز صنعت ماهانه، Agri Demand: مقادیر نیاز کشاورزی ماهانه، Other Uses Demand: مقادیر سایر نیازهای ماهانه، Drink Supply: میزان تخصیص ماهانه شرب، Industrial Supply: میزان تخصیص ماهانه صنعت، Agri Supply: میزان تخصیص ماهانه کشاورزی، Other Uses Supply: میزان تخصیص ماهانه سایر نیازها، Drink Shortage: میزان کمبود ماهانه شرب، Industrial Shortage: میزان کمبود ماهانه صنعت، Agri Shortage: میزان کمبود ماهانه کشاورزی، Other Uses Shortage: میزان کمبود ماهانه سایر نیازها، Min Vols: حداقل حجم مخزن سد، Max Vols: حداکثر حجم مخزن سد و Outflow: میزان کل خروجی از مخزن سد.

پیش‌بینی سری زمانی

متغیرهای ورودی به مخزن سد شامل بارش مستقیم بر روی دریاچه و جریان سطحی و متغیرهای خروجی از مخزن شامل تبخیر از سطح مخزن، میزان رهاسازی و سرریز از مخزن می‌باشد. لذا حجم مقادیر ماهانه جریان‌های سطحی، ارتفاع معادل برف و باران ورودی به مخزن سد، میزان تبخیر از مخزن و میزان رهاسازی در طی دوره ۴۹ ساله (از سال ۱۳۴۴ تا سال ۱۳۹۳) سد امیرکبیر از سازمان آب منطقه‌ای تهران تهیه شد.

از اوایل دهه ۶۰ میلادی مدل‌های خودهمبسته استفاده گسترده‌ای در مهندسی هیدرولوژی و منابع آب داشته‌اند. دلیل اصلی استفاده گسترده از این نوع مدل را می‌توان توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر زمان حال با زمان‌های پیشین و همچنین سادگی ساختار این مدل‌ها دانست. اساس کار این‌گونه مدل‌ها بر پایه زنجیره مارکوف در سری‌های زمانی می‌باشد. جهت مدل‌سازی سری‌های زمانی فصلی از مدل ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)ω که به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد، استفاده می‌شود.

(رابطه ۱)
$$\Phi(B^{\omega})\phi(B)(1-B^{\omega})^{D}(1-B)^{d}Z_t=\Theta(B^{\omega})\theta(B)\varepsilon_t$$

در این رابطه، ε_t متغیر تصادفی، ϕ پارامتر مدل خودهمبسته غیر فصلی، Φ پارامتر مدل خودهمبسته فصلی، θ پارامتر مدل میانگین متحرک غیر فصلی، Θ پارامتر مدل میانگین متحرک فصلی، B عملگر تفاضل به‌صورت $B(Z_t)=Z_{t-1}$ و $(1-B^{\omega})^{D}$، D امین تفاضل فصلی به‌اندازه ω و $(1-B)^{d}$ برابر با d امین تفاضل غیر فصلی می‌باشد.

یکی از شاخص‌های اصلی برای انتخاب بهترین مدل برازش شده بر سری زمانی، معیار آکائیک می‌باشد. از بین مدل‌های مختلف مدلی مناسب‌تر است که آکائیک آن کمتر باشد. درصورتی‌که بین چندین مدل این معیار مشابه باشد، طبق اصل امساک مدلی مناسب‌تر است که پارامترهای آن مقادیر کمتری نسبت به بقیه داشته باشد. این شاخص به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(رابطه ۲)
$$AIC=Nln(\sigma_{\varepsilon}{}^{2})+2(p+q)$$

در این رابطه، N تعداد داده‌های مشاهداتی، p مرتبه مدل خودهمبسته، q مرتبه مدل میانگین متحرک و σ_{ε} انحراف معیار مدل می‌باشد.

همچنین به‌منظور ارزیابی و واسنجی نتایج مدل، از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا، خطای نسبی و ضریب همبستگی استفاده می‌شود که به‌صورت رابطه‌های (۳، ۴ و ۵) می‌باشند.

(رابطه ۳)
$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i-\ddot{Q}_t)^2}{n}}$$

(رابطه ۴)
$$SE=\frac{RMSE}{\bar{Q}}$$

(رابطه ۵)
$$R^2=\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(\sum_{i=1}^{n}(Q_i-\bar{Q})(\ddot{Q}_t-\tilde{Q}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_i-\bar{Q})^2\sum_{i=1}^{n}(\ddot{Q}_t-\tilde{Q})^2}}\right)^2$$

در این روابط، Q_i متغیر محاسباتی، $\bar{Q}$ میانگین متغیر محاسباتی، $\ddot{Q}_t$ متغیر مشاهداتی، $\tilde{Q}$ میانگین متغیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها در بازه زمانی موردنظر می‌باشد.

بهینه‌سازی

در این تحقیق بهره‌برداری از مخزن با اهداف شرب، صنعت، کشاورزی و سایر مصارف بوده و تابع هدف کمینه نمودن مجموع مجذور تفاضل از نیاز در کل دوره‌های موردنظر می‌باشد که روابط آن به شرح زیر است:

(رابطه ۶)
$$Min=\sum_{t=1}^{60}\left(\frac{R_t-D_t}{D_{max}}\right)^2$$

(رابطه ۷)
$$S_{t+1}=S_t+I_t-R_t-E_t$$

(رابطه ۸)
$$S_{min}\le S_t\le S_{max}$$
$$t=1,2,\ldots,60$$

در این روابط R_t میزان رهاسازی ماهانه، D_t میزان نیاز هر ماه، D_{max} بیشینه نیاز ماهانه، E_t میزان تبخیر هر ماه و S_t و S_{t+1} میزان حجم مخزن در ابتدا و انتهای دوره t است.

جهت استخراج حالت بهینه بهره‌برداری از مخزن، روابط بین جریان ورودی، حجم مخزن و میزان رهاسازی هر دوره به‌صورت پارامتریک تعریف می‌شود که مقادیر این پارامترها به‌وسیله روش NLP تعیین می‌گردد. به‌منظور تعیین میزان وابستگی رهاسازی به‌عنوان عوامل مختلف، روابط بین متغیرها به‌صورت خطی در نظر گرفته شد که به شرح زیر است (Azarafza *et al*. 2012):

رابطه (۹)
$$R_t=a_tS_t^2+b_tI_t^2+c_tS_t+d_tI_t+e_t$$

ضرایب a، b، c، d و e پارامترهای قوانین بهره‌برداری می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

مدل‌سازی پویایی سیستم

پس از بسط مدل در محیط ونسیم و واردکردن داده‌های ورودی و خروجی، مدل مذکور برای دوره آماری ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۳ اجرا و دقت آن مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر حجم مخزن سد امیرکبیر و میزان رهاسازی از آن بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در دوره آماری موردنظر در شکل‌های (۴ و ۵) ارائه شده‌اند. با توجه به این شکل‌ها و همچنین ضرایب همبستگی (R2=۰/۹۹۸)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE=۵ cm) و خطای نسبی (SE=۰/۰۲) می‌توان دقت بالای مدل را در شبیه‌سازی این مخزن تائید نمود.

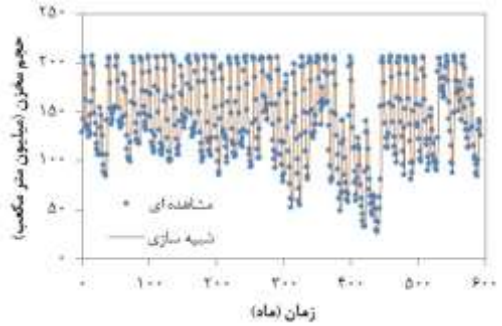
پیش‌بینی سری زمانی

برای انتخاب مناسب‌ترین مدل در پیش‌بینی متغیرهای ورودی و خروجی مخزن سد، ابتدا با استفاده از آمار و اطلاعات ۴۹ ساله، سری زمانی داده‌ها ترسیم و ایستایی در واریانس و میانگین داده موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که سری زمانی تبخیر از سد در واریانس ایستا و دبی ورودی به سد در واریانس ناایستا می‌باشد (شکل ۶-الف) لذا به کمک تبدیل باکس-کاکس این نا ایستایی برطرف شد (شکل ۶-ب).

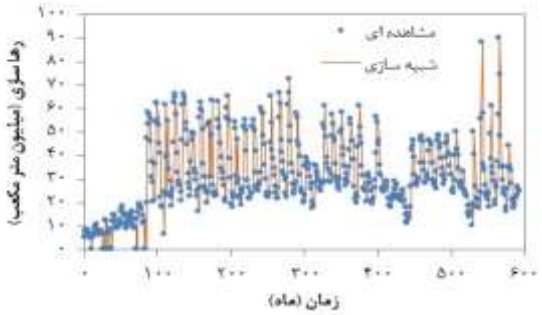
همچنین مطابق شکل (۷) ملاحظه می‌شود که خط برازش داده‌شده به سری‌های زمانی دبی و تبخیر دارای روند بوده و سری زمانی داده‌ها در میانگین ایستا نمی‌باشند. لذا پس از یک‌مرتبه تفاضل گیری از سری، روند موجود حذف شد (شکل ۸).

با توجه به روند فصلی داده‌ها مدل آریمای فصلی جهت برازش به آن‌ها انتخاب شد و با استفاده از نمودارهای ACF و PACF مدل‌های با مرتبه مختلف آزمون شدند (شکل‌های ۹ و ۱۰). مشخصات برخی از مدل‌های برازش داده‌شده در جدول (۱ و ۲) نمایش داده‌شده است.

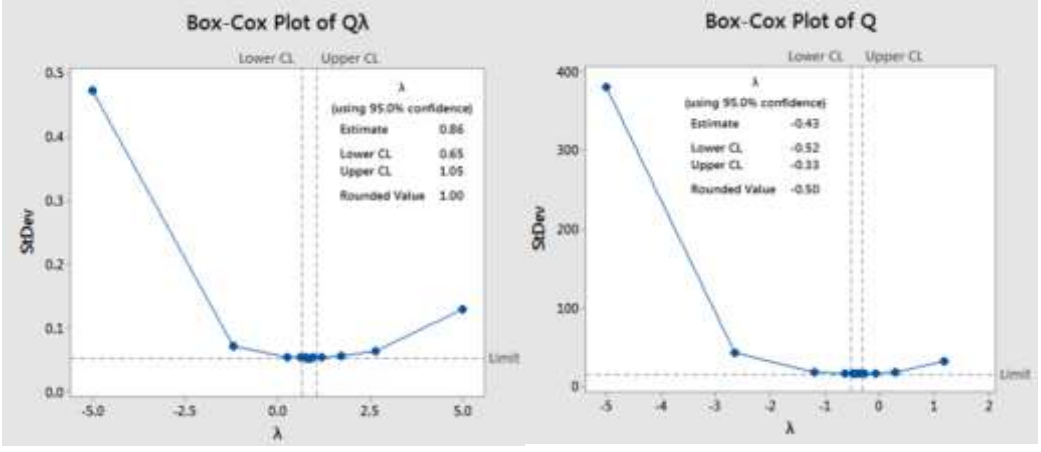
با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری ارائه شده، مدل منتخب برای دبی ورودی به سد ARIMA (۱۰۰)(۱۱۱) و مدل مناسب جهت پیش‌بینی تبخیر از سد ARIMA (۱۱۰)(۰۱۱) می‌باشد.



شکل ۴. مقایسه حجم مخزن مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده سد امیرکبیر توسط مدل ونسیم



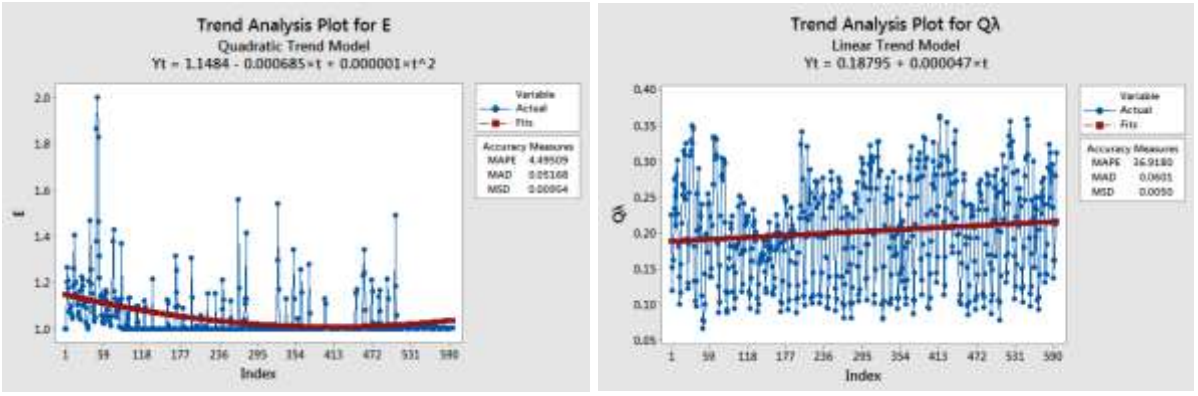
شکل ۵. مقایسه خروجی مشاهده‌ای و خروجی شبیه‌سازی‌شده از مخزن سد امیرکبیر توسط مدل ونسیم



ب الف

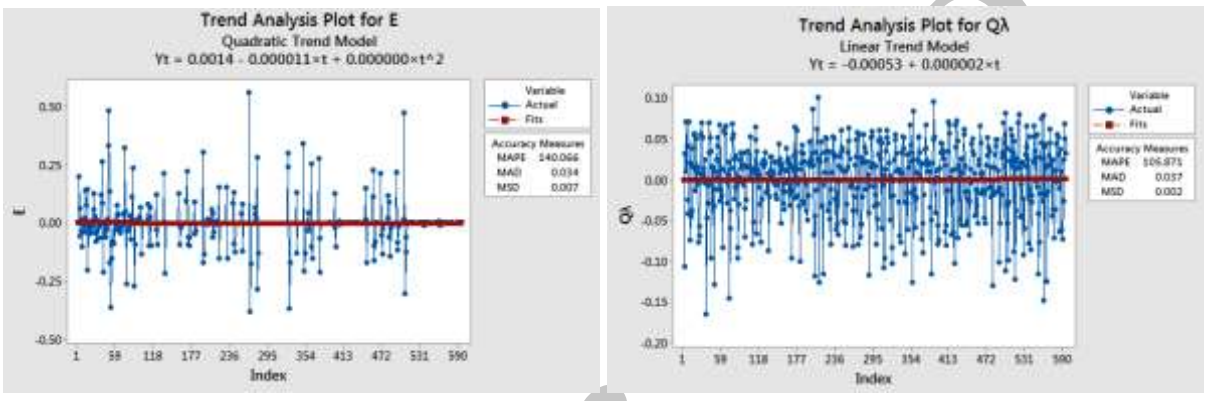
شکل ۶. آزمون باکس-کاکس دبی ورودی به مخزن سد امیرکبیر قبل (الف) و پس از حذف ناایستایی (ب)

Archive of SID
www.SID.ir



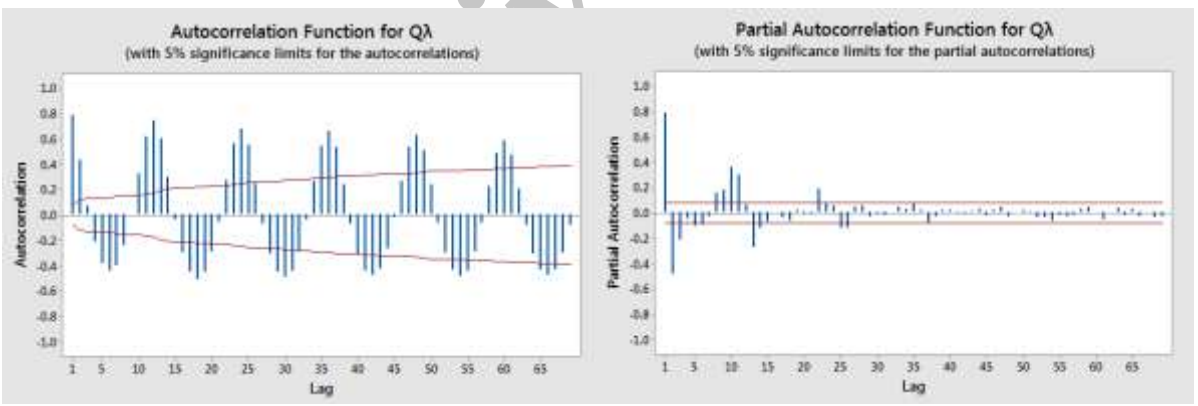
ب الف

شکل ۷. روند تغییرات سری زمانی دبی ورودی (الف) و تبخیر از مخزن سد امیرکبیر (ب) قبل از تفاضل گیری

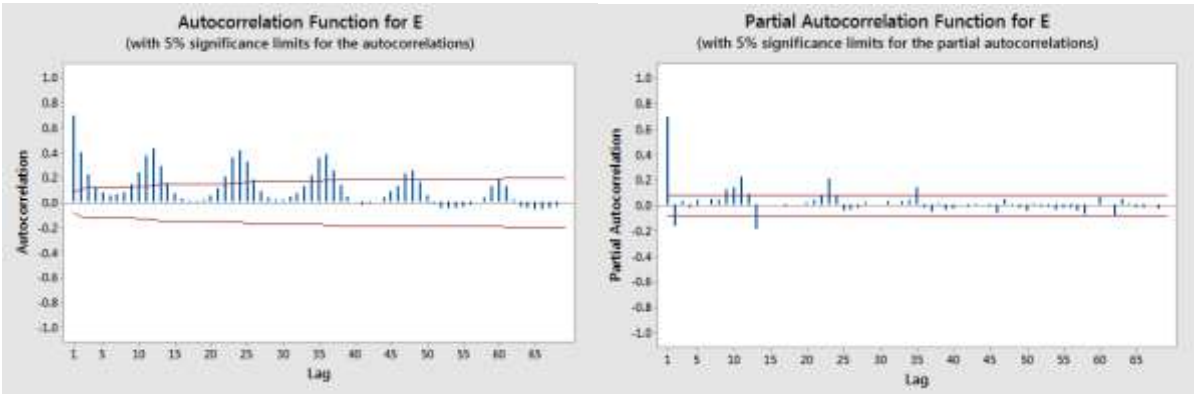


ب الف

شکل ۸. روند تغییرات سری زمانی دبی ورودی (الف) و تبخیر از مخزن سد امیرکبیر (ب) پس از تفاضل گیری



شکل ۹. نمودار ACF و PACF دبی ورودی به مخزن سد امیرکبیر



شکل ۱۰. نمودار ACF و PACF تبخیر از مخزن سد امیرکبیر

www.SID.ir

جدول ۱. شاخص‌های آماری مدل‌های برازش داده‌شده بر دبی ورودی مخزن سد امیرکبیر

مدل	RMSE	SE	R2	AIC	مدل	RMSE	SE	R2	AIC
ARIMA(۱۱۰)(۱۱۰)	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۸۰	-۱۹۷۵/۷۵	ARIMA(۰۱۰)(۱۰۰)	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۷۸	-۱۹۹۳/۱۴
ARIMA(۱۱۰)(۱۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۰۵۵/۱۹	ARIMA(۰۱۱)(۱۰۰)	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۷۸	-۱۹۹۴/۸۲
ARIMA(۰۱۱)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۰۶۶/۸۱	ARIMA(۱۱۰)(۰۰۱)	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۷۳	-۱۹۲۲/۲۴
ARIMA(۰۱۰)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۴	-۲۰۵۴/۵۱	ARIMA(۱۱۱)(۰۰۱)	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۷۳	-۱۹۲۰/۲۵
ARIMA(۰۱۱)(۰۱۰)	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۷۶	-۱۹۱۰/۲۶	ARIMA(۰۱۱)(۱۰۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۱۰۳/۲۳
ARIMA(۱۱۰)(۰۱۰)	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۷۶	-۱۹۰۷/۲۹	ARIMA(۰۱۰)(۱۰۱)	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۸۴	-۲۰۸۳/۷۸
ARIMA(۰۱۰)(۱۱۰)	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۸۰	-۱۹۶۴/۳۶	ARIMA(۱۰۰)(۱۱۰)	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۸۱	-۲۰۰۹/۳۲
ARIMA(۰۱۱)(۱۱۰)	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۸۱	-۱۹۷۹/۲۵	ARIMA(۱۰۱)(۱۱۰)	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۸۱	-۲۰۱۰/۱۳
ARIMA(۱۱۰)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۸۴	-۲۰۴۸/۵۰	**ARIMA(۱۰۰)(۱۱۱)**	**۰/۰۳**	**۰/۱۳**	**۰/۸۶**	**-۲۰۹۵/۴۰**
ARIMA(۱۱۱)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۶	-۲۰۸۷/۱۱	ARIMA(۱۰۱)(۱۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۸۶	-۲۰۹۷/۰۰
ARIMA(۰۱۱)(۱۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۰۶۵/۹۲	ARIMA(۰۰۱)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۸۰	-۱۹۹۴/۴۹
ARIMA(۰۱۰)(۱۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۰۵۳/۹۴	ARIMA(۰۰۰)(۰۱۱)	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۶۸	-۱۸۶۰/۹۴
ARIMA(۱۱۰)(۱۰۰)	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۷۸	-۱۹۹۰/۱۵	ARIMA(۰۰۱)(۰۱۰)	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۷۱	-۱۸۷۵/۵۳
ARIMA(۱۱۰)(۱۰۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۱۰۰/۳۵	ARIMA(۱۰۰)(۰۱۰)	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۷۷	-۱۹۴۶/۶۴
ARIMA(۱۱۱)(۱۰۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۱۱۲/۰۲	ARIMA(۱۰۱)(۰۱۰)	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۷۸	-۱۹۴۵/۴۸
ARIMA(۰۱۱)(۰۰۱)	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۷۳	-۱۹۲۱/۷۱	ARIMA(۰۰۰)(۱۱۰)	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۶۲	-۱۷۹۷/۸۳
ARIMA(۰۱۰)(۰۰۱)	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۷۲	-۱۹۱۶/۳۲	ARIMA(۰۰۱)(۱۱۰)	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۷۵	-۱۹۲۷/۷۶
ARIMA(۰۱۱)(۰۰۰)	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۶۸	-۱۸۵۴/۲۴	ARIMA(۱۰۰)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۵	-۲۰۹۰/۶۵
ARIMA(۱۱۰)(۰۰۰)	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۷۰	-۱۸۵۷/۵۳	ARIMA(۱۰۱)(۰۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۸۶	-۲۰۹۳/۵۰
ARIMA(۱۱۱)(۰۰۰)	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۶۹	-۱۸۵۶/۱۷	ARIMA(۰۰۱)(۱۱۱)	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۸۱	-۲۰۰۷/۰۷

جدول ۲- شاخص‌های آماری مدل‌های برازش داده‌شده بر تبخیر از مخزن سد امیرکبیر

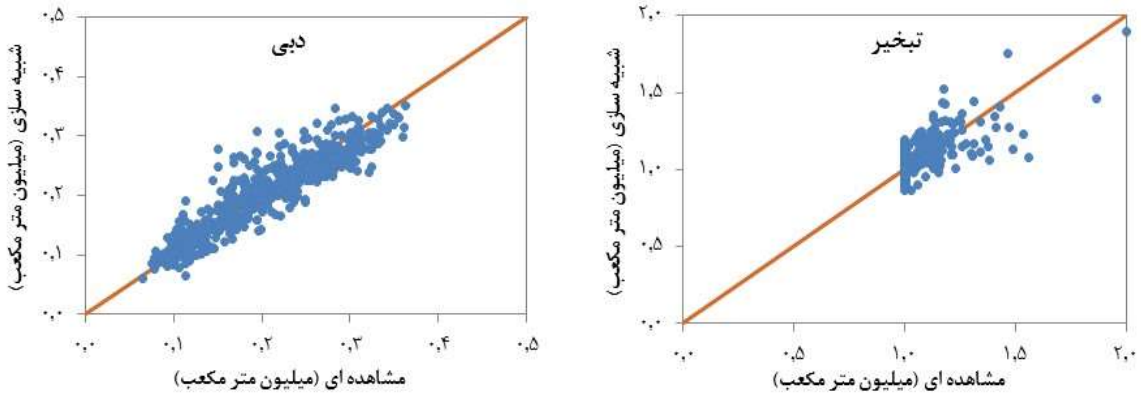
مدل	RMSE	SE	R2	AIC	مدل	RMSE	SE	R2	AIC
ARIMA(۱۱۰)(۱۱۰)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۲	-۱۴۳۸/۷۵	ARIMA(۱۱۰)(۰۰۱)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۲	-۱۵۰۳/۱۷
ARIMA(۱۱۰)(۱۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۰	-۱۵۳۳/۴۳	ARIMA(۰۱۱)(۱۰۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۵۹	-۱۵۶۶/۲۲
ARIMA(۰۱۱)(۰۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۰	-۱۵۳۷/۷۶	ARIMA(۰۱۰)(۱۰۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۰	-۱۵۶۰/۵۸
ARIMA(۰۱۰)(۰۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۱	-۱۵۳۲/۰۹	ARIMA(۱۰۰)(۱۱۰)	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۵۳	-۱۴۹۶/۸۴
ARIMA(۰۱۱)(۰۱۰)	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۴۶	-۱۳۷۰/۰۰	ARIMA(۱۰۱)(۱۱۰)	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۵۳	-۱۴۹۵/۷۰
ARIMA(۱۱۰)(۰۱۰)	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۴۶	-۱۳۶۷/۱۴	ARIMA(۱۰۰)(۱۱۱)	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۶۲	-۱۵۸۵/۸۳
ARIMA(۰۱۰)(۱۱۰)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۳	-۱۴۳۴/۲۱	ARIMA(۱۰۱)(۱۱۱)	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۶۲	-۱۵۸۴/۴۳
ARIMA(۰۱۱)(۱۱۰)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۲	-۱۴۴۳/۴۴	ARIMA(۰۰۱)(۰۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۵۵	-۱۵۴۰/۱۰
ARIMA(۱۱۰)(۰۱۱)	**۰/۰۷**	**۰/۰۷**	**۰/۶۰**	**-۱۵۲۴/۳۰**	ARIMA(۰۰۰)(۰۱۱)	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۳۴	-۱۴۱۸/۷۳
ARIMA(۰۱۱)(۱۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۰	-۱۵۳۵/۸۰	ARIMA(۰۰۱)(۰۱۰)	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۳۸	-۱۳۹۳/۱۰
ARIMA(۰۱۰)(۱۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۱	-۱۵۳۰/۸۵	ARIMA(۱۰۰)(۰۱۰)	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۴۵	-۱۴۲۴/۲۱
ARIMA(۱۱۰)(۱۰۰)	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۵۳	-۱۵۱۴/۸۶	ARIMA(۱۰۱)(۰۱۰)	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۴۶	-۱۴۲۴/۱۴
ARIMA(۱۱۰)(۱۰۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۶۰	-۱۵۶۳/۴۳	ARIMA(۰۰۰)(۱۱۰)	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۲۸	-۱۳۵۹/۸۴
ARIMA(۰۱۱)(۰۰۱)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۱	-۱۵۰۳/۴۹	ARIMA(۰۰۱)(۱۱۰)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۴۷	-۱۴۶۷/۸۸
ARIMA(۰۱۰)(۰۰۱)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۲	-۱۵۰۴/۷۰	ARIMA(۱۰۰)(۰۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۶۲	-۱۵۸۳/۵۴
ARIMA(۰۱۱)(۰۰۰)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۴۸	-۱۴۸۰/۳۶	ARIMA(۱۰۱)(۰۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۶۲	-۱۵۸۴/۱۲
ARIMA(۱۱۰)(۰۰۰)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۴۸	-۱۴۸۰/۳۲	ARIMA(۰۰۱)(۱۱۱)	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۵۶	-۱۵۴۰/۵۶
ARIMA(۰۱۰)(۱۰۰)	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۵۴	-۱۵۱۵/۵۵	ARIMA(۰۰۰)(۱۱۱)	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۳۴	-۱۴۱۶/۸۸

Archive of SID

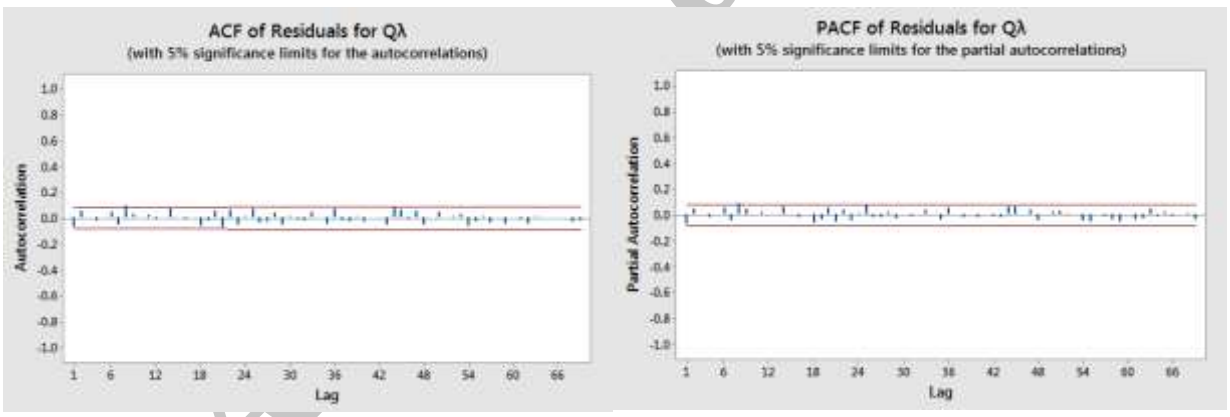
www.SID.ir

شکل (۱۱) داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل‌های مذکور را برای سری‌های دبی و تبخیر نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که داده‌ها تطابق قابل قبولی دارند. همچنین به منظور آزمون نکویی برازش مدل‌های انتخاب‌شده، نمودارهای ACF و PACF باقیمانده‌های مدل‌های انتخابی دبی و تبخیر ترسیم شدند که به عنوان نمونه نمودارهای ACF و PACF باقیمانده‌های مدل برازش داده‌شده بر سری زمانی دبی در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان گفت سری باقیمانده‌ها، مستقل و تصادفی می‌باشند و لذا مدل‌های انتخاب‌شده مناسب می‌باشند.

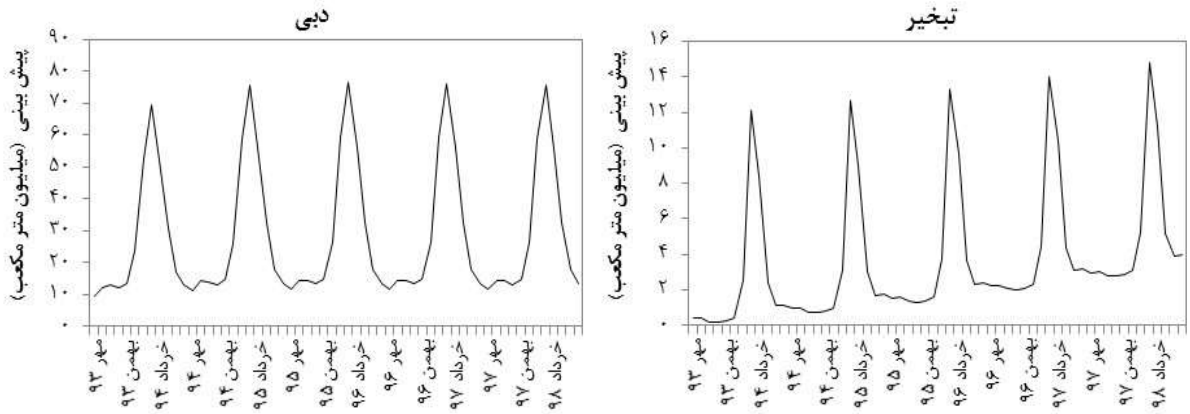
در این قسمت به کمک مدل‌های انتخاب‌شده مذکور دبی ورودی به مخزن و تبخیر از آن به‌صورت ماهانه برای ۵ سال از مهرماه ۹۳ تا شهریورماه ۹۸ مطابق شکل (۱۳) پیش‌بینی شد.



شکل ۱۱. مقایسه مقادیر مشاهداتی و برازش داده‌شده بر سری زمانی دبی ورودی و تبخیر خروجی از سد



شکل ۱۲. نمودارهای ACF و PACF باقیمانده‌های مدل ARIMA(۱۰۰)(۱۱۱) برازش داده‌شده بر سری زمانی دبی



شکل ۱۳. پیش‌بینی ۵ ساله دبی ورودی و تبخیر از مخزن سد امیرکبیر

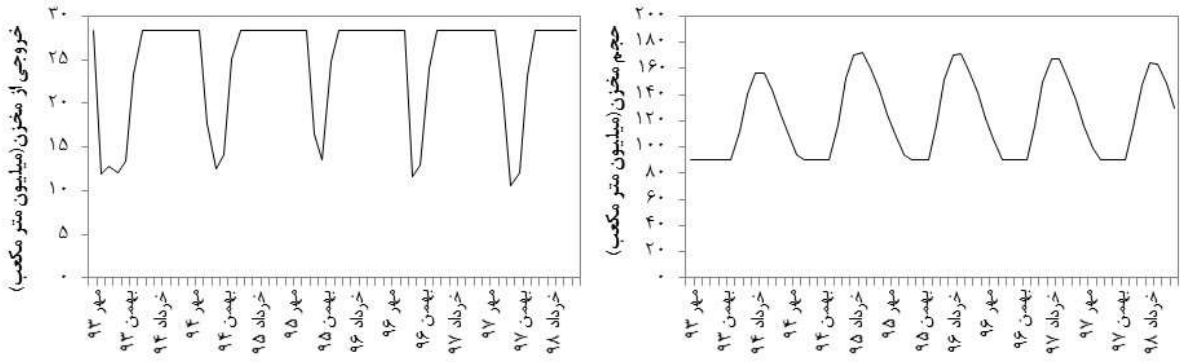
www.SID.ir

در این قسمت به‌منظور پیش‌بینی حجم و تراز سطح آب مخزن به‌صورت ماهانه و برای ۵ سال آبی، نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌های استوکاستیکی منتخب برای هرکدام از متغیرهای ورودی و تبخیر (از مهرماه ۹۳ تا شهریورماه ۹۸) وارد مدل بسط داده شده ونسیم شدند. به‌منظور پیش‌بینی نیازهای پایین‌دست نیز دو سناریو تعریف شد: ۱- نیازها مطابق با جدول تخصیص سازمان آب منطقه‌ای تهران در زمان ساخت سد (سالانه ۳۴۰ میلیون مترمکعب) و ۲- میزان نیاز مطابق با رهاسازی آب در سال آبی ۹۲ با در نظر گرفتن نرخ رشد جمعیت در هرسال.

سناریو اول

در این سناریو میزان تقاضای شرب، صنعت، کشاورزی و سایر مصارف برای پنج سال آینده بر اساس مقادیر موجود در جدول تخصیص سد (هدف از ساخت سد، رهاسازی سالانه ۳۴۰ میلیون مترمکعب) در نظر گرفته شد و پس از ورود آن‌ها به مدل بسط داده‌شده به روش پویایی سیستم، حجم و تراز سطح آب مخزن سد شبیه‌سازی شد. شکل (۱۴) نمودارهای پیش‌بینی تغییرات حجم مخزن و پیش‌بینی خروجی از مخزن سد را در این حالت نشان می‌دهد.

با توجه به میزان کل نیازهای پایین‌دست سدها (نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و سایر مصارف) و همچنین میزان تأمین این نیازها در هرسال، درصد مجموع کمبودهای سد امیرکبیر در هرسال آبی در این سناریو به شرح جدول (۳) محاسبه گردید.



شکل ۱۴. نمودار پیش‌بینی تغییرات حجم مخزن و خروجی از مخزن سد امیرکبیر (سناریو اول)

جدول ۳. درصد مجموع کمبودهای سد امیرکبیر در سناریو اول

سال/سد	سال آبی ۹۳	سال آبی ۹۴	سال آبی ۹۵	سال آبی ۹۶	سال آبی ۹۷
درصد کل کمبود	۲۰/۰۱	۱۲/۹۳	۸/۸۶	۱۰/۷۲	۱۳/۷۲

سناریو دوم

در این سناریو میزان تقاضای آب کشاورزی و صنعت و سایر مصارف برابر میزان مصرف آن‌ها در سال آبی ۹۲ در نظر گرفته شد و میزان تقاضای آب شرب با در نظر گرفتن نرخ رشد جمعیت در هرسال افزایش داده شد.

نمودارهای پیش‌بینی تغییرات حجم آب مخزن و خروجی از مخزن سد در شکل (۱۵) نشان داده‌شده است. همچنین جدول (۴) میزان کمبود ناشی از این رهاسازی را نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که به علت کاهش میزان نیاز در این سناریو نسبت به سناریوی قبلی، میزان کمبود سد امیرکبیر کاهش پیداکرده است به‌طوری‌که میزان کمبود سد امیرکبیر فقط در سال اول قابل‌ملاحظه است و در سال‌های دیگر میزان آن صفر است.

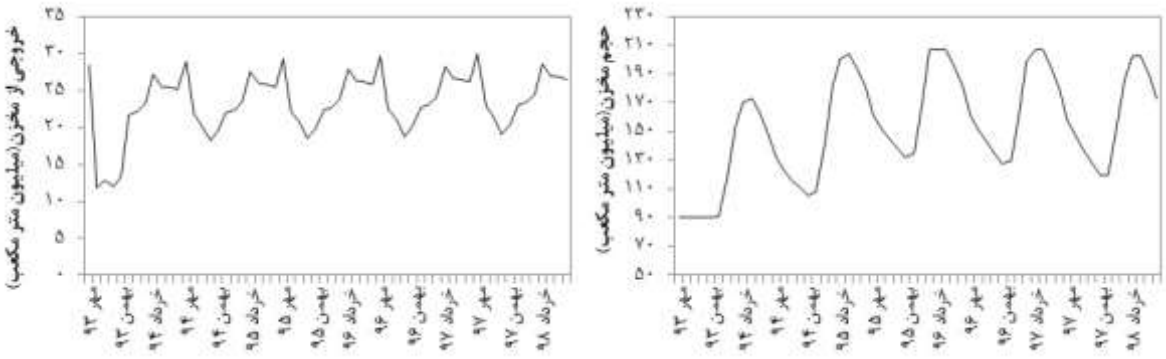
به جهت اتخاذ سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن سد سناریو دوم که به شرایط واقعی نزدیک‌تر می‌باشد مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۴. درصد مجموع کمبودهای سد امیرکبیر در سناریو دوم

سال/سد	سال آبی ۹۳	سال آبی ۹۴	سال آبی ۹۵	سال آبی ۹۶	سال آبی ۹۷
درصد کل کمبود	۱۰/۳۱	-	-	-	-

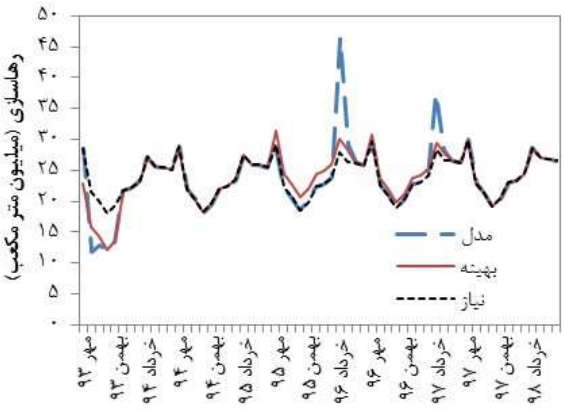
Archive of SID

www.SID.ir

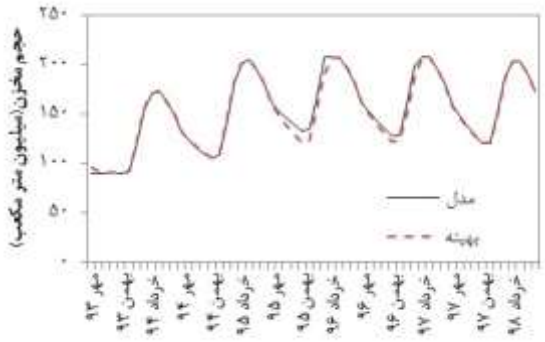


شکل ۱۵. نمودار پیش‌بینی تغییرات حجم مخزن و خروجی از مخزن سد امیرکبیر (سناریو دوم)

شکل (۱۶) مقادیر نیاز ماهانه، رهاسازی شبیه‌سازی‌شده بر اساس سناریوی دوم و رهاسازی بهینه به کمک مدل لینگو را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۱۷) مقادیر حجم آب پشت مخزن را برای دو حالت شبیه‌سازی و بهینه مقایسه می‌کند.



شکل ۱۶. مقایسه رهاسازی بهینه و رهاسازی مدل در سد امیرکبیر



شکل ۱۷. مقایسه حجم مخزن بهینه و حجم مخزن مدل سد امیرکبیر

همان‌طور که از نمودارهای فوق مشخص است مقادیر حجم مخزن و رهاسازی در مدل و مدل بهینه نزدیک به هم است با این تفاوت که مدل بهینه میزان سرریز سد را نیز بهینه نموده است. به این صورت که مدل بهینه به دلیل خسارتی که ممکن است در مقادیر بالای سرریز وجود داشته باشد، مقادیر سرریز را در ۱۰ ماه به مقدار مساوی تقسیم می‌نماید درحالی‌که این مقدار سرریز در حالت شبیه‌سازی طی ۲ ماه و به‌صورت غیرمساوی خارج می‌گردد. همچنین مقادیر کمبود نیز در حالات بهینه تعدیل‌شده است.

در این حالت، مدل بهینه مقادیر پارامترهای قوانین بهره‌برداری را در هرماه محاسبه می‌کند که به‌عنوان نمونه پارامترهای مربوط به یک سال در جدول (۵) ارائه‌شده است.

جدول ۵. مقادیر پارامترهای بهره‌برداری بهینه از مخزن سد امیرکبیر در سال آبی ۹۳

پارامترهای قوانین بهره‌برداری	a	b	c	d	e
۱	۰	۰	۰	۲/۲۴	۱/۲۳
۲	۰	۰	۰/۱۵	۰	۱/۰۷
۳	۰	۰	۰	۰	۱۴/۲۵
۴	۰	۰	۰/۱۲	۰	۱/۰۷
۵	۰	۰	۰/۱۴	۰	۱/۱۳
۶	۰	۰	۰/۲۳	۰	۱/۱۹
۷	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰/۱۹	۰	۰
۹	۰	۰	۰/۱۷	۰	۰/۸۹
۱۰	۰	۰	۰/۱۴	۰	۱/۱۹
۱۱	۰	۰	۰/۱۵	۰	۰
۱۲	۰	۰	۰/۱۵	۰	۱/۱۲

نتیجه‌گیری کلی

ازآنجاکه تحلیل سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی و پیش‌بینی آن‌ها موردتوجه بسیاری از محققین در چند دهه گذشته بوده است، پیش‌بینی از ابزارها و راهکارهای مؤثر به‌منظور برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای مدیریت منابع آب است. روش‌های سری زمانی یکی از مهم‌ترین روش‌های پیش‌بینی

Archive of SID
www.SID.ir

می‌باشند به همین دلیل در این تحقیق تمرکز بر روی مقایسه و ارزیابی روش‌های پیش‌بینی دبی ورودی و تبخیر از مخزن سد امیرکبیر در استان تهران با استفاده از سری‌های زمانی است. مراحل انجام تحقیق در ادامه به‌طور خلاصه بیان می‌شود.

ابتدا شبیه‌سازی مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل شبیه‌سازی بر پایه روش پویایی سیستم که در محیط ونسیم توسعه داده شد، صورت گرفت. پس از بسط مدل در محیط ونسیم و واردکردن داده‌های ورودی و خروجی، مدل مذکور برای دوره آماری ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۳ اجرا و دقت آن مورد ارزیابی قرار گرفت که ضرایب همبستگی (R2=۰/۹۹۸)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE= ۵ cm) و خطای نسبی (SE=۰/۰۲) محاسبه شد و نتایج نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی این مخزن بود.

سپس با استفاده از نرم‌افزار مینی تب، مدل مناسب جهت پیش‌بینی سری‌های زمانی دبی و تبخیر انتخاب گردید که با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری ارائه‌شده، مدل منتخب برای دبی ورودی به سد (۱۱۱)(۱۰۰) ARIMA و مدل مناسب جهت پیش‌بینی تبخیر از سد (۰۱۱)(۱۱۰) ARIMA انتخاب شد و با استفاده از این مدل‌ها دبی ورودی و تبخیر از مخزن برای سال‌های آبی ۹۳ تا ۹۷ پیش‌بینی و نتایج حاصل از آنها وارد مدل ونسیم شدند.

با استفاده از دو سناریو مختلف میزان نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و سایر مصارف برای سال‌های آبی ۹۳ تا ۹۷ در نظر گرفته شدند. سناریوهایی که در این مطالعه موردبررسی قرارگرفته‌اند شامل تغییر در مقادیر نیاز برنامه‌ریزی این سد بودند.

در سناریو اول میزان تقاضا بر اساس هدف سد (کل تقاضایی که هر سد بر اساس آن ساخته‌شده است) در نظر گرفته شد و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص گردید که در اثر این اتفاق به میزان قابل‌توجهی کمبود در سد امیرکبیر وجود خواهد داشت. در این سناریو بیش‌ترین کمبود مربوط به سال آبی ۹۳ به میزان ۶۸ میلیون مترمکعب و کمترین کمبود مربوط به سال آبی ۹۵ و به میزان ۳۰ میلیون مترمکعب هست.

در سناریو دوم میزان تقاضای آب کشاورزی و صنعت و سایر مصارف برابر میزان مصرف آن‌ها در سال آبی ۹۲ در نظر گرفته شد و میزان تقاضای آب شرب با در نظر گرفتن نرخ رشد جمعیت ۱/۰۱۶ درصدی در هرسال افزایش داده شد و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص گردید که در این صورت در ۵ سال آینده کمبود در تأمین آب این سد نسبت به سناریوی قبلی کاهش قابل‌توجهی خواهد داشت به این صورت که در این سناریو تنها در سال آبی ۹۳ و به میزان ۲۸ میلیون مترمکعب کمبود وجود خواهد داشت.

در این تحقیق مشخص شد که پس از ساخت مدل یک سد در نرم‌افزار ونسیم به‌سادگی می‌توان اثر سناریوهای مختلف را بر نحوه تخصیص منابع آب سد موردبررسی قرارداد.

نتایج نشان داد که کمترین میزان کمبودها در دو سناریو مربوط به سال آبی ۹۵ و بیش‌ترین آن مربوط به سال آبی ۹۳ خواهد بود.

در نهایت بهینه‌سازی مخزن سد امیرکبیر با در نظر گرفتن نیاز محاسبه‌شده در سناریو دوم که به شرایط واقعی نزدیک‌تر است، به کمک نرم‌افزار لینگو انجام گرفت. مقایسه نتایج بهینه‌سازی و نتایج مدل نشان داد که در شرایط بهینه‌سازی مقادیر کمبود و سرریزها طی تقسیم در ماه‌های مختلف، تعدیل‌شده و از خسارت‌های احتمالی جلوگیری می‌شود. به طور مثال در خرداد ماه سال ۹۶ میزان سرریز مدل ۱۹ MCM می‌باشد که در مدل بهینه این میزان سرریز طی تقسیم در ۱۰ ماه متوالی تعدیل شده و به میزان ۲ MCM رسیده است.

REFERENCES

Akiner M.E., and Akkoyunlu A. (2012). Modeling and Forecasting River Flow Rate from the Melen Watershed, Turkey, *Journal of Hydrology*, Volume 456, pages 121-129.

Azarafza, H., Rezaei, H., Behmanesh, J. and Besharat, S. (2012). Results Comparison of Employing SO, GA and SA Algorithms in Optimizing Reservoir Operation (Case Study: Shaharchai Dam, Urmia, Iran). *Journal of Water and Soil*, Volume. 26, Number 5, pages 1101-1108. (In Farsi)

Bagheri, A. and Hosseini,S.A. (2011). A system dynamics approach to assess water resources development scheme in the Mashad plain, Iran, versus sustainability. *ASCE Conference on the 4th International Perspective on Water Resources & the Environment*, 4-6 January, Singapore

Dabral P.P., Jhajharia D., Mishra P., Hangshing L. and Doley B.J. (2014), Time Series Modelling of Pan Evaporation: A Case Study in the Northeast India, *Global NEST Journal*, Vol.16, No.2, p. 280-292.

Dodangeh, S., Abedi Koupai, J. and Gohari, S.A. (2012). Application of Time Series Modeling to Investigate Future Climatic Parameters Trend for Water Resources Management Purposes. *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci*. Volume 16, Number 59. (In Farsi)

Ghahraman, B. and Sepaskhah, A.R. (2005). Reservoirs Operation Management. *Iran-Water*

Archive of SID
www.SID.ir

Resources Research. Volume 1, Number 2. (In Farsi)

Li, Y.P., Huang, G.H., and Nie, S.L. (2006). An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. *Advances in Water Resources*, 29, pages 776-789.

Madani, K. and Mariño,M.A. (2009). System Dynamics Analysis for Managing Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Water Resource Management*, Volume 23, Number 11, pages 2163–2187.

Moghaddasi, M., Morid, S. and Araghinejad, Sh. (2009). Optimization of Water Allocation during Water Scarcity Condition Using Non-Linear Programming, Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization (Case Study). *Iran-Water Resources Research*. Volume 4, Number 3. (In Farsi)

Rastegaripour, F., and Karbasi, A. (2015). The Role of Marketing Mixed Elements in Consumers, Satisfaction. Journal of agricultural economics research, Volume 6, Number 4, Pages 21-37. (In Farsi)

Razaghi, P., Babazadeh, H. and Shourian, M. (2014). Development of multi-purpose reservoir operation hedging rule in water resources shortage conditions using MODSIM8.1. Journal of Water and Soil Resources Conservation, Volume 3, Number 2. (In Farsi)

Shahbazbegian, M.R. Bagheri, A. (2010). Representing systemic strategies to cope with drought impacts using system dynamics modeling. Case study: Hamadan province, Iran. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens.*

Sánchez, R., Rodrigo, M., Folegatti, M., Orellana, G., Alba María Guadalupe, S. and Rogério T. (2009). Dynamic systems approach assess and manage water resources in river basins. *Scientia Agricola*. Volume 66, Number 4, pages 427-435.

Sheikh khozani, Z., Hosseiny, Kh. And Rahimian, M. (2010). System Dynamic Modeling of Multipurpose Reservoir Operation To Estimate The Optimal Height Of The Dam. *Journal of Modeling in Engineering.* Volume 8, Number 21. (In Farsi)

Simonovic, P. S. (2002). World Water Dynamics: Global Modeling of Water Resources. *Journal of Water Environmental Management*, Volume 66, pages 249-267.

Wu, X., Wei, X., and Guo, W. (2012). Multi-Objective Ecological Operation Model of Cascade Hydropower Reservoirs. International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE). Proceeding Engineering. 29: pages 3996-4001.

Yurekli, K.and BKurunc, A. (2005). Performances of Stochastic Approaches in Generating Low Streamflow Data for Drought Analysis. *Journal of Spatial Hydrology*, Volume 5, Number 1, pages 20-32.

Archive of SID

www.SID.ir