

## بهره برداری از مخزن چند منظوره

### با استفاده از روش شبیه سازی تحلیل دینامیک های سیستم

عباس منصوری<sup>۱</sup> و وحید خطیب<sup>۲</sup>

**چکیده:** در این مقاله بهره برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش تحلیل دینامیک های سیستم مورد بررسی قرار می گیرد. در این روش، تحلیل بر پایه بازخورد و اتفاقات شیء گرا می باشد. هدف از این تحقیق ارائه روش نو با استفاده از تکنیک پویایی سیستم برای شبیه سازی مخزن است. مدل شبیه سازی بر پایه تئوری تحلیل دینامیک های سیستم در نرم افزار Vensim تهیه گردیده است. این نرم افزار محصول کمپانی Ventana می باشد و محیط این نرم افزار، یک محیط مدل سازی گرافیکی شیء گرا می باشد. گام های طراحی مدل شامل تعریف متغیرها و فرمول بندی و نحوه محاسبه میزان ورودی و خروجی از مخزن سد براساس نیازهای پایین دست و شرایط طبیعی، شرح نمودار علت و معلولی و تبدیل آن به نمودار ذخیره و جریان و نهایتاً ایجاد مدل شبیه سازی در نرم افزار سیستم دینامیکی Vensim است. مدل مذکور جهت ارزیابی عملکرد سیستم سد موجود، افزایش اهداف بهره برداری آن از تک منظوره به چند منظوره، پیش بینی روند تغییرات مصارف موجود مخزن در حال حاضر، ارزیابی ورودی مورد نیاز برای نیازهای تعریف شده جدید به کار گرفته و سیاست های بهره برداری مختلف در راستای افزایش بهره وری آب بررسی شده است. مطالعه موردی بر روی سد مخزنی گلپایگان صورت گرفته که یکی از اجزای سیستم انتقال آب از حوضه دز به قمرود است. مدل براساس داده های وضع موجود سد گلپایگان مقایسه و صحت سنجی شده است. در این صحت سنجی نیازهای موجود بر اساس سری زمانی مصارف کشاورزی مخزن پیش بینی می شود. در حال حاضر این سد فقط نیاز کشاورزی پایین دست را تامین می کند. در سناریوهای ارائه شده توانایی مخزن موجود سد گلپایگان جهت تنظیم نیازهای شرب، صنعت و محیط زیست تعریف شده در طرح انتقال آب دز به قمرود ارزیابی شده است.

**کلید واژه:** تحلیل دینامیک های سیستم، شبیه سازی، بهره برداری از مخزن چند منظوره، مدل سازی، نمودار علت و معلولی، نمودار ذخیره و جریان، صحت سنجی

#### ۱- مقدمه

بهره برداری سیستم مخازن می باشد. مدل های ریاضی ابزار اصلی مطالعات در مهندسی سیستم ها است که رایج ترین آنها مدل های شبیه سازی می باشد. مدل های شبیه سازی برای ارزیابی عملکرد سیستم های آبی موجود و یا پیشنهادی و نیز سیاست های بهره برداری مورد استفاده قرار می گیرد. هدف این مدل ها بهبود بخشیدن به طرح ها و سیاست های بهره برداری است و حلقه باز خوردی دارد که به وسیله آن مهندسین می توانند متغیرهای قابل کنترل سیستم را در جهت بهبود بخشیدن به عملکرد سیستم و رسیدن به اهداف اصلی تغییر دهند. در مدل های شبیه سازی اگر کار بر آشنایی مقدماتی با سیستم داشته باشد می تواند راه حل مناسب را با سعی و خطا به دست آورد. در این تحقیق بهره برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش تحلیل دینامیکی سیستم مورد بررسی قرار گرفته و این روش تحلیل بر پایه بازخورد و اتفاقات شیء گرا می باشد. برای مدل سازی از مخزن سد گلپایگان که در جنوب غربی شهرستان گلپایگان واقع شده است استفاده گردیده است. هدف این مدل سازی شبیه سازی مخزن سد جهت افزایش اهداف بهره برداری می باشد بدین منظور که آیا این سد می تواند علاوه بر

گسترش بی رویه جمعیت، توسعه کشاورزی و رشد سریع صنایع، هر روز تقاضای آب را افزایش می دهد. در زمان های گذشته انسان به منظور تامین این نیازها به مهار آب های سطحی با سد سازی پرداخت. محدود بودن آب های قابل کنترل و افزایش مداوم نیازها وجود برنامه ریزی صحیح به منظور مدیریت آب و بهره برداری بهتر این منابع محدود را طلب می کند. در صورتی که از همین منابع موجود به شکل بهتری بهره برداری گردد، می توان نیاز فعلی و حتی آینده نزدیک را مرتفع ساخت. وجود درک درست و قابلیت پیش بینی شرایط می تواند برنامه ریزان را در استفاده بهتر از این آب ها و ایجاد یک بهره برداری بهینه با توجه به موقعیت های فصلی و اقلیمی و براساس توسعه پایدار، یاری نماید. اهداف مختلف در تحلیل سیستم های مخازن سبب ایجاد مدل های گوناگونی از این سیستم ها گردیده است. هدف اصلی اینگونه مدل ها قانونمند کردن و ارزیابی طرح های مختلف به منظور پاسخگویی به مسایل و نیازهای آبی می باشد. استفاده خاص از این مدل ها ارزیابی دوباره سیاست های

۱. استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب abbas\_mansoori2000@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز va\_khatib@yahoo.com

در بازه زمان طولانی بر روی سیستم مخزن کارون - دز انجام داد [۵].  
صادقی (۱۳۸۲)، مدل سازی بهره‌برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب را با استفاده از روش تحلیل دینامیکی سیستم انجام داده است که مطالعه موردی آن مخازن چاه نیمه سیستان بوده است.  
هدف از پژوهش فوق ارائه روش نو و موثر با استفاده از تکنیک تحلیل دینامیکی سیستم برای شبیه سازی چاه نیمه‌های چند منظوره سیستان با توجه به منظور کنترل سیلاب در سیاست های بهره‌برداری می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است سیستم مخزن چاه نیمه به طریقه دینامیکی مدل و قوانین سیاست گذاری مختلفی برای چاه نیمه ها آزمایش شود و بهترین آنها با معیار انتخاب گردد. که بیشترین تاثیر در کنترل سیل (کاهش دبی پیک رودخانه در دشت سیستان) را داشته باشد و تواناً تامین تقاضا ها به بهترین حالت خود برسد [۶].  
مومنی (۱۳۸۳)، شبیه سازی دینامیکی مخزن چند منظور سد زاینده رود و مصارف پایین دست آن را به منظور افزایش بهره‌وری آب موجود در سیاست های بهره‌برداری مورد بررسی قرار داد [۷].  
شناخت بهتر از منطقه مورد مطالعه و آزمایش سیاست‌های بهره‌برداری موردنظر تحت سناریوهای متفاوت و تعیین بهترین سیاست بهره‌برداری، تامین نیازهای پایه و اساسی موجود در منطقه در فصل‌های خشکسالی، افزایش سطح زیر کشت دشت های کشاورزی، تامین آب موردنیاز محیط زیست منطقه، همچنین کاهش میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در اثر منظم و قانونمند کردن بهره‌برداری از آب مخزن، استفاده از قابلیت پیش بینی جریان ورودی به مخزن سد از مهمترین اهداف این تحقیق است [۷].  
تشخیص مشکلات منطقه مورد نظر با استفاده از مطالعه دقیق و بررسی مطالعات انجام شده قبلی در آن منطقه از مهمترین قسمت های این تحقیق می‌باشد. با تشخیص مشکلات منطقه به تعریف و توضیح روش پویایی سیستم پرداخته و با استفاده از این روش، مدل تئوری برای حل مشکل نوشته و این مدل را در نرم‌افزار VenSim توسعه داده است. سپس با استفاده از اطلاعات موجود روابط بین متغیرها را تعریف و با آزمون‌های مختلف صحت ساختار مدل سنجیده شده است. در ادامه تحقیق با استفاده از داده‌های موجود با انجام آزمون های رفتاری، رفتار مخزن سد و جریان آب در رودخانه دوباره سازی گردیده تا به وسیله آن قوانین تصمیم گیری لازم برای ورود و خروج آب به مخزن و تخصیص آب به هر کدام از نیازهای منطقه تعیین

تامین نیاز کشاورزی، نیازهای محیط زیست، شرب و صنعت را تامین نماید؟

Yeh (1985) راه‌های مختلف موجود در زمینه شبیه‌سازی و مدیریت مخازن را بررسی نمود و به این نتیجه رسید که تحقیقات انجام شده در زمینه تحلیل سیستم‌ها در مخازن برای به کارگیری در عمل چندان مناسب نمی‌باشد ولی عامل این مشکل را ناگاهی کاربران به فرمول‌ها و مدل‌های کامپیوتری، ساده سازی بیش از حد سیستم و عدم تطبیق مدل فرضی با وضعیت و محدودیت‌های طراحی عنوان نمود. بنابراین ضرورت به کارگیری یک روش شبیه‌سازی که هم بر واقعیت منطبق باشد و هم امکان دخالت کاربر در توسعه مدل را ایجاد نماید آشکار می‌شود [۱].

از جمله افرادی که به بررسی مخازن، به روش تحلیل دینامیکی پرداخته اند می‌توان به چهار مورد زیر اشاره نمود:

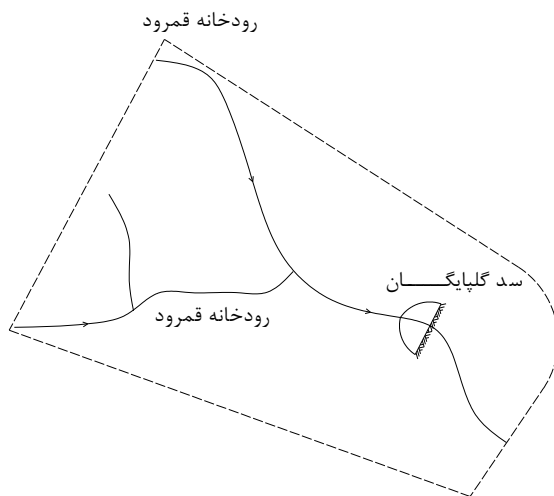
Royston (1999) روش فوق را در تامین تقاضای آب و بهره‌برداری از یک مخزن چند منظوره به کار گرفت. این تحقیق بر روی مخزن Lewis Smith در رودخانه Black Warrior انجام شده است. در این تحقیق همچنین مدلی در نرم افزار HEC-5 بررسی شده است، وی به این نتیجه رسید که مدل دینامیکی تقریب مناسب تری از شرایط واقعی مخزن را ارائه می‌دهد [۲].

simonovic & Ahmad (2000) با استفاده از این روش، بهره‌برداری از مخزن shellmouth در رودخانه Assiniboine را برای سال پرآبی و چندین سیلاب رخ داده بررسی نمودند. در این مطالعه، اثرات مدیریت سیلاب در مخازن با سرریزهای دریچه دار و سرریزهای بدون دریچه با یکدیگر مقایسه شده است و رفتار مدل برای شرط اولیه تراز مخزن تحلیل حساسیت شده است [۳].

SajjadAhmad & SlobodanSimonovic (2004)

دینامیک‌های سیستم سه بعدی را ابزاری جدید برای شبیه سازی سیستم‌های منابع آب بیان نمودند. دینامیک‌های سیستم سه بعدی یک ابزار جدیدی است که باز خورد مدل را بر اساس روند دینامیکی در زمان و مکان نشان می‌دهد [۴].

افشار (۲۰۰۴) بر روی بهینه سازی و شبیه سازی سیستم بهره برداری یک مخزن چند منظوره کار کرد، بدین صورت که بهینه سازی به روش برنامه ریزی دینامیکی و شبیه سازی به وسیله مدل Hec-5 را



شکل (۱) مرز جغرافیایی مدل

#### ۴-۲- شرایط مرزی

ورودی های مدل که شامل دبی رودخانه قمرود می باشد از شرایط مرزی مدل می باشد که به مدل اعمال می شود و براساس سری های زمانی شبیه سازی انجام می شود، بدین صورت که از لحاظ مکانی یک نقطه در ورودی دریاچه مخزن فرض می کنیم و در زمان های مختلف این نقطه بررسی می شود.

#### ۵- مدل سازی در Vensim

نمودارهای ذخیره و جریان ترسیمی در مدل با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیل مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش Runge-Kutta حل می شوند، ساخته می شود. زمینه مدل سازی Vensim از طریق استفاده از آیکن های اضافه نشان دهنده حوادث گسسته و نیز شامل بودن توابع منطقی و تصادفی، گسترده تر می شود.

روش مدل سازی در Vensim به این صورت است که: پیشرفت از کلیات به جزئیات صورت می گیرد به طوریکه به صورت تدریجی توابع و اجزای متصل شده بیشتر می شود. تا یک مدل کامل شود و برای اجرا آماده گردد.

وقتی که نمودار سیستم ساخته می شود، Vensim یک سری از معادلات مربوط را می سازد و مدل ساز باید شکل توابع یا مقادیر اولیه را به صورت دقیق به نرم افزار وارد کند. خروجی یک شبیه سازی می تواند به صورت اطلاعات یک سری زمانی یا نقاط پراکنده نمایش داده شود.

گردد. براساس سیاست های اعمال شده رفتار سیستم تحت جریان های ورودی به مخزن زاینده رود پیش بینی گردیده است [۷]. بنابراین با گزینش روش تحلیل دینامیکی سیستم، با استفاده از مدل دینامیکی Vensim، شبیه سازی بهره برداری مخزن چند منظوره سد گلپایگان در این تحقیق انجام شده است.

#### ۲- مواد و روش ها

##### ۲-۱- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

- تدوین مدل مفهومی به وسیله درک کیفی از عوامل موثر بر بهره برداری از یک مخزن چند منظوره  
- بررسی قوانین و روابط کمی حاکم بر بهره برداری از مخزن برای طرح مشخص ساخت مدل شبیه سازی  
- کالیبراسیون مدل با استفاده از رفتار مرجع تشخیص داده شده برای مدل  
- ارائه سناریو جهت تحلیل اطلاعات  
- نتیجه گیری  
در گام های طراحی مدل از اولویت های ذیل پیروی شده است:

- دسته بندی و آنالیز داده های پایه ( شامل آمار ورودی ماهانه و سالانه به مخزن، تبخیر از سطح مخزن و ...)
- تعریف متغیرها و فرمول بندی و نحوه محاسبه میزان ورودی و خروجی از مخزن سد براساس نیازهای پایین دست و شرایط طبیعی
- شرح نمودار علت و معلول
- فرآیند تبدیل نمودار علت و معلولی به نمودار ذخیره و جریان
- ایجاد مدل شبیه سازی در نرم افزار سیستم دینامیکی Vensim
- پس از تهیه مدل مرحله بعدی اعتبار سنجی و آزمون آن می باشد که با داده های وضع موجود سد گلپایگان این مقایسه و آزمون صورت گرفته است.

#### ۳- شرایط اولیه مدل

حجم و تراز اولیه مخزن در ابتدای دوره شبیه سازی می باشد و فرض بر این است که مخزن در ابتدای دوره شبیه سازی در تراز ۱۹۰۲.۳۵ قرار دارد و شرط اولیه بر این اساس در مدل اعمال شد. که میانگین ترازهای مشاهده شده در سال های مختلف بهره برداری است.

#### ۴- مرزهای مدل

##### ۴-۱- مرز جغرافیایی مدل به صورت شماتیک

مرز جغرافیایی مدل در شکل (۱) ارائه شده است:

## ۶- داده‌های موردنیاز جهت شبیه‌سازی

مخزن یک سد دارای ورودی و خروجی می‌باشد. ورودی‌های مخزن سد مورد مطالعه فقط شامل دبی رودخانه قمرود می‌باشد که در این تحقیق از آمار ۱۲ ساله استفاده شده است.

خروجی این سد نیز در وضع موجود، علاوه بر تبخیر، نیاز کشاورزی پایین دست می‌باشد. و با توجه به اینکه در طرح توسعه سد نیز تامین نیازهای شرب و صنعت و محیط زیست نیز مدنظر قرار دارد. بنابراین بررسی این مساله که آب این سد قادر به تامین چند نیاز می‌باشد یا خیر اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد. لذا تنها از داده‌های موجود در کشاورزی می‌توانیم جهت اعتبار سنجی مدل استفاده کنیم.

داده‌های ورودی به مدل شامل موارد ذیل می‌باشد:

- مشخصات مخزن (نمودار سطح، حجم، ارتفاع، رقوم ارتفاع بهره‌برداری، منحنی‌های فرمان و...)
- نقاط کنترل و بهره‌برداری
- مشخصات روندیابی رودخانه
- فایل ورودی سری‌های زمانی

بیشترین ظرفیت این مدل در تعیین فرامین متفاوت بهره‌برداری می‌باشد که توانایی تهیه طرح مطلوب در شرایط کنترل سیلاب را دارد. همچنین توانایی ایجاد سناریوهای مختلف در شرایط بهره‌برداری، کنترل نقاط پایین دست، تعادل سیستم مخزن تحت تاثیر شرایط هیدرولوژیکی و سازه‌های متفاوت موجود در بدنه سد را دارد. همچنین توانایی مقایسه خروجی با مشاهده داده‌ها، تعیین سطوح متفاوت بهره‌برداری، گام‌های متفاوت محاسبات سری‌های زمانی و تنظیم کردن میزان خروجی سد را دارد [۷].

## ۷- مدل Vensim

این مدل یک نرم‌افزار شبیه‌سازی و یک محیط مدل‌سازی گرافیکی شی‌گرا می‌باشد که توسط شرکت Ventana ایجاد شده است.

رمز موفقیت Vensim این است که افراد می‌توانند مدل‌های پیچیده را توسط این نرم‌افزار بدون داشتن ریاضیات قوی مدل‌کنند که این خاصیت به علت پایه گذاری نرم‌افزار براساس تحلیل هیدرولوژیک مخزن و لوله‌ها پایه گذاری شده است. آیکن‌های مخزن و لوله می‌توانند برای ساخت یک شبکه پیچیده به کار روند آیکن مخزن که به شکل مستطیل می‌باشد، برای نشان دادن متغیر ذخیره یا سطح (Storage) استفاده می‌شود. همچنین آیکن‌های لوله نماینده

متغیرهای جریان یا نرخ (Flow) هستند که باعث افزایش یا کاهش متغیر ذخیره می‌شوند. متغیرهایی که با روابط دیفرانسیلی به هم متصل نشده‌اند هر کدام توسط یک مبدل (Converter) نشان داده می‌شوند و روابط علت و معلولی آن توسط رابط (Connector) نمایش داده می‌شود.

نمودارها با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش Euler یا Runge - kutta حل می‌شوند ساخته می‌شود. روش مدل‌سازی در Vensim 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 شود و برای اجرا آماده گردد. Vensim برای بازه وسیعی از فعالیت‌های آکادمیک تحقیقی و تجاری مفید است. در استفاده‌های آکادمیک نرم افزار پتانسیل کاربرد در سطح مدل‌سازی مالی، مدیریت، مدیریت استراتژیک، اقتصاد، مدیریت تولید و بهره‌برداری سیستم‌های اطلاعاتی را دارد. از لحاظ وجود توابع ریاضی، نرم‌افزار یک بازه محدود از توابع را نیز دارد. یکی از قدرت‌های نرم‌افزار این است که به صورت اتوماتیک، با اطمینان حاصل کردن از اینکه عناصر در نقشه سیستم‌های مفهومی با عناصری که در فرمول‌های ایجاد شده توسط مدل ساز تطابق دارد. خطاها را در فرمول‌های وارده بررسی می‌کند. بعلاوه تغییر در فرمول‌ها و داده‌های ورودی آسان است و وارد کردن داده‌ها از طریق نمودارها یا جداول ساده می‌شوند. در ضمن Vensim قابلیت بصری کردن تمام عناصر سیستم برای بالا بردن فهم و جدایی مدل را دارا است [۷و۸].

## ۸- متغیرها و پارامترهای کلیدی

متغیرها و پارامترهای کلیدی موردنیاز در ساخت مدل عبارتند از: بازه زمانی که به صورت ماهانه در نظر گرفته شده است (time step)

ماه متناظر با زمان شبیه‌سازی (month)

حجم ذخیره سد (storage)

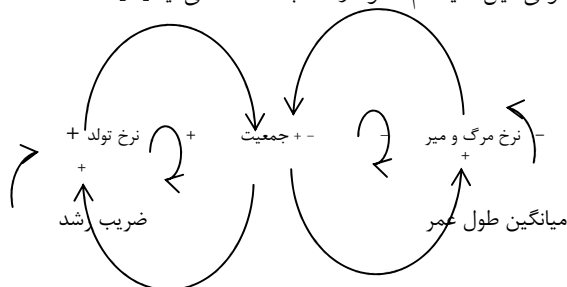
تراز مخزن سد (H)

نیاز مربوط به زهکشی که به صورت ماهانه در مدل اعمال می‌شود (Drainage)

- نیاز d1 (نیاز کشاورزی)
- نیاز d2 (نیاز محیط زیست)
- نیاز d3 (نیاز شرب و صنعت)

علامت مثبت به معنی آن است که اگر علت، افزایش یابد اثر نیز افزایش می یابد و اگر علت کاهش یابد اثر نیز روند کاهشی خواهد داشت.

علامت منفی بیان کننده این است که اگر عاملی کاهش یابد، اثر افزایش خواهد یافت و اگر علت افزایش یابد اثر روند کاهشی خواهد داشت علامت رابط ها، ساختار سیستم را شرح می دهد آنها قادر به تعیین رفتار متغیرها نمی باشند بلکه مشخص می کنند اگر تغییری در عامل اتفاق افتد روند تغییر معلول چگونه خواهد بود. پس از اینکه متغیرهای کلیدی در این سیستم بهره برداری تشخیص داده شد از تقابل آنها، نمودار علت و معلولی این سیستم (نمودار ۱) به دست می آید [۶].



نمودار (۱) علت و معلولی

#### ۱۰- طریقه رسم نمودار ذخیره و جریان

تحلیل دینامیکی سیستم برای رسم نمودارهای ذخیره و جریان، نمایش خاصی دارد که در آن:

- ذخیره ها با مربع نمایش داده می شوند.
- جریان های ورودی با لوله های (بردار) که سر آن به یک ذخیره منتهی می شود و جریان های خروجی با لوله های که از ذخیره خارج می شود نمایش داده می شوند. شیرهای روی لوله ها جریان ها را کنترل می کند.
- ابرها چشمه و چاه ها را برای جریان ها مشخص می نماید. یک چشمه نشان می دهد که ذخیره از کدام منبع خارج از مرزهای مدل سرچشمه گرفت است و چاه نیز نمایانگر این است که ذخیره به کدام جریانی که مرزهای مدل را ترک می کند وارد می شود فرض شده است که چشمه ها و چاه ها ظرفیت بی نهایت دارند و هرگز برای جریان ها محدودیتی ایجاد نمی کنند. ساختار همه ذخیره ها در نمودار (۲) ارائه شده است [۴].

- Spill (تابعی است که معرف میزان سرریز از مخزن ذخیره می باشد)
- Input (ورودی به مخزن می باشد)
- Supply (تابع مربوط به تامین نیازهای d1, d2 و d3 می باشد)
- Output (این تابع بیانگر خروجی از مخزن سد می باشد)
- خلاصه محاسبات توابع به کار گرفته شده در مدل
- Vmax (حجم ماکسیمم مخزن)
- نحوه محاسبه spill:

$$Spill = storage + (input + d1 - e) - Vmax$$

نحوه محاسبه توابع مربوط به تامین نیازهای d1, d2 و d3: جهت محاسبه این نیازها باید با توجه به حجم ماکزیمم و می نیمم مخزن و معین نمودن محدوده مجاز برداشت و اولویت بندی در تامین نیازها این روابط محاسبه شده اند.

به طور مثال نیاز کشاورزی به صورت ذیل محاسبه می شود:

Supply1 = IF THEN ELSE( (storage + (input-d1-e)\*Time step >= Vmi, (d1), (IF THEN ELSE ((storage+(input-d1-e)\*Time step < Vmi AND: (Storage + (input-d1-e)\*Time step >= 0), IF THEN ELSE((storage+(input-e)\*Time step >= Vmi: AND: (storage+(input-e)\*Time step < Vma))), (storage/Time step + (input-e)-Vmi/Time Step , (0),(0))))

نحوه محاسبه خروجی از مخزن (output):

$$Out = Supply1 + Supply2 + Supply3 + e + Spill + drainage$$

#### ۹- تشکیل نمودار علت و معلولی

طریقه ترسیم این نمودارها بسیار ساده است ولی این مرحله جزء جدایی ناپذیر مدل سازی به روش دینامیکی است. نمودارهای علت و معلولی از متغیرهایی تشکیل می شود که ارتباط بین آنها را توسط فلش هایی نمایش می دهند و حلقه ای باز خوردی مهم نیز که این نمودارها باید مشخص گردد، متغیرها توسط رابط های سببی به یکدیگر متصل اند برای درک مفاهیم فوق مثالی ارائه می شود.

نرخ تولد توسط جمعیت و ضریب رشد تعیین می شود، هر رابط سببی دارای علامتی است که بیان کننده تاثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته می باشد. جهت حلقه های مهم به وسیله شاخص حلقه نمایش داده می شود. این شاخص می تواند مثبت (خود تقویت کننده) یا منفی (متعادل کننده) باشد.

چون آب زیرزمینی و... به یک نرم افزار موجود پیش می‌آید، در این حالت به دلیل عدم احاطه کامل کاربر بر نقاط قوت و ضعف مدل، تنها راه چاره به کارگیری زبان های برنامه نویسی و نگارش یک برنامه جدید است [۸].

امروزه سعی بر این است که از قابلیت زبان های برنامه نویسی شیء‌گرا استفاده شود که زبان برنامه نویسی دینامیک سیستم ها از جمله این زبان هاست که با توجه به قابلیت شفاف سازی امکان توسعه گروهی مدل را فراهم می‌سازد. در تحقیق حاضر از این فناوری جدید که در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، کنترل پروژه استفاده شده بود در زمینه مدیریت منابع آب استفاده شد.

با به کارگیری این روش می‌توان ابعاد مختلف مدیریت منابع آب را که یک مدیریت چند وجهی است به همدیگر به هم پیوسته (Integrated) نمود.

در تحقیق مذکور تامین نیازهای کشاورزی، شرب، صنعت و محیط زیست در سناریوهای مختلف به مدل اعمال شده است.

### ۱۳- پیشنهادات

۱- در تحقیق مذکور جهت پیش بینی نیاز کشاورزی از نمودار همبستگی استفاده شده است در حالی که می‌توان جهت پیش بینی این نیاز از توابع موجود در مدل استفاده نمود.

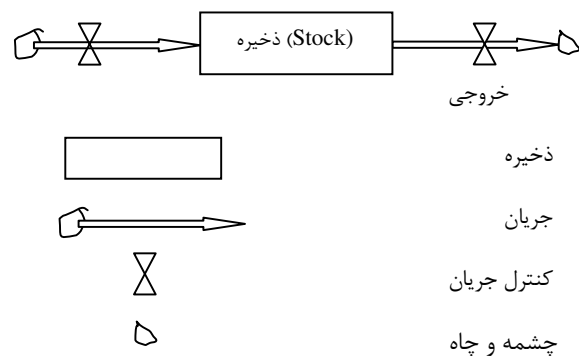
۲- اطمینان از صحت الگوی مصرف. اطلاعات موجود برای مصارف از قبیل کشاورزی و محیط زیست مربوط به حداقل ۱۲ سال پیش است و مسلماً در این مدت نواقص طرح گذشته آشکار شده است که باید به تصحیح آن پرداخت.

۳- مشخص نمودن اختلاف بین نحوه برداشت داده ها از لحاظ زمانی و چگونگی تبدیل آنها به یکدیگر و جمع آوری اطلاعات منطقه در یک مجموعه واحد.

۴- انجام تحلیل آماری و یا هیدرولیکی بر داده های موجود برای تعیین سهم سیلاب رودخانه قمرود در محل سد گلپایگان و تخمین افزایش حجم مخزن.

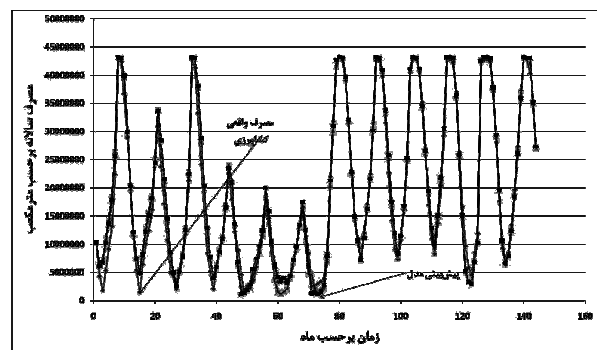
### مراجع

- 1- Yeh, W. W-G , “ Reservoir Management and Operation models: A State of – Art Review “ , Water Resources Research , Vol 121, No. 12 , 1797-1818, 1985 .
- 2- W.J. Cox Royston., “ Use of Object – Oriented



### نمودار (۲) ذخیره و جریان

این بخش اساسی‌ترین قسمت مدل سازی است با توجه به اینکه نرم‌افزار Vensim برای اعمال روابط ریاضی و منطقی شرایط خاصی دارد و نیازمند نمودار ذخیره و جریان است تا از این طریق عملیات شبیه‌سازی انجام شود. [۶].



### نمودار (۳) مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع

#### ۱۱- مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع (اعتبار سنجی)

پس از پیش‌بینی مصرف سالانه کشاورزی در مدل Vensim نمودار مربوط به آن با نمودار مصرف واقعی کشاورزی در پایین دست سد گلپایگان بر اساس داده‌های ۱۲ ساله مقایسه گردید، سپس پس از مشاهده همپوشانی دو نمودار بر یکدیگر عملیات کالیبراسیون در مدل تکمیل گردید. در نمودار (۳) مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع ارائه شده است.

#### ۱۲- نتیجه‌گیری

جهت برنامه‌ریزی بهره‌برداری از سدهای چند منظوره می‌توان از مدل‌های آماده و همچنین برنامه‌ریزی به زبان های مختلف استفاده کرد. گاهی در برنامه‌ریزی ها، نیاز به اضافه نمودن برنامه جانبی مثل پیش‌بینی بعضی از متغیرها، مدل سازی بهره‌برداری از سایر مخازن آبی

Programming in Water Supply System Modeling  
“, The 26 th Ann. Water Resources Plg. and  
Mgm. Conference, ASCE, Temp-Aarizona., June  
6-9, 1999

3- Simonovic P.S., Ahmad , S “System Dynamics  
Modeling of Reservoir Operation for Flood  
Management , Journal of Computing in Civil  
Engineering., Vol.14,No..3July 2000.

4- SajjadAhmad & Slobdan Simonovic,Spatial  
System Dynamics:New Approach For  
Simulation Of Water Resources  
Systems,340/Journal Of Computing In Civil  
Engineering Asce/October 2004

5- AFSHAR Abbas,SEYED JAMSHID  
MOUSAVI

Journal of water supply: research and technology .

AQUA ISSN 1606-9935 ,2004, vol. 53, no6, pp.  
409-424

[16 page(s) (article)] (14 ref) .

۶- صادقی، مدل سازی بهره برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب

با استفاده از روش تحلیل دینامیکی سیستم،مطالعه موردی(مخازن

چاه نیمه سیستان)،دانشگاه صنعتی شریف،آذر ۱۳۸۲

۷- موءمنی، شبیه سازی دینامیکی مخزن چند منظور سد زاینده رود و

مصارف پایین دست آن به منظور افزایش بهره وری آب موجود در

سیاست های بهره برداری، مطالعه موردی (سد زاینده رود)،

دانشگاه صنعتی شریف، دی ۱۳۸۳

8- USACE-HEC,HEC-ResSim Reservoir System  
Simulation,User manual,Us Army Corps Of  
Engineers,Hydrologic Enginers Center.Sep  
03,PP:426