

تخصیص بهینه‌ی نظام‌های منابع آب با استفاده از سامانه‌ی پویا

محمد تقی اعلمی^۱، بهزاد آقابالایی^۲، محمدحسین احمدی^{۳*}، سعید فرزین^۴

چکیده

بهره‌برداری بهینه از نظام‌های منابع آب از یک سو، و رسالت حفظ، پاسداری و پیش‌بینی وضعیت آینده آن به منظور استفاده‌ی نسل‌های آینده از طرف دیگر، باعث گردیده است که در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های بهینه‌ی تخصیص منابع آب مورد تأکید قرار گیرد. علم پویایی سامانه‌ی از جمله ابزارهای مدیریتی نوین و آینده‌نگر است که توانایی وسیعی را در شبیه‌سازی و تحلیل سیاست‌های مختلف تصمیم‌گیری نظام‌های پیچیده‌ی منابع آب دارد. در این تحقیق، طرح بهره‌برداری و تخصیص بهینه‌ی منابع آب مخزن سد علویان واقع در حوضه آبخیز دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از شبیه‌سازی پویایی سامانه‌ها مطالعه و شبیه‌سازی شده‌است. بدین منظور، با استفاده از جمع‌آوری و پردازش اطلاعات لازم، شبیه‌مفهومی این سد تعریف شده است. پس از برآورد منابع آب ورودی و نیازهای آبی قابل تأمین، طرح‌های توسعه‌ی منابع آب پشت سد با استفاده از نرم افزار ونسیم در مقیاس ماهانه شبیه‌سازی و تخصیص شده‌اند. در ادامه، نحوه‌ی رفتار مخزن سد در مقابله با سناریوهای مختلف، شبیه‌سازی گردیده و مقادیر کمبود در تأمین نیازهای کشاورزی، زیست محیطی، صنعت و شرب حوضه آبخیز سد در هر نمایشنامه برآورد شده‌است. بر اساس یافته‌های این تحقیق مشخص گردید که شبیه‌سازی پویایی سامانه علاوه بر سادگی و دقت مناسب در طراحی، امکان وفق‌پذیری با شرایط و قیود متفاوت فرآیند تخصیص بهینه‌ی آب مخازن سدها را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، تخصیص بهینه، شبیه‌های پویایی سامانه، ونسیم، سد علویان.

^۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۲- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیضا، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بیضا، ایران

^۴- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*- نویسنده مسوول مقاله: Mohamadh.ahmadi@gmail.com

مقدمه

اقلیم خشک و نیمه خشک، سطح وسیعی از کشور ایران را با مساحتی برابر با ۱۶۵ میلیون هکتار، تحت پوشش قرار می‌دهد. افزایش بی‌رویه‌ی مصرف و منابع محدود آب، در آینده بسیار نزدیک کشور را با بحرانهای جدی مواجه می‌سازد. در این میان، برنامه ریزی و مدیریت منابع موجود به منظور دستیابی به مدیریت یکپارچه و توسعه‌ی پایدار منابع آب در سطح حوضه‌های آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از چنین برنامه‌ریزی‌هایی، تخصیص آب به کلیه‌ی بخشها با توجه به هماهنگیها و سیاست‌گذاریهای بلندمدت، و با استفاده از ابزارهای نوین مدیریت منابع آب می‌باشد.

تخصیص آب عبارت است از تعیین میزان آبی که از منابع عمومی آب (منابع سطحی و زیرزمینی)، به منظور تأمین نیازهای گوناگون در حوضه‌های آبخیز در نظر گرفته می‌شود. تعیین میزان آب اختصاصی به نیازهای حوضه‌های آبخیز، براساس اولویت و با توجه به محدودیتهای کیفی و امکان‌جایی تخصیص از یک مصرف به مصارف دیگر صورت می‌پذیرد. در این راستا نمونه و شبیه‌سازی سامانه‌های منابع آب که بتواند تمام عوامل مؤثر را لحاظ نموده، و تعامل درونی اجزاء آن را نمایان سازد، اقدامی کارآمد در تخصیص منابع آب می‌باشد (شلوتر و همکاران ۲۰۰۵).

امروزه رویکردهای جدید و توسعه‌ی ابزارهای نوین، بستر گسترده‌ای را برای تحلیل، برنامه ریزی و مدیریت سامانه‌های منابع آب فراهم آورده‌اند. از جمله می‌توان به رویکرد پویایی سامانه‌ها^۱ اشاره نمود. منظور از پویایی سامانه‌های این است که می‌توان آن را بر حسب مقادیر متغیر در طول زمان تعریف کرد. شبیه‌سازی پویا به ما این امکان را می‌دهد که رفتار یک سامانه، شبیه‌سازی کرده و پاسخ آن را به هر نوع تغییر در طی زمان مشاهده کنیم. در حقیقت، شبیه‌سازی پویا رویکردی جامع‌گرایانه است که با وجود ساده‌سازی در ارائه‌ی اجزای یک سامانه-ی پیچیده، نتایج نزدیک به واقعیت را به دست می‌دهد. دلیل این مساله استفاده از روابط و قوانین فیزیکی است که در طبیعت بر نظامها (سیستمها) حاکمند. نقطه‌ی قوت این روش در آن است که ضمن ایجاد مشارکت کاربران

هر شبیه در توسعه آن، سادگی و سرعت قابل توجهی را در تعریف سامانه و توسعه‌ی شبیه ایجاد می‌نماید. سادگی اصلاح شبیه در واکنش به تغییرات سامانه نیز از دیگر قابلیت‌های این روش است (آقابالایی ۱۳۹۰).

نرم افزار ونسیم نیز یک ابزار شبیه‌ساز قدرتمند برای نمونه‌سازی، شبیه‌سازی، آزمون شبیه و تحلیل سیاست‌های پیچیده نظام‌های منابع آب است. این نرم‌افزار نوعی ابزار شبیه‌سازی تصویری می‌باشد که به گونه‌ای ساده و انعطاف پذیر امکان ساختن نمونه‌های مختلف را فراهم می‌نماید. بنا به اهمیت موضوع، در سالهای اخیر استفاده از تحلیل پویایی سامانه‌ها در برنامه‌ریزی حوضه‌های آبخیز و تخصیص آب مورد توجه پژوهشگران نقاط مختلف دنیا قرار گرفته است. اولین شبیه‌سازی برای سامانه‌ی مخازن آبی به وسیله‌ی مهندسين ارتش آمریکا در سال ۱۹۵۳ جهت مطالعات بهره‌برداری از شش مخزن در مورد رود میسوری صورت گرفت. گریگ و همکاران اولین شبیه پویایی سامانه‌ی مدیریت آب شهری را توسعه دادند (گریگ ۱۹۶۱ و ۱۹۷۵). سیمونویچ و فهمی (۱۹۹۷) شبیه جهانی آب را ارائه دادند. این شبیه تراز آب را در مقیاس جهانی در پنج بخش صنعت، جمعیت، کشاورزی، منابع تجدید ناپذیر و آلودگی تحلیل می‌نماید.

هورتا و همکاران (۲۰۰۱) از روش تحلیل پویایی سامانه‌ی در مدیریت یک حوضه‌ی آبخیز در مکزیک استفاده کردند. شبیه تهیه شده ابزار توانمندی در حل اختلافات بین پنج استان و ادارات آب ملی بر سر توزیع آب سطحی بوده است. ژو و همکاران (۲۰۰۱) به منظور مطالعه تأثیر سیاست‌های دولت چین در مورد کیفیت آب دریاچه‌ی اراهی از روش پویایی سامانه استفاده کردند. این شبیه سامانه‌ی جامعی از مؤلفه‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی دریاچه را تهیه، و اثرات برنامه‌های مدیریتی را بررسی می‌کند. استیو (۲۰۰۳) شبیه‌ی را مبتنی بر پویایی سامانه به منظور حل معضل کمبود آب برای شهر لاس-وگاس ارائه نمود. در این شبیه روشهای مختلف مدیریت تقاضا از دید مردم مطالعه گردیده و نتایج و اثرات آنها بر کاهش شکاف بین تأمین و تقاضا بررسی شده است. چن و لیا (۲۰۰۵) پژوهشی را تحت عنوان "توسعه‌ی انگاره سامانه‌ی برنامه‌ریزی پویا به منظور مدیریت پایدار در

^۱ SDM (System Dynamic Methodology)

تأمین به وسیله آنها، طرحهای توسعه‌ی منابع آب با رویکرد پویایی سامانه‌ها شبیه‌سازی می‌گردد. در ادامه، نمایشنامه‌های محتمل در سطح حوضه‌ی آبخیز مورد بررسی و تحلیل می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

با توجه به پیچیدگی در سامانه‌ی منابع آب سدها و وجود بازخورد در اجزای سامانه، در این تحقیق از رویکرد پویایی سامانه‌ها استفاده شده است. سطح فرآیند برنامه‌ریزی مورد نظر این مطالعه در محدوده‌ی سد علویان می‌باشد. ابتدا اطلاعات آبدهی در محل سد و سایر اطلاعات لازم مربوط به محدوده‌ی مورد مطالعه جمع‌آوری می‌شوند. سپس نیازهای آبی که شامل کشاورزی، شرب، صنعت و زیست محیطی می‌باشند، محاسبه می‌گردند. در گام بعدی، اطلاعات به عنوان ورودی جهت انجام شبیه‌سازی در محیط نرم افزار ونسیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، و سپس ساختار شبیه در نرم افزار مذکور تعیین شده و حلقه‌های علی- معلولی ترسیم می‌شوند. پس از صحت سنجی برنامه‌ی ساخته شده، شبیه‌سازی برای یک دوره‌ی ۵۰ ساله (سالهای ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۹) انجام گرفته و نحوه‌ی تخصیص منابع آب مخزن این سد با رویکرد پویایی سامانه و برای نمایشنامه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

سد علویان در حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌ی ارومیه، بر روی رود صوفی چای در ۳/۵ کیلومتری شمال غربی شهر مراغه در استان آذربایجان شرقی احداث شده است. مساحت این حوضه ۹۱۴/۳ کیلومتر مربع بوده و از اهداف اصلی احداث سد مزبور تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در محدوده‌ی شهرستان مراغه و بناب با وسعتی برابر با ۱۲۰۰ هکتار، تأمین بخشی از آب شرب شهرستان مراغه، تأمین آب مورد نیاز صنایع منطقه و همچنین مهار کردن سیلاب رود صوفی چای است. این سد از نوع خاکی با هسته‌ی رسی مرکزی بوده و ارتفاع آن از پی ۷۶ متر می‌باشد. موقعیت حوضه آبخیز و مشخصات سد علویان در شکل (۱) ارائه شده اند.

سطح حوضه‌های آبخیز رودها" انجام دادند، که در آن کار هدف تعیین نحوه‌ی ایجاد مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب در سطح حوضه‌های آبخیز بود. ژی (۲۰۱۱) شبیه‌سازی سامانه‌های پویا را برای برآورد تقاضای آب شهری در یک منطقه‌ی شهر نشین در شرایطی مبهم از نظر اقتصادی مورد ارزیابی قرار داد. مؤمنی و همکاران (۱۳۸۵) نیز شبیه‌ی از حوضه‌ی آبخیز زاینده رود شامل حوضه‌ی رود، مخزن سد، دشته‌ها، شبکه‌های آبیاری و آبهای زیرزمینی، به روش پویایی سامانه ایجاد کردند. نتایج حاکی از آن بود که با بهره‌برداری مناسب از مخزن سد زاینده رود، و تخصیص دقیقتر آب سطحی، می‌توان علاوه بر تأمین نیاز آب کشاورزی از افت سطح آب زیرزمینی حوضه نیز جلوگیری کرد. گلیان و همکاران (۱۳۸۶) سیاستهای توسعه‌ی منابع آب در سطح حوضه‌ی آبخیز رود آجی‌چای در حوضه‌ی آبخیز دریاچه ارومیه و اثرات آن را بر تراز آب دریاچه بررسی کردند. برای این منظور پس از ساخت شبیه دو نمایشنامه‌ی مختلف شامل احداث سد شهید مدنی و دیگری کاهش نیاز آبی در هر هکتار مورد بررسی قرار گرفت. افشار و اخوان حجازی (۱۳۸۷) از رویکرد پویایی نظامهای‌ها در طراحی و بهره‌برداری سامانه‌ها ذخیره‌ی دوره ای استفاده نموده و نشان دادند که از این رویکرد نه تنها در تنظیم فرآیند بهره‌برداری، بلکه در طراحی سامانه نیز می‌توان استفاده نمود. اعلمی و همکاران (۱۳۹۱) سیاستهای بهره‌برداری و تخصیص آب سد مخزنی ایثار اهر در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از علم پویایی سامانه مطالعه نمودند. در این راستا، با استفاده از نرم افزار ونسیم شبیه‌ی جامع از حوضه‌ی آبخیز، تهیه شده و جهت اجرای شبیه دو نمایشنامه تعریف گردیده است. سپس عملکرد حوضه آبخیز به لحاظ تأمین نیازهای مختلف در شرایط مختلف را کم آبی، و پرابی برای دو سناریو تعیین نمودند.

در این پژوهش سامانه‌ی منابع آب سد علویان به عنوان زیر مجموعه‌ای از حوضه آبخیز دریاچه‌ی ارومیه با در نظر گرفتن رویکرد پویایی سامانه‌ها، و با استفاده از نرم افزار ونسیم، شبیه‌سازی و تحلیل می‌گردد. به این ترتیب که ابتدا شبیه مفهومی سد علویان تهیه گردیده، و پس از برآورد منابع آب ورودی به حوضه و نیازهای آبی قابل

ایستگاه اندازه‌گیری داده مورد نظر طی سالهای مختلف، تغییر اقلیم و ... منجر به غیرهمگنی داده‌ها شود، بنابراین، ابتدا همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت آزمون همگنی داده‌ها دو روش نموداری و غیر نموداری وجود دارند. چون در روش نموداری داده‌های چند ایستگاه مجاور نیز لازم می‌باشد در این جا برای آزمون همگنی از روش غیر نموداری استفاده می‌شود. روش غیر نموداری که برای این منظور به کار برده می‌شود آزمون همگنی ران تست^۱ می‌باشد. مطابق این روش، ابتدا داده‌ها بر طبق سال وقوع ردیف شده و میانگین یا میانهای آنها محاسبه می‌گردد. پس از مشخص کردن داده‌های بیشتر و کمتر از میانگین یا میان، و محاسبه‌ی مجموع هر گروه و استفاده از جدول، همگنی یا غیرهمگنی داده‌ها مشخص می‌شود (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۸).

ب) آزمون روند داده‌ها (آزمون نقاط عطف)

توسعه‌ی برداشتها از منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه‌های آبخیز، طی سالهای مختلف اثر خود را بر آبدهی ثبت شده در ایستگاه‌های آبدهی می‌گذارد. همچنین، در شبیه‌سازی طرح‌های توسعه‌ی منابع آب فرض بر این است که نوع آبدهی رود ایستگاه‌های آبدهی در سالهای آتی مشابه سالهای گذشته می‌باشد، لذا ضروری است ابتدا اثر برداشتها بالادست بر منابع آب ثبت شده در ایستگاه‌های آبدهی، که موجب کاهش آبدهی رود در موقعیت ایستگاه آبدهی در سالهای آتی می‌گردد، حذف، و پس از آن شبیه‌سازی برای طرح‌های توسعه‌ی منابع آب انجام گیرد. با توجه به این موضوع، و به منظور بررسی وجود یا عدم روند^۲ در داده‌ها، آزمون نقاط عطف صورت می‌پذیرد.

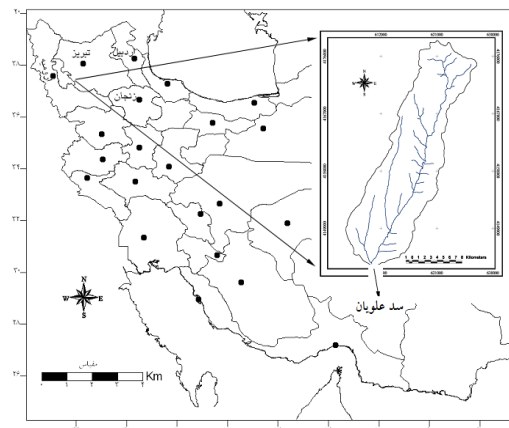
ج) حذف روند داده‌ها

پس از آزمون نقاط عطف و در صورت وجود روند در داده‌ها، لازم است که روند حذف گردد. حذف روند داده‌ها دارای مراحل ذیل می‌باشد:

۱- ترسیم گروه داده‌های دراز مدت آبدهی ثبت شده در

جدول (۱) مشخصات مخزن سد علویان

حجم مفید مخزن	۵۷ میلیون مترمکعب
حجم مرده مخزن	۳ میلیون مترمکعب
حجم قابل تنظیم	۱۴۵ میلیون مترمکعب
طول دریاچه	۳/۵ کیلومتر
مساحت عادی دریاچه	۲۶۲ هکتار
بدهی سالانه رود	۴/۶ مترمکعب بر ثانیه
طول تاج سد	۱۰ متر
ارتفاع آن از پی	۷۶ متر



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز و سد علویان

داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی سامانه‌ی منابع

آب سد علویان

گروه بلند مدت آبدهی ماهانه ورودی به مخزن سد

به منظور تحلیل رفتاری سد علویان، گروه دراز مدت آبدهی ماهانه‌ی ورودی به مخزن این سد مورد نیاز می‌باشد. لذا آمار بدهی رود صوفی چای در محل سد علویان مربوط به سالهای ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۹ از طریق سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، و طی یک گزارش آبشناسی مربوط به این سد، دریافت گردیده است. به منظور استفاده از این گروه زمانی در شبیه، بایستی یک گروه تحلیلهای آماری در مورد آن انجام گیرد.

الف) آزمون همگنی داده‌ها

بطور کلی، منظور از همگنی داده‌ها، یعنی همه داده‌ها از جامعه‌ی واحدی اخذ شده باشند. ممکن است عواملی مانند تغییرات در چگونگی آماربرداری، جابجایی محل

¹ Run Test

² Trend

مونتانا^۱ استفاده می‌گردد. برطبق این روش، پس از محاسبه‌ی متوسط آبدهی ورودی مخزن سد برای ماههای سال در طول دوره‌ی آبدهی، درصدی که برای ۶ ماهه‌ی اول و دوم سال متفاوت است به عنوان نیاز زیست محیطی سد در شبیه لحاظ می‌شود. برای سد علویان ۳۰ درصد آبدهی در شش ماهه‌ی اول سال و ۱۰ درصد آبدهی برای ۶ ماهه دوم به عنوان نیاز زیست محیطی لحاظ می‌شود.

شبیه‌سازی در محیط VENSIM

کلیدی‌ترین نکته در هر طرح شبیه‌سازی تعیین ساختار سامانه شامل نوع رابطه بین متغیرها، حلقه‌های بازگشتی و ساختارهای نمونه سامانه می‌باشد. به این ترتیب مشاهده‌ی رفتار یک سامانه براساس یک طرح از پیش برنامه‌ریزی شده امکان پذیر می‌گردد. به علاوه، رفتار آینده‌ی سامانه از روی شبیه طراحی شده قابل پیش‌بینی خواهد شد.

اولین گام در این مرحله، تعریف صحیح شبیه مفهومی منطقه‌ی مورد نظر است. بدین منظور، با تهیه‌ی شبکه‌ی جریان رودهای حوضه‌ی آبخیزسد علویان، و تعیین موقعیت طرحها نسبت به یکدیگر، طرحهای توسعه‌ی منابع آب در سرشاخه‌ها شبیه سازی شده و به تدریج کلیه‌ی طرحهای واقع در پایین دست آن حوضه به شبیه اضافه گردیده، و به این ترتیب شبیه‌ی جامع با نگرشی نظامی از حوضه‌ی آبخیز سد ساخته می‌شود. مقادیر منابع و مصارف در حوضه‌ی سد در مقیاس زمانی ماهانه به شبیه وارد گردیده و عملکرد سد به لحاظ درصد تأمین نیازهای بخشهای مختلف مصرف به عنوان خروجی نرم افزار ونسیم به دست می‌آید.

نمایشنامه‌های قابل اجرا به وسیله شبیه سد

نمایشنامه‌های مختلفی را می‌توان پس از ساخت شبیه سد مورد بررسی قرار داد. از میان این نمایشنامه‌ها، دو نمایشنامه پس از مطالعات صورت گرفته و مشورت با صاحب‌نظران مختلف برای سد علویان انتخاب شده‌اند.

محیط اکسل، ترسیم خط روند، و مشخص نمودن رابطه‌ی آن.

۲- استفاده از شیب خط روند (یا ضریب متغیر X) با علامت مخالف و ضرب آن در شماره‌ی سال آبی و جمع آن با آبدهی اتفاق افتاده در همان سال.

۳- میزان اختلاف آبدهی طبیعی شده در آخرین سال آبی با آبدهی سالانه (فعلی) محاسبه می‌شود. تفاوت این دو عدد نشان دهنده‌ی میزان برداشت از منابع آب سطحی رود می‌باشد.

۴- کم کردن میزان برداشت محاسبه شده در مرحله‌ی قبل، از آبدهی سالانه‌ی طبیعی شده، به منظور محاسبه گروه دراز مدت آبدهی در موقعیت ایستگاه پس از حذف برداشتهای بالا دست.

برآورد نیاز آبی در بخشهای مختلف مصرف

در این مرحله، پس از ایجاد بانک اطلاعاتی مقتضی در محیط GIS، نسبت به برآورد دقیق نیازهای آبی منطقه اقدام می‌گردد. بطور کلی نیازهای آبی در چهار بخش کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت، و همچنین زیست محیطی، طبقه‌بندی می‌شوند. برای تخمین نیازهای هر بخش بر اساس روشهای معیار مربوطه اقدام شده‌است.

نیاز کشاورزی

در بخش کشاورزی با استفاده از الگوی پیشنهادی کشاورزی، نیاز خالص هر منطقه در سند ملی آب، مساحت اراضی و بازده‌ی آبیاری تحت فشار، نیاز حوضه‌ی آبخیز سد علویان برآورد می‌گردد.

نیاز شرب و صنعت

پس از نیاز کشاورزی، نیازهای شرب و صنعت مورد مطالعه قرار گرفته و مقادیر ماهانه این نیازها برای سد علویان محاسبه می‌شوند.

نیاز زیست محیطی

هر سد پس از تخصیص نیاز بهره‌برداران، بایستی نیاز زیست محیطی پایین دست خود را نیز برطرف سازد. جهت برآورد کمی نیاز زیست محیطی سد علویان از روش

^۱ Montana Method

در این نمایشنامه فرض بر این می‌باشد که در ۱۰ سال آینده نیازهای شرب و صنعت به میزان ۱۰ درصد، و نیاز کشاورزی به میزان ۲۰ درصد، افزایش می‌یابند.

نتایج و بحث

قبل از آن که به تجزیه و تحلیل داده‌ها و استفاده از آنها در شبیه اقدام شود، لازم است که از کیفیت آنها، و کامل بودن گروه آماری اطمینان حاصل گردد. در این راستا، آمار و اطلاعات ایستگاههای آبسنجی موجود در منطقه مورد بررسی، تدقیق و بازسازی قرار گرفتند. در ابتدا آزمون همگنی داده‌ها صورت پذیرفت که نتایج در جدول (۲) ارائه شده اند.

جدول (۲): نتایج آزمون همگنی داده‌ها با کاربرد روش Run Test

فراسنج	U مجاز	U محاسبه شده	Nb		Na	
سال	۶۵-۸۹	۴۰-۶۴	۶۵-۸۹	۴۰-۶۴	۶۵-۸۹	۴۰-۶۴
فروردین	$8 < U < 19$	۱۴	۱۲	۱۳	۱۲	۱۳
تیر	$7 < U < 18$	۸	۱۶	۱۴	۱۱	۹
مهر	$8 < U < 19$	۱۲	۱۳	۱۶	۹	۱۲
دی	$7 < U < 18$	۱۳	۱۰	۱۳	۱۲	۱۵

این جدول، مشاهده می‌شود که داده‌های آبدی مربوط به ماههای مرداد، شهریور، آبان، آذر، دی دارای روند بوده و بایستی این داده‌ها اصلاح شوند.

نمایشنامه‌ی اول: تأثیر کاهش حجم آب ورودی به مخزن سد در ۱۰ سال آینده

در صورتی که بر اثر خشکسالی، احداث یک سد در بالا دست سد علویان و یا هر علت دیگر، میزان حجم آب ورودی به مخزن سد طی ۱۰ سال آینده به میزان ۲۰٪ کاهش داشته باشد، تأثیر آن بر نحوه‌ی تخصیص منابع آب سد بررسی می‌شود.

نمایشنامه‌ی دوم: تغییر در اولویت و یا مقادیر نیازهای برنامه‌ریزی سد

از آن جا که ممکن است در سالهای آینده به جهت رشد جمعیت و ایجاد مراکز صنعتی جدید در محدوده‌ی مورد مطالعه، نیازهای شرب و صنعت و کشاورزی افزایش یابند،

به منظور حذف اثر برداشتهای بالادست بر منابع آب ثبت شده در ایستگاههای آبسنجی، و همچنین بررسی وجود روند در داده‌ها، آزمون نقاط عطف انجام گرفته است، که نتایج مطابق جدول (۳) می‌باشند. با توجه به مقادیر Z در

جدول (۳): نتایج آزمون نقاط عطف برای ماههای مختلف سال

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
تعداد نقاط عطف مثبت	۱۴	۱۶	۱۸	۱۳	۱۲	۱۳	۱۴	۱۳	۱۰	۱۱	۱۴	۱۵
تعداد نقاط عطف منفی	۱۴	۱۶	۱۷	۱۴	۱۲	۱۲	۱۵	۱۲	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵
P	۲۸	۳۲	۳۵	۲۷	۲۴	۲۵	۲۹	۲۵	۲۱	۲۴	۲۸	۳۰
N	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
E(P)	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
Var(P)	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۵۷
Z	-۱/۳۷	۰	۱/۰۲	-۱/۷	-۲/۷	-۲/۴	-۱	-۲/۴	-۳/۸	-۲/۷	-۱/۳	-۰/۷

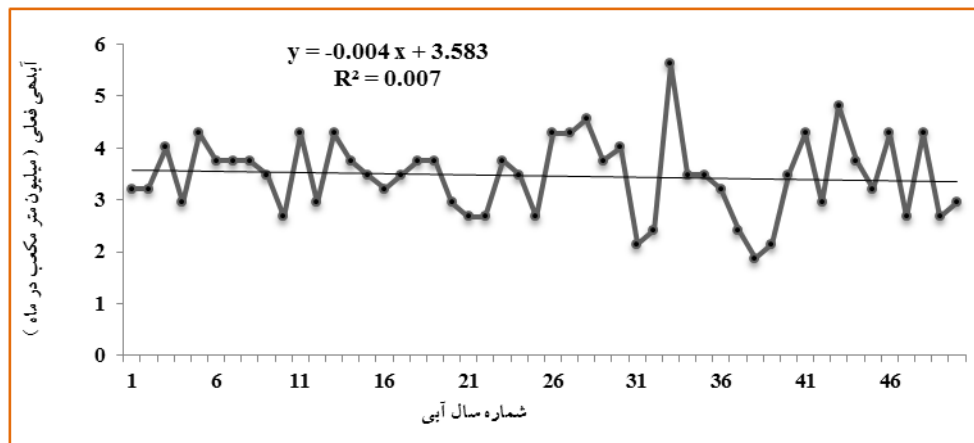
زمانی ماه مرداد و خط روند در شکل (۲) نشان داده شده- اند.

در ادامه، اختلاف آبدی طبیعی شده در آخرین سال آبی با آبدی فعلی محاسبه گردیده که برای مرداد در

اولین گام در فرآیند حذف روند داده‌ها، ترسیم گروه زمانی داده‌های دراز مدت آبدی، ترسیم خط روند، و مشخص نمودن رابطه‌ی آن می‌باشد. برای نمونه، مراحل حذف روند از داده‌های مرداد آورده شده است. نمودار گروه

پس از حذف برداشتهای بالا دست، میزان برداشت محاسبه شده (۰/۲ میلیون متر مکعب) از آبدهی، سالانه‌ی طبیعی شده کسر می‌گردد. نتایج برای ماههای مختلف در جدول (۴) ارائه شده اند.

آخرین سال دوره آماری این اعداد به ترتیب ۳/۱۴ و ۲/۹۴ میلیون متر مکعب می‌باشد، بنابراین، میزان برداشت از منابع آب سطحی رود برابر با ۰/۲ میلیون، متر مکعب است. همچنین، به منظور محاسبه گروه دراز مدت آبدهی



شکل (۲) نمودار گروه زمانی مرداد و خط روند

جدول (۴): نتایج آزمون نقاط عطف پس از حذف روند ماهها

دی	آذر	آبان	شهریور	مرداد	ماه
۱۵	۱۲	۱۵	۱۵	۱۵	تعداد نقاط عطف مثبت
۱۵	۱۲	۱۴	۱۶	۱۵	تعداد نقاط عطف منفی
۳۰	۲۴	۲۹	۳۱	۳۰	P
۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	N
۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	E(P)
۸/۵۶۷	۸/۵۶۷	۸/۵۶۷	۸/۵۶۷	۸/۵۶۷	Var(P)
-۰/۶۸۳	-۱/۷۳۳	-۱/۰۲۵	-۰/۳۴۲	-۰/۶۸۳	Z

مقادیر نیاز آب زیست محیطی سد علویان در ماههای مختلف سال نیز محاسبه شده و در جدول (۶) نشان داده شده اند. در برآورد نیاز زیست محیطی با کاربرد روش مونتانا، شرایط کیفیت حیات آبریزان در حد قابل قبول لحاظ شده است.

برآورد توزیع ماهانه‌ی نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و محیط زیست سد علویان هدف از ساختن سد علویان تأمین نیازهای شرب و صنعت و کشاورزی است که محاسبه گردیده و به عنوان نیازهای برنامه‌ریزی، در گزارشهای طراحی آورده شده اند. نیازهای فوق در جدول (۵) ارائه گردیده اند.

جدول (۵): نیازهای ماهانه شرب، صنعت، کشاورزی (میلیون متر مکعب)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
کشاورزی	1.24	2.02	2.41	0.63	0.47	1.64	5.83	21.60	29.5	14.33	12.09	9.24
شرب	1.08	1.07	1.10	1.08	1.06	1.15	1.20	1.40	1.44	1.22	1.20	1.40
صنعت	0.53	0.76	0.78	0.84	0.68	0.84	0.65	0.56	0.63	0.58	0.43	0.72

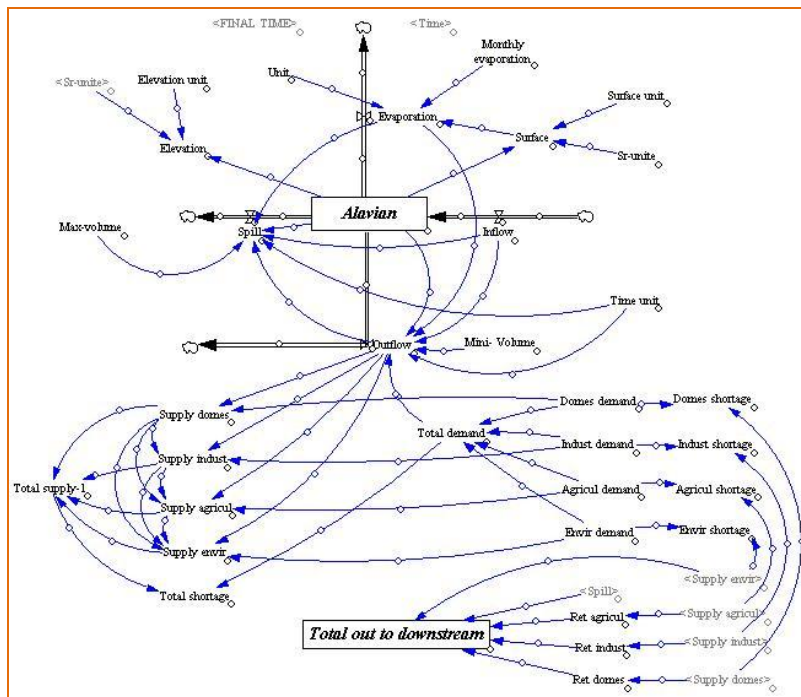
جدول (۶): مقادیر نیاز زیست محیطی سد علویان در ماه‌های مختلف سال (میلیون متر مکعب)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
آبدهی کل	187.57	239.90	218.10	203.24	201.67	315.63	1455.54	2107.33	1544.55	602.28	168.37	144.12
آبدهی متوسط سالانه	3.75	4.80	4.36	4.06	4.03	6.31	29.11	42.15	30.89	12.05	3.37	2.88
نیاز زیست محیطی	0.37	0.48	0.44	0.40	0.40	0.63	8.73	12.64	9.26	3.61	1.01	0.86

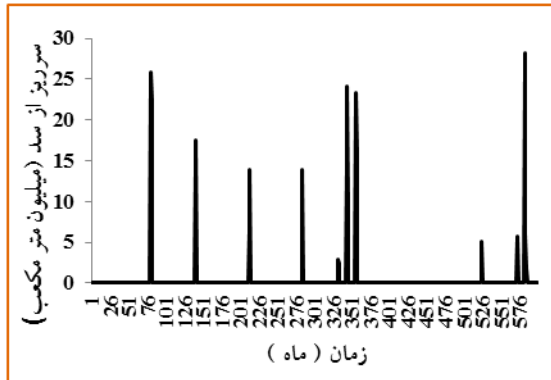
نمودارهای ذخیره جریان

در پویاشناسی سامانه‌ها، ساختار سامانه متشکل است از نمودار علی معلولی و نمودار ذخیره و جریان است. متغیر ذخیره همان متغیر سطح یا حالت می‌باشد که وضعیت یکی از متغیرهای سامانه را به صورت تجمعی در طول

زمان نشان می‌دهد. متغیر جریان نیز نشان می‌دهد که در واحد زمان متغیر ذخیره چگونه تغییر می‌کند. در شکل (۳) پیکر بندی شبیه سد علویان در نرم افزار ونسیم نشان داده شده‌است که در آن حلقه‌های علی و معلولی به نمودارهای ذخیره و جریان تبدیل شده‌اند.

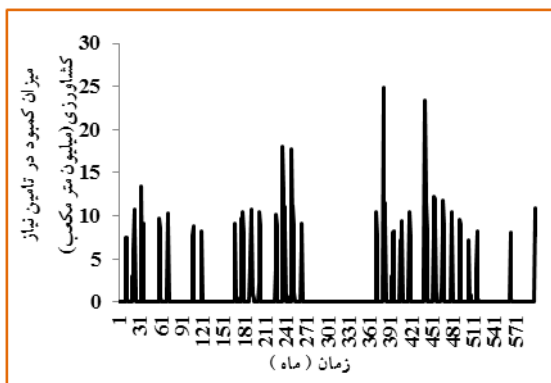


شکل (۳): ساختار شبیه سازی سد علویان در محیط VENSIM.

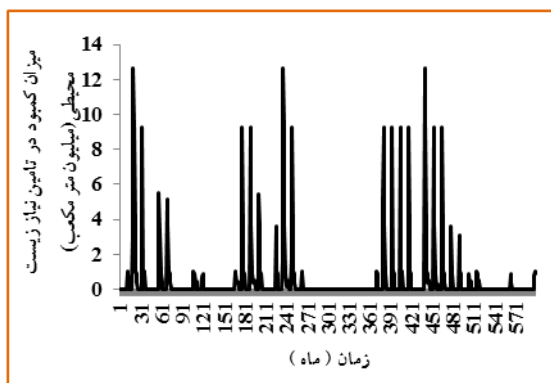


شکل (۵): میزان سر ریز از سد.

با توجه به اولویت تأمین نیازهای صنعت، شرب، کشاورزی و محیط زیست هیچ کمبودی در تأمین نیازهای شرب و صنعتی در طول دوره شبیه‌سازی اتفاق نمی‌افتد، اما کمبود در تأمین نیازهای کشاورزی و محیط زیستی مشاهده می‌گردد. مقادیر محاسبه شده این کمبودها در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند.



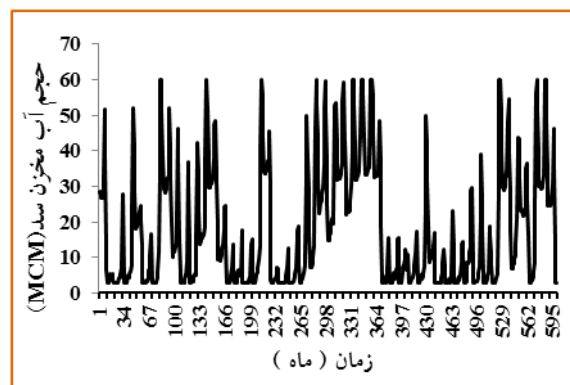
شکل (۶): مقادیر کمبود در تأمین نیاز کشاورزی.



شکل (۷): مقادیر کمبود در تأمین نیاز زیست محیطی.

۳-۳ اجرای شبیه و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل

به منظور صحت سنجی شبیه از آزمون‌های ساختار شبیه (هماهنگی شبیه با سامانه‌ی واقعی منابع و ذخایر سد) و آزمون شرایط حدی استفاده شده است. در آزمون شرایط حدی با تغییر ورودیها و صفر کردن آنها می‌توان صحت شبیه را سنجید. برای نمونه، با صفر قرار دادن خروجی سد مشاهده می‌شود که تغذیه منابع زیرزمینی نیز کاهش یافته و به صفر میل می‌کند. بعد از صحت سنجی شبیه نوبت به واسنجی یا آن می‌رسد. به منظور واسنجی باید خروجی شبیه را با داده‌های صحرائی و مشاهداتی مقایسه کرد. بدین منظور، از متغیر تراز آب زیرزمینی برای واسنجی استفاده گردید، و برای ارزیابی عملکرد شبیه دو معیار جذر میانگین مربعات خطا^۱ و ضریب تبیین (R^2) به کار برده شدند. مقدار R^2 برابر با ۰/۸۹ و RMSE برابر با ۰/۴۵ به دست آمده است. پس از جمع آوری و بازسازی داده‌های مورد نیاز، صحت‌سنجی و واسنجی، و همچنین ایجاد شبیه سد علویان در نرم افزار ونسیم، عملکرد شبیه و رفتار هر یک از متغیرهای حجم آب مخزن و میزان سر ریز از سد در طول دوره‌ی شبیه سازی (۱۳۸۹-۱۳۳۹) در مقیاس ماهانه، بررسی می‌گردد. نتایج حاصله به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) آورده شده‌اند.



شکل (۴): شبیه‌سازی تغییرات حجم آب پشت سد.

^۱ RMSE

جدول (۸): محدوده‌ی قابل قبول تأمین نیاز بخش‌های مختلف مصرف.

نوع نیاز	کشاورزی	صنعت	نیاز شرب	محیط زیست
درصد تأمین	۸۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰-۹۵	۹۰-۱۰۰

بررسی نمایشنامه‌های محتمل

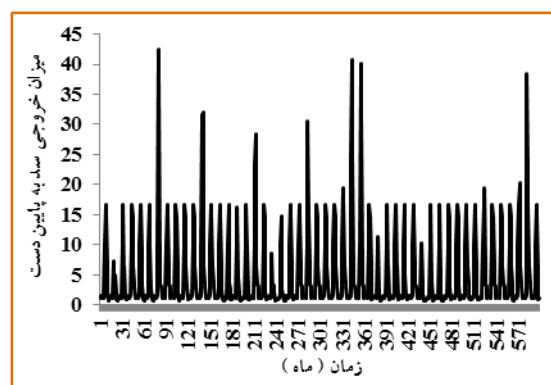
در ادامه با استفاده از شبیه تهیه شده سد با استفاده از نرم افزار VENSIM، دو نمایشنامه‌ی محتمل در سطح حوضه-ی آبخیز شبیه سازی شده، و عملکرد سد به لحاظ تأمین نیازهای کشاورزی، زیست محیطی، صنعت و شرب حوضه‌ی آبخیز در هر نمایشنامه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

با توجه به نمایشنامه‌ی اول در صورتی که حجم آب ورودی به مخزن سد برای ۱۰ سال آینده، یعنی تا سال ۱۴۰۰، به میزان ۲۰٪ کاهش یابد، تغییرات حجم آب مخزن سد، و همچنین درصد تأمین حجمی هر یک از نیازها در شکل (۹) و جدول (۹) نشان داده شده اند. با توجه به شکل (۹) و جدول (۹) مشخص می‌گردد که حجم آب مخزن سد در طول ۱۰ سال آینده به میزان قابل توجهی کاهش یافته، و در پی آن از میزان تأمین حجمی نیازهای مختلف به وسیله مخزن سد نیز کاسته می‌شود.

در نمایشنامه دوم نیز افزایش ۱۰ درصدی نیازهای شرب و صنعت و افزایش ۲۰ درصدی نیاز کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه‌ی نتایج این نمایشنامه و حالت طبیعی در شکل (۱۰) ارائه شده اند. بر اساس یافته‌های این نمایشنامه مشخص گردید که اگر میزان نیازهای آبی موجود در حوضه‌ی سد علویان به مرور زمان به علت تغییر در برخی فراسنجهای حوضه تغییر کند، و یا حتی اولویت آن نیازها بر اساس یک گروه سیاست گذاری‌ها نیاز به تغییر را داشته باشد، به راحتی و به سرعت می‌توان این تغییرات در مقادیر و یا اولویت‌ها در شبیه‌سازی لحاظ، و آن را بر اساس تغییرات جدید انجام داد.

با توجه به کمبود در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی می‌توان از کشتهای مقاوم به کمبود آب، و همچنین از روش آبیاری قطره‌ای جهت مقابله با کم آبی استفاده کرد. در شکل (۸) نیز میزان آبی که از سد علویان به پایین دست انتقال می‌یابد نشان داده شده است. این میزان شامل آب مورد نیاز بخش زیست محیطی و همچنین ۱۵ درصد نیاز کشاورزی و ۴۰ درصد مقادیر آب اختصاص یافته به نیازهای شرب و صنعت می‌باشد.

در نهایت، مقدار تأمین نیازهای مختلف برای سد علویان محاسبه و نتایج در جدول (۷) نشان داده شده اند. براساس گزارش روش شناسی تخصیص طرح‌های توسعه منابع آب، محدوده‌ی قابل قبول تأمین نیازهای مختلف در جدول (۸) ارائه شده است. مقایسه‌ی جداول (۷) و (۸) حاکی از آن است که تنها، درصد تأمین نیاز زیست محیطی، در محدوده قابل قبول نمی‌باشد.



شکل (۸): میزان خروجی از سد علویان به پایین دست.

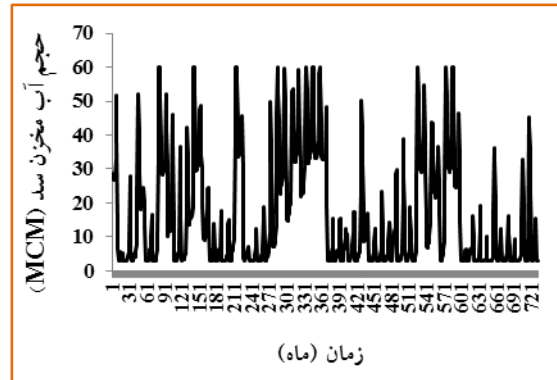
جدول (۷): مقادیر درصدهای تأمین حجمی نیازها.

درصد تأمین هر یک از نیازها	
۰	کمبود شرب (MCM)
۱۰۰	درصد تأمین نیاز شرب %
۰	کمبود صنعت
۱۰۰	درصد تأمین نیاز صنعت %
۱۴/۷۷	کمبود کشاورزی (MCM)
۸۵/۳۸	درصد تأمین نیاز کشاورزی %
۶/۱۴	کمبود زیست محیطی (MCM)
۸۴/۱۹	درصد تأمین نیاز زیست محیطی %
۲۰/۹۱	کل کمبود (MCM)

مستلزم درک مجموعه‌ای از اندرکنشهای مرتبط با آب در سطوح مختلف زمانی و مکانی در نقاط مختلف حوضه است. علم پویایی سامانه‌ها و نرم افزار VENSIM از جمله ابزارهای نوین و کاربردی در شبیه سازی سامانه‌های پیچیده منابع آب می‌باشند. به کمک این روش، شبیه سازی و یادگیری رفتار سامانه‌ها در شرایط فعلی و آینده تسریع و تسهیل گشته و نیز امکان تحلیل سیاستهای مختلف تصمیم گیری و پیش بینی رفتار سامانه‌ها فراهم می‌شود. در این پژوهش، پس از جمع آوری و بازسازی داده‌های مورد نیاز از حوضه‌ی آبخیز سد علویان، برنامه‌ی شبیه سازی این سد طی دوره‌ی آماری (۱۳۸۹-۱۳۳۹) با رویکرد پویایی سامانه‌ها و نرم افزار VENSIM تهیه گردید. عملکرد شبیه و رفتار هر یک از متغیرها در طول دوره‌ی شبیه سازی در مقیاس ماهانه بررسی شدند، که نتایج حاکی از کمبود در تأمین نیازهای کشاورزی و محیط زیستی بود. در ادامه، به منظور بررسی رفتار شبیه تهیه شده از زوایای مختلف، دو نمایشنامه‌ی محتمل در سطح حوضه‌ی آبخیز شبیه سازی گردید، و عملکرد سد به لحاظ تأمین نیازهای کشاورزی، زیست محیطی، صنعت و شرب در هر نمایشنامه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این تحقیق مشخص گردید که شبیه پویایی سامانه علاوه بر ساده سازی، دقت مناسب و سرعت قابل توجه در تعریف، شبیه سازی و تحلیل یک سامانه‌ی پیچیده، امکان وفق پذیری با شرایط و قیود متفاوت مسائل تخصیص منابع آب را دارا می‌باشد، و پس از ایجاد شبیه یک سد در محیط VENSIM، به راحتی می‌توان اثر نمایشنامه‌های مختلف را بر نحوه‌ی تخصیص منابع آب آن سد مشاهده کرد، و بر اساس آن تصمیمات لازم را اتخاذ نمود.

Refrence

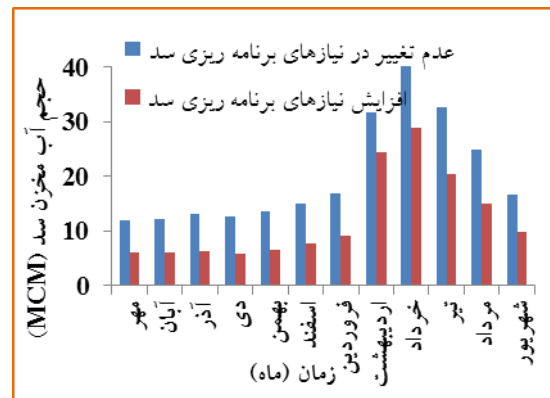
۱. اعلی م ت، س، فرزین و ب، آقابالایی ۱۳۹۱. تحلیل سیاست‌های بهره‌برداری و تخصیص آب سد ایثار اهر با استفاده از روش پویایی نظام‌های. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.
۲. افشار ع، ح، اخوان حجازی. ۱۳۸۷. کاربرد پویایی سیستمها در طراحی و بهره‌برداری نظامهای ذخیره دوره‌ای. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران،



شکل (۹): شبیه سازی تغییرات حجم آب مخزن سد (۱۴۰۰-۱۳۳۹).

جدول (۹) مقادیر تأمین درصد حجمی برای نمایشنامه‌ی اول.

درصد تأمین حجمی هر یک از نیازها	
۰	کمبود شرب (MCM)
۱۰۰	تأمین حجمی نیاز شرب %
۰/۰۹	کمبود صنعت (MCM)
۹۸/۸۸	تأمین حجمی نیاز صنعت %
۱۷/۲	کمبود کشاورزی (MCM)
۸۲/۹۷	تأمین حجمی نیاز کشاورزی %
۷/۴۳	کمبود زیست محیطی (MCM)
۸۰/۸۷	تأمین حجمی نیاز زیست محیطی %
۲۴/۷۲	کل کمبود (MCM)



شکل (۱۰) مقایسه‌ی متوسط تغییرات حجم آب پشت سد در هر ماه.

نتیجه گیری

در سالهای اخیر اهمیت نگرش پایدار به مسأله بهره برداری بهینه از سامانه‌های منابع آب حوضه‌های آبخیز، و نیز پیش بینی وضعیت آینده سامانه، دو چندان شده است. مدیریت جامع و کارای منابع آب در سطح حوضه‌ی آبخیز

- management: a study for the Lake Erhai Basin"; J. Environ. Manage, 61: 93-111.
11. Huerta, J. M. M. Serra, and R. Sandoval, 2001. A system dynamics approach for the design of sustainable water use strategy in the Middle Lerma- Chapala Basin. In the Lerma-Chapala Watershed. evaluation and management, pp. 201.
 12. Qi, C. 2011. Chang System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain impacts. *Enviro. Manage.* 92:1628-1641.
 13. Schluter M, D.C. Savitsky, D. Mckinney, and H. Lieth, 2005. Optimizing long-term water allocation in the Amudarya River Delta: A water management Model for ecological impact assessment. *Envir. Model. and Software*, 20: 529-545.
 14. Simonovic, SP. and H. A, Fahmy. 1997. The use of object oriented modeling for water resources planning in Egypt. *J. Water Resou. Manage.* 11: 243-261.
 15. Stave, KA. 2003. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. *J. Environ. Manage*, 67: 303-313.
- دانشگاه تبریز، تبریز.
۳. آقابالایی، ب. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی سیستم منابع آب سد علویان با رویکرد پویایی سیستم‌ها. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، تبریز.
 ۴. فولادمند، ح ر، ر، ترابی. ا، امین دین. ۱۳۸۸. کاربرد آمار در خاک و آب. نشر دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت و نوید شیراز. صفحات ۱۵-۱۳.
 ۵. گلیان س، ا، ابریشم‌چی. م، تجربی‌شی. ۱۳۸۶. تحلیل سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب در حوضه آبخیز به روش پویایی نظام‌های‌ها. نشریه آب و فاضلاب، ۶۳.
 ۶. مؤمنی، ا، م، تجربی‌شی. ا، ابریشم‌چی. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی نظام‌های‌ها. نشریه آب و فاضلاب ۵۷.
7. Chen, C. W. Liu, and S. Liaw, 2005. Development of a dynamic strategy planning theory and system for sustainable river basin land use management. *Sci. Total Enviro.* 346: 17-37.
 8. Grigg NS, and MC. Bryson, 1975. Interactive simulation for water system dynamics. *J. Urban Plan. Dev*, 101: 77-92.
 9. Grigg, N. S, 1997. System analysis of urban water supply and growth management. *Urban Plann. J. Dev.* 123: 23-33.
 10. Guo, H.C. L. Liu, GH. Huang, GA. Fuller, R. Zou, and YY. Yin, 2001. A system dynamics approach for regional environmental planning and