

## مدل سازی بهره برداری از مخازن چندمنظوره به روش پویایی سیستم

زهرة شیخ خوزانی<sup>۱\*</sup>، خسرو حسینی<sup>۲</sup>، مهدی رحیمیان<sup>۳</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: اسفند ۱۳۸۸ پذیرش مقاله: تیر ۱۳۸۹	
<b>واژگان کلیدی:</b> شبیه سازی، بهره برداری، پویایی سیستم، مخازن چندمنظوره.	مدیریت منابع آب نیازمند تصمیم گیری آینده نگر با رویکردی جامع است. علم پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش می باشد. این علم قادر است شبیه سازی سیستم های پیچیده منابع آب را برای پشتیبانی تصمیم گیری انجام دهد. به کمک این شبیه سازی پیامدهای نامشخص تصمیم گیری ها آشکار می شود. هدف عمده این روش شبیه سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سیستم ها در شرایط فعلی و آینده است. روش پویایی سیستم در واقع روش شبیه سازی شیء گرا و بر پایه بازخورد است که می تواند علاوه بر تشریح سیستم های پیچیده بر اساس واقعیت، امکان دخالت کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی را در طول فرآیند مدل سازی فراهم نماید. افزایش سرعت در توسعه مدل، قابلیت توسعه گروهی مدل، ارتباط موثر با نتایج و افزایش اعتماد به مدل در اثر مشارکت کاربر از مهمترین قابلیت های این روش شبیه سازی می باشد. سادگی ایجاد تغییر در مدل و قابلیت انجام آنالیز حساسیت، این روش را از دیگر روش های تحلیل مدل سازی جذاب تر نموده است. در این تحقیق مدلی از سد دامغان واقع در استان سمنان به روش پویایی سیستم توسعه داده شده است. هدف از این مدل سازی تعیین تاثیر سیاست های مختلف بهره برداری بر رفتار مخزن و میزان تامین نیازهای پایین دست در افق آینده (سال ۱۴۱۰) می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که با اجرای سیاست های مناسب نه تنها می توان نیازهای مورد نظر را در حالت موجود در حد قابل قبولی تامین نمود، بلکه می توان توسعه نیازها را نیز در نظر گرفت. همچنین تعیین ارتفاع بهینه سد به صورتی که بتواند نیازهای مختلف را در حد قابل قبول تامین نماید، مورد بررسی قرار گرفت.

### ۱- مقدمه

توسط ساخت سد تامین می گردد. محدود بودن آب های قابل کنترل و افزایش مداوم نیازها، وجود برنامه ریزی صحیح به منظور مدیریت آب و بهره برداری بهتر از این منابع محدود را طلب می کند. در صورتی که از همین منابع موجود به شکل بهتری بهره برداری گردد، می توان نیازهای فعلی و حتی آینده نزدیک را مرتفع ساخت.

اهداف مختلف در تحلیل سیستم های مخازن سبب ایجاد مدل های گوناگونی از این سیستم ها گردیده است. هدف

گسترش بی رویه جمعیت، توسعه کشاورزی و رشد سریع صنایع، هر روز تقاضای آب را افزایش می دهد. بخشی از تامین نیازها از طریق مهار آب های سطحی است که

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: y.sheikh2131@gmail.com

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۳. کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه ای سمنان

پویایی سیستم‌ها در مقایسه با دیگر روش‌های تحلیل سیستم‌ها ساده و موثر بوده و در شرح سیستم به ریاضیات پیچیده نیاز ندارد. این روش ابتدا توسط فارستر<sup>۴</sup> جهت درک بهتر مسائل استراتژی در سیستم‌های دینامیکی پیچیده ابداع گردید [۳]. کیز<sup>۵</sup> و پالمر<sup>۶</sup> روش فوق را در شبیه‌سازی مطالعات خشک‌سالی به کار گرفتند [۴]. فلچر<sup>۷</sup> این روش را به عنوان یک روش تحلیل تصمیم در مدیریت کم‌آبی استفاده نمود [۵]. سیمونوویچ<sup>۸</sup> و فامی<sup>۹</sup> از روش فوق برای ارزیابی درازمدت منابع آبی و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حوضه رودخانه نیل در مصر بهره جستند [۶]. رویستون<sup>۱۰</sup> روش فوق را در تامین تقاضای آب و بهره‌برداری از یک مخزن چندمنظوره به کار گرفت [۷]. احمد<sup>۱۱</sup> و سیمونوویچ با استفاده از این روش بهره‌برداری از مخزن شلماس<sup>۱۲</sup> در رودخانه آسینبوین<sup>۱۳</sup> را برای سال پرآبی و چندین سیلاب رخ داده بررسی نمودند. در این تحقیق اثرات مدیریت سیلاب در مخزن با سرریزهای دریچه‌دار و بدون دریچه با یکدیگر مقایسه شده و رفتار مدل برای شرط اولیه تراز مخزن، تحلیل حساسیت شده است [۸]. تیگواراپو<sup>۱۴</sup> و سیمونوویچ برای مدل‌سازی بهره‌برداری از سیستم چندمخزنه به منظور تولید نیروی برق‌آبی از پویایی سیستم استفاده کرده و به منظور بررسی کارایی سیستم از دو شاخص قابلیت اطمینان و آسیب‌پذیری بهره بردند [۹]. جلالی و افشار برای بهره‌برداری از سدهای برق‌آبی مدلی بر اساس پویایی سیستم ارائه دادند [۱۰]. صادقی مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب را با استفاده از پویایی سیستم انجام داده است [۱۱].

اصلی این‌گونه مدل‌ها قانون‌مند کردن و ارزیابی طرح‌های مختلف به منظور پاسخ‌گویی به مسائل و نیازهای آبی می‌باشد. مدل‌های مرسوم مهندسی سیستم‌ها که در مخازن به کار گرفته شده‌اند، مدل‌های شبیه‌سازی<sup>۱</sup>، بهینه‌سازی<sup>۲</sup> و ترکیب بهینه‌سازی و شبیه‌سازی می‌باشند. اساس مدل‌های بهینه‌سازی بر کمینه یا بیشینه نمودن یک تابع هدف که شامل تعدادی متغیرهای تصمیم‌گیری است، با در نظر گرفتن قیود، استوار است. به عبارت دیگر این‌گونه مدل‌ها به صورت خودکار به دنبال بهینه‌ترین مقدار متغیرهای تصمیم‌گیری می‌گردند، به طوری که تمام قیود را تامین کنند. هدف مدل‌های شبیه‌سازی بهبود بخشیدن به طرح‌ها و سیاست‌های بهره‌برداری است. این مدل‌ها با توجه به مقدار متغیرهایی که توسط کاربر مشخص می‌شود، به پیش‌بینی رفتار سیستم می‌پردازند. اعتبار روش‌های شبیه‌سازی در توانایی آن‌ها برای حل مدل‌هایی از تحلیل سیستم‌های منابع آب است که دارای روابط و قیدهای غیرخطی هستند، در حالی که روش‌های بهینه‌سازی به ندرت توانایی رسیدگی به آن‌ها را دارند [۱]. تحلیل سیستم‌ها جایگاه مهمی در زمینه مدیریت منابع آب دارد و شبیه‌سازی یک ابزار ضروری تصمیم‌گیری در فرآیند مدیریت مخزن می‌باشد [۲]. در هر حال نیاز به ابزار شبیه‌سازی که بتواند سیستم‌های پیچیده را بر اساس واقعیت موجود شرح داده و به کاربر اجازه شرکت در توسعه مدل را، به منظور افزایش اعتماد در فرآیند مدل‌سازی بدهد، وجود دارد.

از میان مدل‌های متعدد در مدیریت منابع آب برخی از مدل‌ها دارای خصوصیت پویایی هستند. در این مدل‌ها درک مسائل و تغییرات به صورت حلقه‌ای و بازخورد<sup>۳</sup> است. به کمک این شیوه شبیه‌سازی پیامدهای نامشخص پیش‌بینی نشده تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده این روش شبیه‌سازی رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل یادگیری است. روش

<sup>4</sup> Forrester

<sup>5</sup> Keyes

<sup>6</sup> Palmer

<sup>7</sup> Fletcher

<sup>8</sup> Simonovich

<sup>9</sup> Fahmy

<sup>10</sup> Royston

<sup>11</sup> Ahmad

<sup>12</sup> Shellmouth

<sup>13</sup> Assiniboin

<sup>14</sup> Teegavarapu

<sup>1</sup> Simulation

<sup>2</sup> Optimization

<sup>3</sup> Feedback

مناسب است. طراحی و ارزیابی سیاست‌ها در راستای توسعه فرضیه دینامیکی [۱۳].

مدل‌های پویایی سیستم امکان وارد کردن متغیرهای کیفی و کمی را به طور هم‌زمان در سیستم فراهم می‌کند. در مدل‌های ریاضی امکان ویرایش پارامترهای کیفی وجود ندارد. در مدل‌های پویا، با نوشتن معادلات غیردقیق برای متغیرهای کیفی و شبیه‌سازی عددی آن تاثیر این متغیرها بر روی کل سیستم در نظر گرفته می‌شود [۱۴].

نرم‌افزار Vensim یک نرم‌افزار شبیه‌سازی و یک محیط مدل‌سازی گرافیکی شیء‌گرا می‌باشد. در این نرم‌افزار نمودارها با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش اولر یا رانگ‌کوتا حل می‌شوند، ساخته می‌شود. روش مدل‌سازی در این نرم‌افزار به این صورت است که پیشرفت از کلیات به جزئیات صورت می‌گیرد به طوری که به صورت تدریجی توابع و اجزای متصل شده بیشتر می‌شود تا یک مدل کامل شده برای اجرا آماده گردد [۱۳].

## ۲-۲- ساختار مدل

هدف از مدل‌سازی در این مقاله، ایجاد و توسعه یک مدل شبیه‌سازی برای بالا بردن سطح شناخت از منطقه و دینامیک آن و همچنین ارائه راه‌حلهایی برای بهینه کردن بهره‌برداری از مخزن است به گونه‌ای که بتوان نیازهای پایین‌دست را حتی در افق آینده (سال ۱۴۱۰) به بهترین حالت تامین نمود.

### ۲-۲-۱- اطلاعات ورودی به مدل

در این تحقیق شرایط مختلف توسعه، عرضه و تقاضای آب در دوره زمانی ۲۵ ساله از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۱۰ بررسی گردیده است. در این رابطه اطلاعات ورودی به مدل عبارتند از:

در این تحقیق، مدلی به روش پویایی سیستم در نرم‌افزار Vensim توسعه داده شده است. که در آن مخزن سد و مصارف پایین‌دست شبیه‌سازی شده است. همچنین نشت از تکیه‌گاه راست سد نیز به عنوان یک متغیر در مدل‌سازی وارد شده است. در این تحقیق چندین سناریوی بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- روش پویایی سیستم

از جمله مفاهیم مهم در روش پویایی سیستم، قانون پیوستگی است که مفهوم اساسی روندیابی در مخازن است. این روش مدل‌سازی از چهار ابزار ذخیره<sup>۱</sup>، جریان<sup>۲</sup>، رابطها<sup>۳</sup> و تبدیل‌کنندهها<sup>۴</sup> استفاده می‌کند و به وسیله آنها ذهنیت مدل‌ساز را به نمودارهای علت و معلولی و در نهایت به نمودار ذخیره و جریان تبدیل می‌نماید. در واقع هنر مدل‌سازی به روش پویایی سیستم‌ها پوشش و نمایش فرآیند بازخورد است که همراه با ساختار ذخیره و جریان، تاخیر زمانی<sup>۵</sup> و توابع غیرخطی<sup>۶</sup>، دینامیک سیستم را تعریف می‌کند. همه دینامیک‌ها از دو نوع حلقه بازخوردی مثبت (خود تقویت کننده) و منفی (خود اصلاح کننده) به وجود می‌آید. حلقه منفی هدف را جستجو می‌کند این حلقه با ساختار جستجوگر خود توازن و پایداری در سیستم را تولید می‌کند [۳ و ۱۲]. گام‌های مدل‌سازی در این روش به شرح زیر می‌باشد:

تعریف روشن و کاملی از مسئله فرموله کردن فرضیه دینامیکی

ایجاد مدل شبیه‌سازی آزمون‌های مدل تا حصول اطمینان از اینکه مدل شبیه‌سازی شده برای اهداف مورد نظر

<sup>1</sup> Stock

<sup>2</sup> Flow

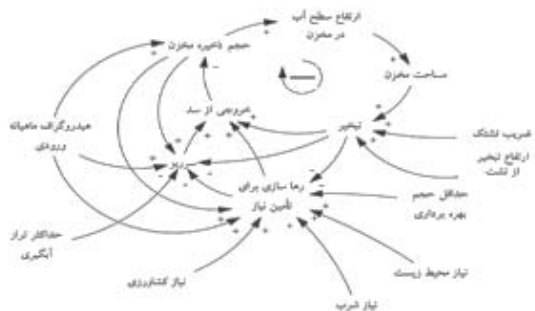
<sup>3</sup> Connectors

<sup>4</sup> Convertors

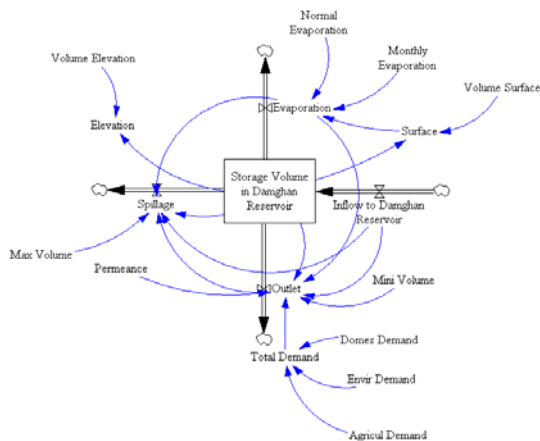
<sup>5</sup> Delay Time

<sup>6</sup> Nonlinear Function

تلفات مخزن و مقادیر نشت از مجموع جریان ورودی و حجم ذخیره مخزن کسر می‌شود، حجم باقی‌مانده با حجم معادل حداکثر ارتفاع آب در مخزن سد مقایسه شده و مازاد آن به عنوان سرریز از مخزن سد خارج می‌شود.



شکل ۱- نمودار علی و معلولی قسمت اصلی مدل



شکل ۲- قسمت اصلی مدل برای تعیین جریان خروجی

### ۲-۳- بررسی خصوصیات سد مورد مطالعه

جهت توسعه منابع آب حوضه آبریز رودخانه چشمه‌علی، با هدف بهبود وضعیت آبیاری باغ‌های موجود و در صورت امکان توسعه سطح زیر کشت منطقه، سد دامغان در خروجی این حوضه آبریز احداث گردید. از دیگر اهداف این سد ذخیره سیلاب‌های رودخانه چشمه‌علی به منظور تامین نیازهای پایین‌دست می‌باشد. محدوده مورد نظر در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد. مقدار ریزش متوسط سالیانه حوضه آبریز ۱۸۵ میلی‌متر، مقدار تبخیر سالیانه ۱۸۰۰ میلی‌متر و حداکثر آورد سالیانه ۴۹/۲ میلیون متر مکعب می‌باشد [۱۵].

منحنی حجم-سطح-ارتفاع مخزن که از مهمترین اطلاعات هندسی مخزن می‌باشد. با توجه به در دسترس بودن جریان ورودی به مخزن سد از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۶، این جریان تا افق ۱۴۱۰ تعمیم داده شده است. میزان نشت از بدنه و تکیه‌گاه‌های سد تابع ارتفاع آب در مخزن سد می‌باشد که برای مدل این تابع تعریف گردیده است. از دیگر اطلاعات ورودی نیاز آبی کشاورزی، شرب و زیست محیطی می‌باشد. در سناریوهای افزایش نیاز شرب جمعیت با یک متغیر ذخیره نشان داده شده و میزان افزایش جمعیت با متغیر جریان به ذخیره جمعیت اضافه می‌شود، ضریب رشد جمعیت و سرانه مصرف از دیگر متغیرهای بکار گرفته شده می‌باشد. در بقیه موارد آب شرب مورد نیاز به صورت جداگانه به تفکیک در بازه‌های زمانی محاسبه شده و به صورت سری داده‌ها از نرم‌افزار اکسل فراخوانی می‌شود. نیاز زیست محیطی بر اساس مقادیر حداقل به روش مونتانا محاسبه شده است. تبخیر از مخزن با داشتن اطلاعات شدت تبخیر و سطح مخزن توسط نرم افزار قابل محاسبه است.

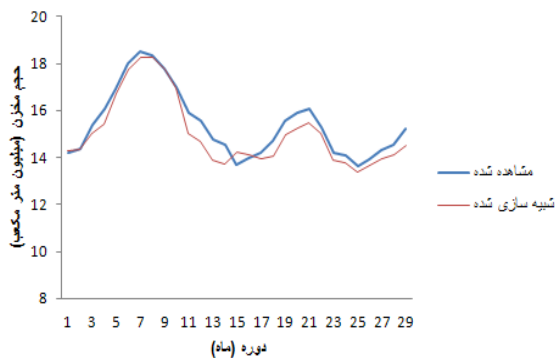
### ۲-۲-۲- تعیین جریان خروجی از مخزن

این قسمت از مهمترین بخش‌های مدل‌سازی است. در این بخش در تعریف روابط خروجی از مخزن قوانین تصمیم‌گیری نقش مهمی بر عهده دارد. شکل ۱ نمودار علی و معلولی مربوط به قسمت خروجی و شکل ۲ قسمتی از مدل که برای ساختار مخزن، ورودی و خروجی آن بکار می‌رود را نشان می‌دهد. در این مدل حجم مخزن توسط متغیر ذخیره (حالت) نشان داده می‌شود و جریان ورودی، مقادیر تبخیر، جریان خروجی و مقادیر سرریز هر کدام با یک متغیر جریان نمایش داده شده است. مقادیر سرریز از مخزن سد با توجه به مقادیر ورودی، خروجی و ارتفاع معادل حجم حداکثر مخزن محاسبه می‌شود. مقادیر جریان خروجی بر اساس سیاست‌های بهره‌برداری و نیازهای پایین‌دست تعیین می‌شود. این مقدار همراه با

حجم ذخیره مخزن می باشد. بدین منظور از اطلاعات حجم ذخیره مخزن در سال‌های ۸۶ الی ۸۸ برای یک دوره ۳۰ ماهه بهره گرفته شده است.

اطلاعات مربوط به این سال‌ها به صورت اطلاعات تاریخی وارد شده و حجم ذخیره مخزن در طی این سال‌ها با مقادیر ثبت شده در محل سد مقایسه گردید که نتایج آن در شکل ۳ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل رفتار مرجع را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند اختلافی که بین داده‌ها در طول دوره ۳۰ ماهه وجود دارد به طور متوسط کمتر از ۵ درصد می باشد. که می‌تواند ناشی از دقت در داده‌های ورودی به مخزن می‌باشد.

آزمون‌های شرایط حدی چون آزمون حدی ورودی صفر به مخزن، آزمون حدی نیاز صفر، آزمون حدی حجم اولیه صفر و آزمون حدی خروجی صفر از مخزن بر روی مدل انجام شد، نتایج مورد نظر در مرجع [۱۶] آورده شده است. نتایج تمامی آزمون‌های ذکر شده مطابق انتظار بوده و نشان از اعتبار مدل برای اهداف مورد نظر دارد.



شکل ۳- مقایسه رفتار مدل و رفتار مرجع در ذخیره مخزن

پس از این آزمون‌ها حساسیت مدل نسبت به پارامترهایی چون حجم ورودی به مخزن، میزان نشت، مقادیر تبخیر از سطح دریاچه، میزان نیاز کشاورزی و میزان نیاز شرب سنجیده شد. پس از هر مرحله شبیه‌سازی که با کاهش یا افزایش مقادیر مورد نظر نسبت به حالت پایه‌شان انجام گرفت، خطای موجود مابین داده‌ها برای دو متغیر حجم مخزن و تامین کل نیازها محاسبه شده و نمودارهای مربوطه ترسیم گردید. پس از بررسی مشخص شد که

سد دامغان یک سد خاکی سنگریزه‌ای می‌باشد که از سال ۱۳۷۹ شروع به ساخت و در اواخر سال ۱۳۸۳ بهره‌برداری از آن آغاز شده است. این سد در استان سمنان و در ۱۲ کیلومتری شهر دامغان واقع شده است که از رودخانه چشمه‌علی آبیگری می‌شود. پس از اجرای سد دامغان، در پایین‌دست و در نزدیکی آن تعدادی چشمه ظاهر شده‌اند، تغییرات آبدهی این چشمه‌ها بین ۱۴۵ تا ۱۷۰ لیتر در ثانیه گزارش شده است. ظهور چشمه‌های فوق پس از ساختمان سد، وجود ارتباط بین آب مخزن و جریان خروجی از این چشمه‌ها را محتمل می‌نماید. از جمله مهمترین مشکلات منطقه می‌توان به کاهش آبدهی رودخانه چشمه‌علی در ایستگاه آب‌سنجی لبرود قبل از ورود به مخزن سد دامغان که می‌تواند ناشی از بروز خشک‌سالی در منطقه، افزایش برداشت در حوضه آبریز توسط حقایه‌بران موجود و مصرف‌کننده‌گان جدید به ویژه در ماه‌های گرم سال و خروج مستمر و کنترل نشده جریان‌های بالغ بر ۱۵۰ لیتر در ثانیه از مخزن سد که در بهره‌برداری از مخزن این سد تاثیرگذار می‌باشد، اشاره کرد.

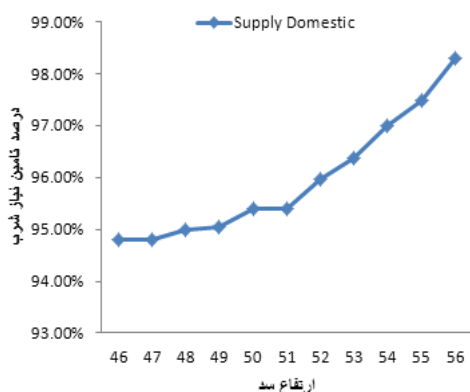
#### ۴-۲- صحت سنجی مدل

به منظور نشان دادن این‌که مدل ایجاد شده می‌تواند نمونه معتبری از مرجع بوده و توانایی تحلیل سناریوهای مورد نظر را دارد، لازم است تا آزمون‌های مختلفی بر روی آن انجام گیرد. به همین دلیل آزمون‌هایی بر روی مدل انجام گرفت که نتایج آن‌ها نشان از اعتبار مدل به شرح زیر را دارد.

##### ۴-۲-۱- مقایسه رفتار مدل و مرجع و تحلیل حساسیت

در مباحث منابع آب نظیر تحقیق حاضر، به دلیل اهمیت بیان‌های زمانی و مکانی آب، در مدلی که قادر باشد رفتار مرجع را بازسازی نماید، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از متغیرهایی که صحت سنجی آن بررسی گردیده است،

برای تعیین ارتفاع بهینه، پارامترهای مختلف دیگر از جمله هزینه ساخت سد، درآمدهای حاصل از فروش آب به بخش‌های مختلف بایستی در تحلیل‌ها در نظر گرفته شوند. چنانچه هدف تامین نیاز آب شرب پایین دست در حد قابل قبول باشد، سدی با ارتفاع ۴۹ متر نیز جوابگوی نیازهای طرح می‌باشد.



شکل ۴- درصد تامین نیاز شرب در ارتفاع‌های مختلف

### ۳-۳- سیاست بهره‌برداری استاندارد

در این سیاست فرض بر آن است که در هنگام افزایش نیازها تراز مخزن تا تراز لوله‌های آبیگر تحتانی پایین بیاید تا سد بتواند میزان بیشتری از نیازها به خصوص نیازهایی که در اولویت بالاتری قرار دارند را تامین کند. نتایج مربوط به اعمال این سیاست در میزان تامین نیازهای پایین دست در جدول ۱ آورده شده است. طبق اعداد نشان داده شده در جدول، نیازهای آبی شرب، زیست محیطی و کشاورزی در حد قابل قبولی توسط سد تامین گردیده است.

### ۳-۳- سیاست تخصیص آب در حالت A

در این سیاست بهره‌برداری از سد به فرض آن‌که آب نشستی از مخزن را بتوان در تامین نیازهای پایین دست استفاده نمود یا به طریقی بتوان پدیده نشستی از مخزن را توسط روش‌هایی کنترل کرد، مورد بررسی قرار گرفت. در این سیاست زیرگزینیه‌هایی به شرح زیر در نظر گرفته شد:

مدل ارائه شده نسبت به متغیر حجم ورودی به مخزن و پس از آن نیاز کشاورزی حساسیت بیشتری نشان می‌دهد، این به آن معناست که در شبیه‌سازی مخزن سد باید در اندازه‌گیری داده‌های مربوط به این متغیرها دقت بیشتری به عمل آید.

### ۳- نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های مختلف

#### مدیریتی

پس از صحت سنجی مدل و آنالیز حساسیت، چند سیاست بهره‌برداری در مدل پویایی سیستم سد دامغان شبیه‌سازی شد. قابل ذکر است که محدوده قابل قبول درصدهای حجمی و زمانی تامین نیازها به صورت، نیاز شرب ۹۵-۱۰۰ درصد، نیاز محیط زیست ۹۰-۱۰۰ درصد و نیاز کشاورزی ۸۰-۱۰۰ درصد می‌باشد. این سیاست‌های مدیریتی و نتایج اعمال آن‌ها در مدل به شرح زیر می‌باشد:

#### ۳-۱- سناریوی تخمین ارتفاع بهینه

به منظور بررسی مناسب بودن ارتفاع سد سناریویی در مدل تعریف و اجرا شد. همان‌گونه که مسلم است بیشتر یا کمتر بودن ارتفاع سد می‌تواند در تامین نیازها و نیز هزینه‌های سد تاثیرگذار باشد، در حال حاضر سد دامغان با ارتفاع ۵۱ متر ساخته شده است و در این سناریو به بررسی این موضوع که آیا سد با ارتفاع کمتر نیز می‌توانست جوابگوی نیازهای پایین دست باشد، پرداخته شده است. به این منظور چند ارتفاع بالاتر و پایین‌تر از ارتفاع ساخته شده در نظر گرفته شد و درصد تامین نیازهای مختلف بررسی شد. نتایج مربوط به این سیاست در مورد تامین نیاز شرب که در اولویت اول قرار دارد، در شکل ۴ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در ارتفاع ۴۹ متر می‌توان نیازهای پایین دست را با درصد اطمینان قابل قبولی برآورده کرد. لازم به ذکر است که

تخصیص در این سناریو پذیرفته شد. این انتخاب بر اساس کمتر بودن میزان سرریز و تبخیر از سد که به عنوان تلفات از مخزن در نظر گرفته می‌شود و با توجه به برآورده کردن درصد قابل قبول و بالایی از تامین نیازهای مورد نظر، انجام شد. نتایج مربوط به سیاست انتخابی در جدول ۲ دیده می‌شود. در این زیرگزینه، درصد های تامین آب شرب، کشاورزی و زیست محیطی به ترتیب برابر با ۹۵/۵ و ۸۱/۲۶ و ۹۰/۳ درصد می باشد. که همگی در محدوده قابل قبول می‌باشد. همچنین بالاترین میزان آب تنظیم شده به پتانسیل رودخانه در این سیاست تخصیص، مربوط به این زیرگزینه می‌باشد.

A1: تامین حداکثر آب شرب، آب مورد نیاز برای زیست محیطی و آب مورد نیاز کشاورزی در حد امکان.  
A2: تامین آب شرب در حالت معمول، تامین حداکثر آب مورد نیاز کشاورزی (با در نظر گرفتن توسعه سطح زیر کشت) و با فرض آن که آب سرریزی برای تامین نیاز زیست محیطی کافی است (در این حالت این متغیر از مدل حذف می‌شود).  
A3: تامین حداکثر آب شرب، تامین نیاز کشاورزی در حالت معمول و با فرض مشابهی مانند گزینه قبلی.  
پس از اجرای مدل تحت زیرگزینه‌های تخصیص و بررسی نتایج مربوطه زیرگزینه A1 به عنوان بهترین حالت

جدول ۱- خلاصه نتایج بهره‌برداری از مخزن سد دامغان در سیاست بهره‌برداری استاندارد

حجم حداکثر مخزن (MCM)	21	حجم حداقل مخزن (MCM)	2
آبدهی (MCM/Year)	26.93	تبخیر (MCM/Year)	2.43
حجم سرریزی (MCM/Year)	6.36	سال‌های سرریزی	72%
تامین شرب (MCM/Year)	3.97	تامین زیست محیطی (MCM/Year)	4.91
تامین کشاورزی (MCM/Year)	10.02	نشت (MCM/Year)	0.47
خروجی کل (MCM/Year)	27.69	ماه‌های شرب زیر ۹۰٪	1%
ماه‌های شرب زیر ۵۰٪	0.67%	ماه‌های زیست محیطی زیر ۵۰٪	2%
ماه‌های کشاورزی زیر ۵۰٪	7.33%	درصد تامین نیاز شرب	99.3
درصد تامین نیاز زیست محیطی	97.46	درصد تامین نیاز کشاورزی	91.1

جدول ۲- خلاصه نتایج بهره‌برداری از سد دامغان در زیرگزینه A1

حجم حداکثر مخزن (MCM)	21	حجم حداقل مخزن (MCM)	8.2
آبدهی (MCM/Year)	26.93	تبخیر (MCM/Year)	2.5
سرریز (MCM/Year)	4.62	سال‌های سرریزی	56%
تامین شرب (MCM/Year)	6.81	تامین زیست محیطی (MCM/Year)	4.55
تامین کشاورزی (MCM/Year)	8.94	نشت (MCM/Year)	0
خروجی کل (MCM/Year)	27.42	ماه‌های شرب زیر ۹۰٪	6%
ماه‌های شرب زیر ۵۰٪	4%	ماه‌های زیست محیطی زیر ۵۰٪	6.67%
ماه‌های کشاورزی زیر ۵۰٪	6.35%	درصد تامین نیاز شرب	95.5
درصد تامین نیاز زیست محیطی	90.32	درصد تامین نیاز کشاورزی	81.26

### ۳-۴- سیاست تخصیص آب در گزینه B

در این سیاست فرض اصلی بر آن است که نشت از مخزن با مقدار ثابت ۵۷ لیتر بر ثانیه وجود دارد و این پدیده کنترل نشده است و آب نشت شده فقط به تامین نیاز کشاورزی می‌رسد. در این سیاست نیز زیرگزینه‌هایی مانند

حالت قبل در نظر گرفته شد که پس از شبیه‌سازی زیرگزینه‌ها و بررسی نتایج مربوطه زیر گزینه B1 به عنوان بهترین سیاست تخصیص با فرض ادامه نشت از مخزن سد، در نظر گرفته شد. در این سیاست بهره‌برداری درصد‌های تامین آب شرب، کشاورزی و زیست محیطی

بگیریم می‌توان از قابلیت‌های سد به نحو مطلوب‌تری استفاده نمود. قابل ذکر است که در دوره‌های خشک‌سالی که مربوط به دوره‌های آخر می‌باشد گاه میزان تامین نیازها به مقدار خیلی پایینی رسیده است جهت رفع یا تقلیل این مشکل، کاهش حجم آب مورد نیاز ماه‌های قبلی، از طریق جیره‌بندی آب و نگهداری آن برای ماه‌های بحرانی ضروری به نظر می‌رسد. به منظور جیره‌بندی لازم است که سیستم بهره‌برداری درصدی از نیازهای آبی ماه‌های قبل از دوره خشکی را برای این دوره نگهداری نماید؛ به نحوی که از یک سو بخشی از نیازهای آبی ماه‌های خشک تامین گردیده و از سوی دیگر تغییرات و افزایش تبخیر و سرریزی محدود باشد.

به ترتیب برابر ۸۷/۸۲ و ۸۸ و ۸۳/۲۳ درصد تعیین گردیده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که درصد تامین نیاز کشاورزی بالاتر از زیرگزینه A1 است این به آن دلیل است که آب نشت شده تنها به تامین این نیاز خواهد رسید و به همین نسبت تامین نیازهای دیگر که از مخزن سد انجام می‌شود با کاهش روبرو خواهد شد. اما در میان زیرگزینه‌های مربوط به این سناریو این زیرگزینه از نتایج بالاتری برخوردار بود. نتایج مربوط به این زیرگزینه در جدول ۳ آمده است. دو سیاست بیان شده نسبت به بهره‌برداری استاندارد، از آب تلف شده (حجم سرریز و تبخیر) کمتری برخوردار است و این نشان از استفاده مطلوب‌تری از مخزن می‌باشد. به نظر می‌رسد اگر در شرایط بهره‌برداری استاندارد توسعه نیازها را در نظر

جدول ۳- خلاصه نتایج بهره‌برداری از سد دامغان در زیرگزینه B1

حجم حداکثر مخزن (MCM)	21	حجم حداقل مخزن (MCM)	8.5
آبدهی (MCM/Year)	26.93	تبخیر (MCM/Year)	2.44
سرریز (MCM/Year)	4.14	سال‌های سرریزی	4.33%
تامین شرب (MCM/Year)	6.24	تامین زیست محیطی (MCM/Year)	4.19
تامین کشاورزی (MCM/Year)	9.64	نشت (MCM/Year)	0.47
خروجی کل (MCM/Year)	26.65	ماه‌های شرب زیر ۹۰٪	9.5%
ماه‌های شرب زیر ۵۰٪	9%	ماه‌های زیست محیطی زیر ۵۰٪	7%
ماه‌های کشاورزی زیر ۵۰٪	6.66%	درصد تامین نیاز شرب	87.42
درصد تامین نیاز زیست محیطی	83.23	درصد تامین نیاز کشاورزی	88

#### ۴- نتیجه گیری

به عمل آید. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که با اجرای سیاست‌های مناسب بهره‌برداری نه تنها می‌توان نیازهای مورد نظر را در حالت موجود در حد قابل قبول تامین نمود بلکه می‌توان توسعه نیازها را در سیاستی چون بهره‌برداری استاندارد از مخزن، نیز در نظر گرفت. همچنین با بررسی ارتفاع‌های مختلف مشخص گردید که اگر ارتفاع سد ۲ متر کمتر از مقدار فعلی بود، باز هم می‌توانست نیازهای پایین‌دست را در محدوده‌های قابل قبول و با اختلاف ناچیزی نسبت به حالت موجود، تامین کند.

در این تحقیق با استفاده از مدل علی و معلولی Vensim به مدل‌سازی سد دامغان در افق ۱۴۱۰ پرداخته شد. سپس صحت مدل مورد نظرسنجیده شد و تحلیل حساسیت بر روی متغیرهای انتخابی انجام گرفت و نیز آزمون‌های حدی بر روی مدل انجام شد. مدل مورد نظر نتایج خوبی را از نظر صحت سنجی و آزمون‌های حدی نشان داده است. به این نتیجه رسیدیم که در مورد متغیر میزان ورودی به مخزن مدل حساسیت بیشتری نشان می‌دهد، پس باید در اندازه‌گیری این پارامتر دقت بیشتری



## مراجع

- [1] Loucks, D.P., Beek, E.V., Stedinger, J.R., Dijkaman, J.P.M., and Villars, M.T. (2005). "Water resources system planning and management : An Introduction to methods, models and application." 1th Ed., UNESCO, Paris.
- [2] Loucks, D. P., Stedinger, J.R., and Haith, D.A., (1981). "Water resources systems planning and analysis." 1th Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York.
- [3] Sterman, J. D. (2000), Business Dynamics, McGraw-Hill, Boston.
- [4] Keyes, A. M., and Palmer, P.N. (1993), "The role of object-oriented simulation models in the drought preparedness studies." Proc., 20th Annu. Int. Conf., Water Resources Plan. And Manage., ASCE, Seattle, Washington, 479-482.
- [5] Fletcher, E. J., (1998), "The use of system dynamics as a decision support tool for the management of surface water resource." First Int. Conf., New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, Montral, Canada, 909-920.
- [6] Simonovic, S.P., and Fahmy, H., (1999), "A new modeling approach for water resources policy analysis." J. Water Resources Research, 35(1), 295-304.
- [7] W.J.Cox Royston, (1999), "Use of object oriented programming in water supply system modeling." The 26th Ann. Water Resources Plg. And Mgm. Conference, ASCE, Temp-Arizona.
- [8] Ahmad, S., and Simonovic, S. P. (2000). "Dynamic modeling of flood management policies." Proc., 18th Int. Conf., System Dynamics Society, Sustainabilty in the Third Millennium, Bergen, Norway.
- [9] Teegavarapu, R. S. V., and Simonovic, S. P. (2000). "System dynamics simulation model for operation of multiple reservoir." Proc., 10th World Water Congress, Melbourne, Australia.
- [۱۰] جلالی، م.ر.، و افشار، ع. (۱۳۸۳). "شبیه‌سازی پویایی سیستم تولید انرژی مخازن برقایی." اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۱۱] صادقی، ن.، ابریشم‌چی، ا. و تجریشی، م. (۱۳۸۳). "مدلسازی بهره‌برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب با استفاده از روش تحلیل دینامیک سیستم." اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [12] Simonovic, S. P., Ahmad, S., "System dynamics modeling of reservoir operation for flood management." Journal of computing in Civil Engineering, Vol. 14, No. 3, July 2000.
- [۱۳] مومنی، ا. (۱۳۸۳). "مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی سیستم." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [14] Forrester, J. W. And Senge, P. M., (1980). "Tests for building confidence in system dynamics models." In System Dynamics (A. A. Legast, J. W. Forrester and J. M. Lyneis, eds). Amsterdam: North-Holland.
- [۱۵] شرکت مهندسی مشاور پژوهاب، (۱۳۸۶). گزارش مطالعات بازنگری و بهنگام‌سازی بهره‌برداری از منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی دشت دامغان، تهران.
- [۱۶] شیخ خوزانی، ز. (۱۳۹۰). "بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن چند منظوره به روش پویایی سیستم مطالعه موردی سد دامغان." پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

## SYSTEM DYNAMIC MODELING OF MULTIPURPOSE RESERVOIR OPERATION TO ESTIMATE THE OPTIMAL HEIGHT OF THE DAM

Z. Sheikh Khozani<sup>1,\*</sup>, Kh. Hosseiny<sup>2</sup>, M. Rahimian<sup>3</sup>

1. M.Sc., Hydraulic Structural Engineer
2. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University
3. Semnan Regional Water Board, Semnan, Iran

\*Corresponding Author: y.sheikh2131@gmail.com

---

### ARTICLE INFO

Keywords:  
Simulation,  
Operation,  
System Dynamic  
Multipurpose  
Reservoirs.

### ABSTRACT

Water resources developments and the future planning need the management tools which would be capable to simulate the complicated systems in order to support decisions making. The main objective of this method of simulation is its simplicity and rapid learning of system behavior in present and future. System dynamics is a feedback –based object- oriented simulation approach which represents complex dynamic systems in a realistic way and also allows the involvement of users in model development. By this way, the confidence in modeling process increases. In this study, a dynamic model of Damghan dam (located in Semnan province) has been developed. The aim of this study is to determine the effect of different operation policies on the behavior of reservoir in supplying downstream demands until 2030. For this purpose, eight scenarios proposed. Among them, three scenarios give the best results in supplying the downstream demands. It is revealed that the application of suitable policies can provide the present demands and also the future developments. In this study, the dam height is optimized considering the suitable supply for downstream demands.

---