



مدلسازی بهره‌برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب با استفاده از روش تحلیل دینامیک سیستم

نوشین صادقی، کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی شریف*

احمد ابریشم چی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف**

مسعود تجربی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

* تلفن: ۰۲۱-۴۴۲۸۴۸۵، پست الکترونیکی: n_sadeghi@mehr.sharif.edu

** تلفن: ۰۲۱-۶۱۶۴۲۳۸، پست الکترونیکی: abrisham@sharif.edu

چکیده

امروزه هدف تکنیک‌های شبیه‌سازی تنها شرح سیستم‌های پیچیده بر اساس واقعیت نیست؛ بلکه دخالت کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی در فرآیند مدلسازی از جمله ملزومات روش‌های شبیه‌سازی است. تحلیل دینامیک سیستم، روشی است بر پایه بازخورد و اتفاقات شیء گرا. این روش در تحقیق حاضر برای مدلسازی بهره‌برداری مخازن مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله نقاط قوت این روش شبیه‌سازی می‌توان به افزایش سرعت توسعه مدلسازی، افزایش اعتماد به مدل در اثر مشارکت کاربر، امکان توسعه گروهی مدل و ارتباط مؤثر با نتایج اشاره نمود. آسانی ایجاد تغییر در مدل و توانایی انجام آنالیز حساسیت، این روش را از سایر روش‌های دیگر تحلیل مدلسازی بهره‌برداری از مخازن جذابتر کرده است. تحقیق پیشنهادی بر روی مخازن چند منظوره چاه‌نیمه سیستان انجام گرفته است. این مخازن به صورت خارج از مسیر بر روی رودخانه سیستان در شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان جمهوری اسلامی ایران واقع شده‌اند. قواعد بهره‌برداری در سال‌های پرآب و در راستای کاهش سیلاب اعمال می‌شود. قابلیت مدیریت سیلاب توسط مخازن به وسیله قرار دادن آنگیر دریچه‌دار در ابتدای کانال انحرافی و سد دریچه‌داری در انتهای مخازن ایجاد شده است. گام‌های مدلسازی روش تحلیل دینامیک سیستم برای کنترل سیلاب رودخانه سیستان با پیک $2200 \text{ (m}^3/\text{s)}$ بر روی مخازن چاه‌نیمه توسعه داده شده است. در نهایت اعتبار مدل به روش‌های مختلفی چون تحلیل حساسیت، آزمون‌های حدی و غیره سنجیده شده است.

کلید واژه‌ها: تحلیل دینامیکی سیستم، سیلاب، بهره‌برداری مخازن چاه‌نیمه، مدلسازی

۱- مقدمه

ایران دارای نواحی متعددی با استعداد سیل خیزی بالاست؛ از این رو لزوم بکارگیری روش‌های کنترل سیلاب در نواحی سیل خیز کاملاً مشهود است. اولین گزینه انتخاب شده برای حل این معضل استفاده از روش کنترل سازه‌ای می‌باشد که اکثراً بصورت ایجاد مخازن و سیل‌بند اجرا شده است. توجهات اقتصادی، لزوم بهبود نتایج و کارایی سیاست‌های بهره‌برداری مخازن، ما را به سمت تحقیقات و بکارگیری روش‌های غیرسازه‌ای تحلیل سیستم‌های پیچیده به عنوان ابزاری برای کنترل سیلاب سوق می‌دهد. مدل‌های مرسوم مهندسی سیستم‌ها که در مخازن به کار گرفته شده‌اند، مدل‌های شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و ترکیب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی می‌باشند. 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. *Yeh (1985)* و *Wurbs et al (1985)* فهرست جامعی از منابعی ارائه کردند که روش‌های بهینه‌سازی را در تحلیل بهره‌برداری از مخازن بکار گرفته بودند [۱ و ۲]. مدل‌های شبیه‌سازی مخازن ابتدا در سال ۱۹۵۳ در ایالات متحده با مطالعات *USACE*^۱ بر روی شش مخزن روی رودخانه میسوری آغاز گردید. از جمله مدل‌های شبیه‌سازی مخزن می‌توان به مدل *HEC-5* و *TAMUWRAP* اشاره نمود.

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های شیئی گرا بسیار عمومیت یافته است. این مدل‌ها همراه با ارتباط آسان با کاربر، نرم‌افزارهای مدیریت داده و مدل‌های شبیه‌سازی شیئی گرا، نرم‌افزارهای انعطاف‌پذیری را برای ساختن مدل‌های مطالعاتی سیستم مخازن ایجاد می‌نماید. روش تحلیل دینامیکی سیستم، روشی برپایه بازخورد بوده و شیئی گرا^۲ می‌باشد که دارای تاریخچه طولانی در مدلسازی می‌باشد. این روش ابتدا توسط *Forrester (1961)* جهت درک بهتر مسایل استراتژی در سیستم‌های دینامیکی پیچیده ابداع گردید [۳]. *Palmer et al (1993 و 1995)*. فعالیت‌های زیادی را در حوزه رودخانه با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی انجام دادند [۴]. *Keyes (1993)* و *Palmer* روش فوق را در شبیه‌سازی مطالعات خشک‌سالی به کار گرفتند [۵]. *Fletcher (1998)*. این روش را به عنوان یک روش تحلیل تصمیم در مدیریت کم‌آبی استفاده نمود [۶]. *Simonovic (1997)* و *Simonovic (1999)* و *Fahmy* از روش فوق برای ارزیابی دراز مدت منابع آبی و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حوزه رودخانه نیل در مصر بهره جستند [۷]. *Royston (1999)* این روش را در تأمین تقاضای آب و بهره‌برداری از یک مخزن چند منظوره به کار گرفت [۸]. *Ahmad و Simonovic (2000)* با استفاده از این روش، بهره‌برداری از یک مخزن را برای سال پرآبی و چندین سیلاب رخ داده بررسی و رفتار مخزن را در برابر سیلاب شبیه‌سازی کردند [۹]. هدف از این پژوهش ارائه روشی نو و مؤثر با استفاده از تکنیک تحلیل دینامیکی سیستم برای شبیه‌سازی چاه‌نیمه‌های چند منظوره سیستم با توجه به منظور کنترل سیلاب در سیاست‌های بهره‌برداری می‌باشد.

۲- تحلیل دینامیکی سیستم در مدلسازی بهره‌برداری از مخزن

از جمله مفاهیم اساسی در روش *SD*، قانون پیوستگی است که مفهوم اساسی روندیابی در مخازن می‌باشد. این روش مدلسازی از چهار ابزار ذخیره، جریان، رابط‌ها و تبدیل‌کننده‌ها استفاده می‌نماید و به وسیله آنها ذهنیت مدلساز را به نمودارهای علت و معلولی و در نهایت به نمودار ذخیره و جریان تبدیل می‌نماید. روند بررسی مسئله و تولید مدل در شکل ۱ نمایش داده شده است. اکثر هنر مدلسازی دینامیکی سیستم‌ها، پوشش و نمایش فرآیند بازخورد است که همراه با ساختار ذخیره^۳ و جریان^۴، تأخیر زمانی و توابع غیرخطی، دینامیک سیستم را تعریف می‌کند. همه دینامیک‌ها از دو نوع حلقه بازخوردی، مثبت (خود تقویت‌کننده) و منفی (خود اصلاح‌کننده) به وجود می‌آید. حلقه منفی هدف را جستجو می‌کند. این حلقه با ساختار جستجوگر خود توازن و پایداری را در سیستم تولید می‌نماید [۳ و ۹].

۳- ساختار مدل

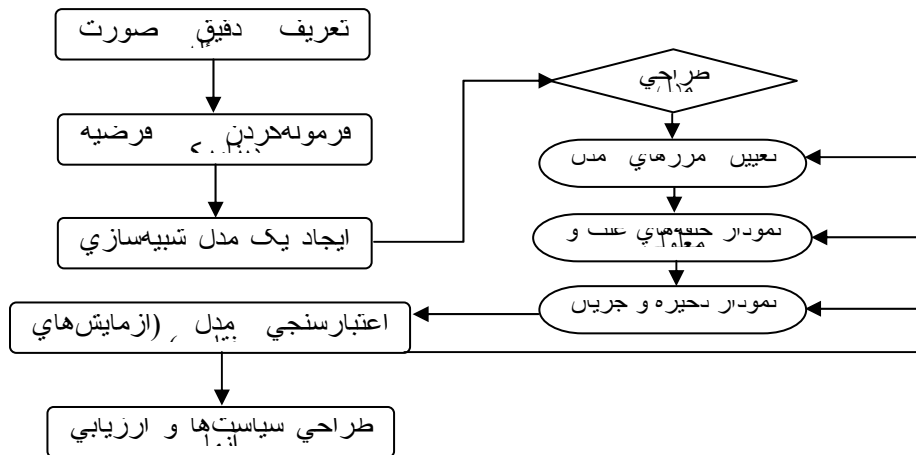
هدف مدلسازی در این مقاله، بهره‌برداری مناسب از مخازن چند منظوره چاه‌نیمه برای کنترل سیلی با دبی پیک $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ در رودخانه سیستم است. شکل ۲، نمودار شماتیکی ارتباطات ناحیه را نشان می‌دهد.

^۱ US Army Corps of Engineers

^۲ Object Oriented

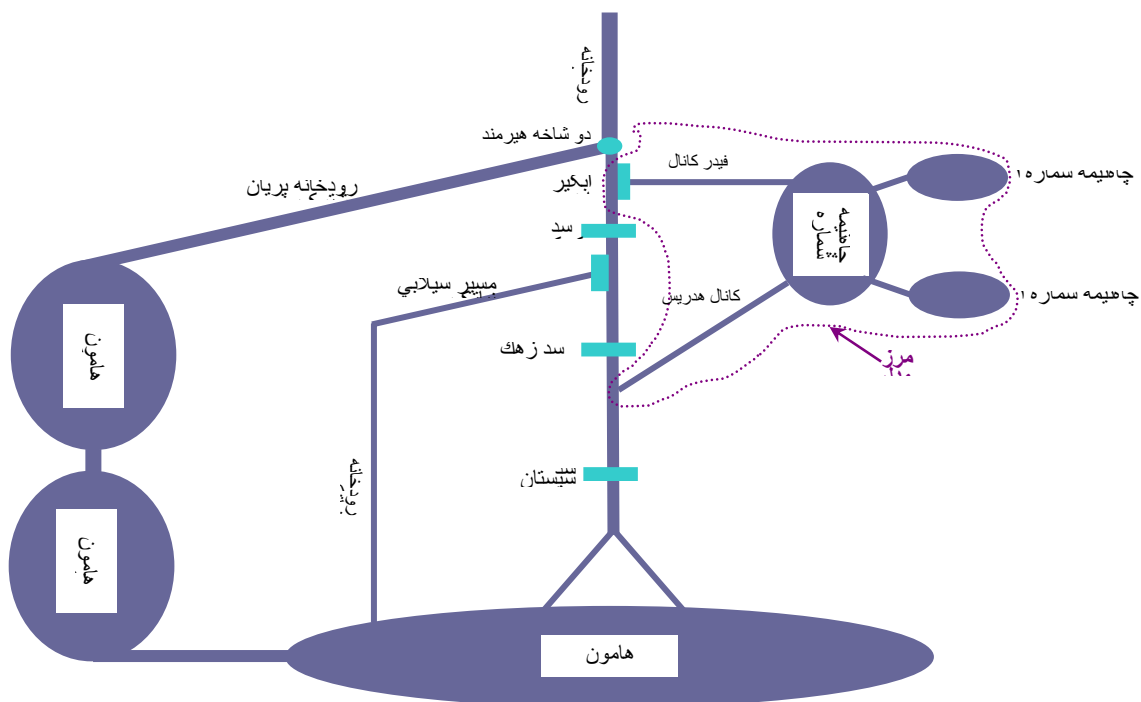
^۳ Stock

^۴ Flow



شکل ۱- الگوریتم حل مسئله در روش سیستم دینامیکی [۳].

اولین هیدروگراف ورودی به سیستم، هیدروگراف سیلابی رودخانه سیستان است. این سیلاب در محل اتصال فیدر کانال^۱ به رودخانه بر حسب شرایط هیدرولیکی رودخانه و فیدر کانال بین این دو شاخه تقسیم می‌شود. به این منظور مدل هیدرولیکی برای فیدر کانال و رودخانه باید اجراء شود. سیستم مخازن چاه نیمه عبارت است از مخازنی مصنوعی که به دلیل انحراف آب به سمت گودی‌های طبیعی زمین شکل گرفته است. این مخازن با یکدیگر ارتباط داخلی دارند. هنگامی که تراز مخازن به ۴۸۱ متر می‌رسد از یکدیگر مجزا می‌شوند. در دوره‌های خشک‌سالی ممکن است که این مخازن مستقل از هم عمل کنند ولی در سال‌های سیلابی که مد نظر است به یکدیگر مرتبط می‌باشند.



شکل ۲- نمودار شماتیک ارتباط‌های مخازن چاه نیمه

طبق قاعده ظروف مرتبط می‌توان در حالت اتصال مخازن، تراز آنها را یکسان در نظر گرفت و سه مخزن را یک مخزن با حجم، سطح و ارتفاع معادل در محاسبات وارد نمود. تنها میزان آب قابل ملاحظه ورودی به سیستم،

1 Feeder Channel

آب ورودی به فیدر کانال از طریق رودخانه سیستان است. در این مدل از بارش روی مخزن در طول دوره‌های سیلابی صرف‌نظر می‌شود. افزایش میزان آب ورودی، تأثیر مثبتی بر تراز چاه‌نیمه دارد. سیستم چاه‌نیمه مخازن چند منظوره است که علاوه بر کنترل سیلاب باید آب کشاورزی مناطق تحت آبیاری رودخانه سیستان در فصول کم‌آبی و آب شرب شهرستان زابل و زاهدان را برآورده سازد. خروجی آب‌های کشاورزی از طریق کانال هدیریس^۱ و از طریق سد کنترلی دریچه‌داری صورت می‌پذیرد. خروج آب کشاورزی و شرب جزء برداشت‌ها از حجم مخزن به شمار می‌آید. افزایش تقاضای آب شرب و آب کشاورزی تأثیر منفی بر تراز مخزن دارد. به علت دمای بالا و باد شدید در منطقه حجم تبخیر قابل ملاحظه است در برداشت‌های مخزن لحاظ می‌شود. در نهایت از طریق کانال هدیریس، سیلاب به رودخانه سیستان بازمی‌گردد. مرز مدل شامل ابتدای رودخانه سیستان از محل دو شاخه هیرمند تا انشعاب فیدر کانال، فیدر کانال، مخازن چاه نیمه و کانال هدیریس می‌باشد (شکل ۲).

با توجه به مطالب گفته شده درباره ناحیه مورد مطالعه، متغیرهای کلیدی تشخیص داده شده، تقابل آنها و نمودار علت و معلولی این ناحیه بدست می‌آید. این نمودار که در شکل ۳ ارائه شده است، اساس مدل را تشکیل می‌دهد. برای اجرای یک مدل شبیه‌سازی بوسیله ابزار مدل‌سازی کامپیوتری چون *Vensim* و *Stella* باید حلقه‌های علت و معلولی (*CLDs*) را به نمودارهای ذخیره و جریان (*SFDs*) تبدیل نمائیم. برای تبدیل نمودار علت و معلولی به نمودار ذخیره و جریان از مطالعات (*Burns* (۲۰۰۱) استفاده شده است. در نهایت شکل ۳ به شکل ۴ تبدیل می‌شود و پایه مدل‌سازی را تشکیل می‌دهد [۱۰].

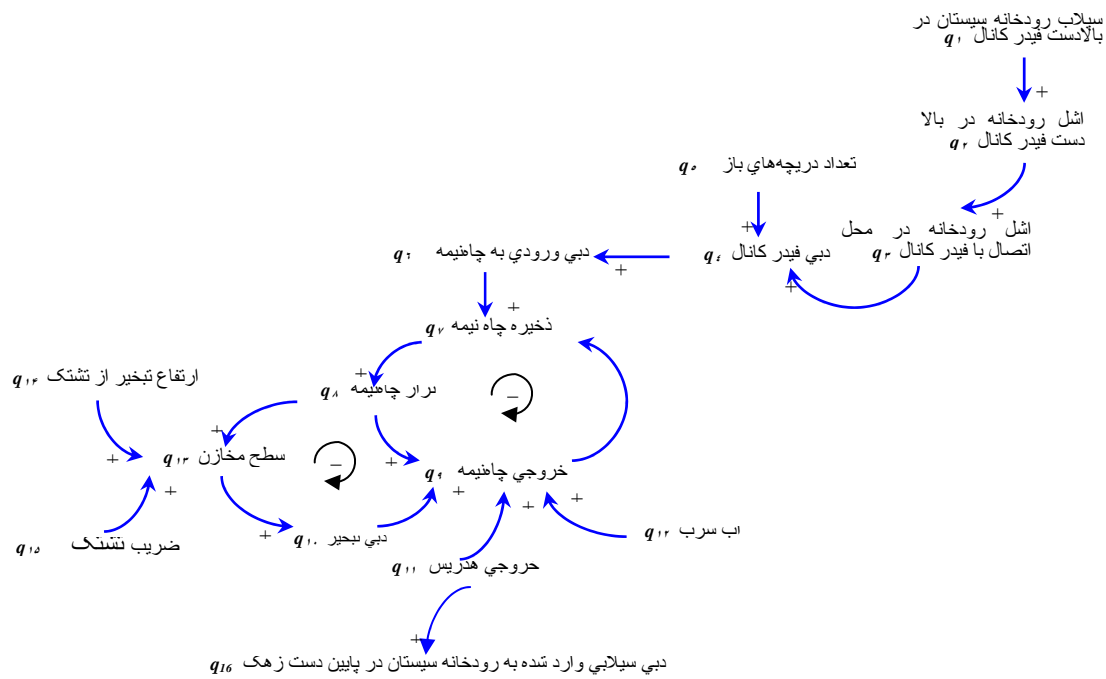
۴- ایجاد مدل شبیه‌سازی

با مرجع قرار دادن شکل ۴ و اضافه نمودن متغیرهای کمکی که لازمه نوشتن معادلات در نرم‌افزار *Vensim* می‌باشد، مدل نهایی با روابط تعریف شده در این نرم‌افزار نوشته شده است. این مدل دارای چهار بخش مجزا است.

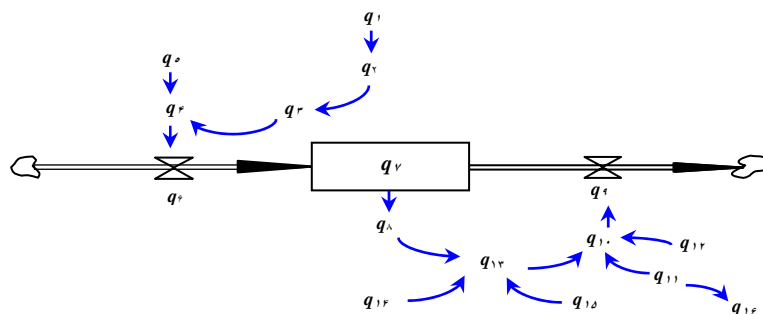
۱. تعیین مقدار جریان مازاد تقاضای کشاورزی
۲. تعیین تراز رودخانه طبق شرایط هیدرولیکی
۳. تعیین دبی ورودی به فیدر کانال طبق شرایط هیدرولیکی و فضای خالی مخازن چاه‌نیمه
۴. تعیین هیدروگراف خروجی از چاه‌نیمه

در بخش ۱، با استفاده از داده‌های تقاضای کشاورزی و سیل سال ۷۰-۱۳۶۹ آب مازاد کشاورزی محاسبه می‌شود. دبی ورودی به فیدر کانال بر اساس مسئله دو دریاچه که توسط هندرسون بیان شده است بدست می‌آید. در این راستا برای رودخانه و فیدر کانال مدل‌های جداگانه‌ای در نرم‌افزار *HEC-RASS* نوشته شده است [۱۱]. با انجام یک الگوریتم سعی و خطا نمودار دبی-اشل رودخانه بالادست در ترازهای مختلف چاه‌نیمه و نمودار دبی-اشل ابتدای فیدر کانال برای تعداد دریچه باز مشخص و در ترازهای مختلف چاه‌نیمه تهیه شده است [۱۲].

¹ Headrace Channel



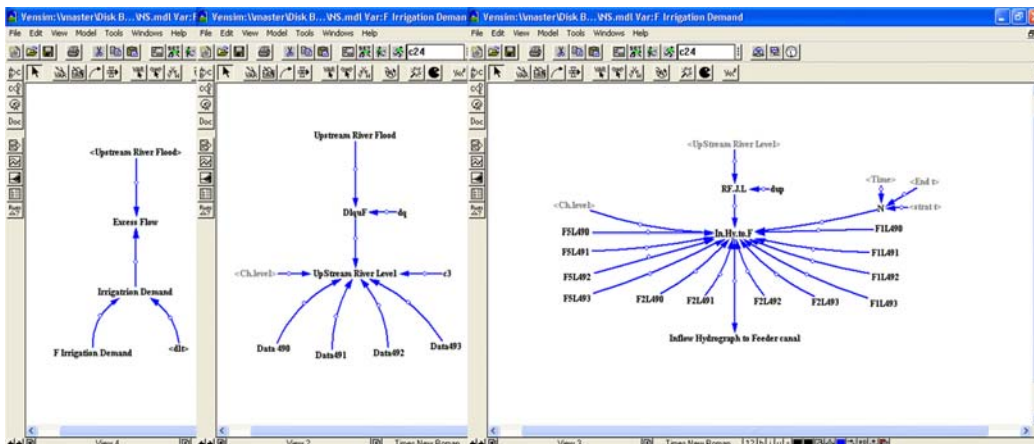
شکل ۳- نمودار حلقه‌های علت و معلولی ورودی به سیستم



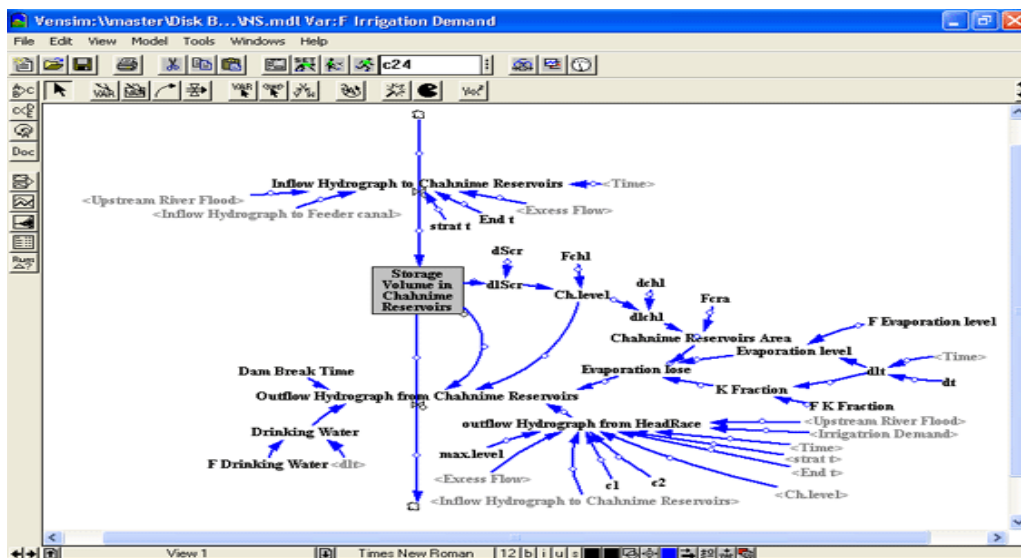
شکل ۴- نمودار ذخیره و جریان

بخش های ۲ و ۳ مدل با استفاده از نتایج هیدرولیکی دبی - اشل رودخانه بالادست و ابتدای فیدر کانال، مقدار دبی که فیدر کانال در اثر باز بودن تعداد دریچه مشخص از خود عبور می‌دهد محاسبه می‌کند. بخش های ۱ تا ۳ مدل، در شکل ۵ قابل مشاهده‌اند. بخش ۴ مدل، اصلی‌ترین بخش آن را تشکیل می‌دهد (شکل ۶). اساس این نمودار ذخیره و جریان (شکل ۴) می‌باشد. در این مرحله چه در میزان آب ورودی به سیستم و چه در خروجی‌های آن، قوانین تصمیم‌گیری نقش اساسی در تعریف روابط خواهند داشت. در این مدل، سال به فصل خشک و تر تقسیم می‌شود. در فصل پرآبی، هدف کنترل بیشتر سیلاب و در فصل خشک، تأمین کمبودهای کشاورزی است. در این حالت سیاستی موفق‌تر است که ضمن تأمین کمبودها بیشترین تأثیر را در کنترل سیلاب فصل پرآب داشته باشد. سیاست‌های مورد بررسی در زیر ارائه می‌شود.

سیاست اول: در این حالت، هدف ورودی به مخزن، انحراف آب مازاد بر حداکثر ظرفیت ایمن رودخانه می‌باشد. ظرفیت حداکثر رودخانه برای عبور ایمن سیلاب $1300 (m^3/s)$ برآورد شده است [۱۲]. در نتیجه، در سیلاب‌هایی با پیک بیشتر از این مقدار دریچه‌های آبگیر باز می‌شود و ورودی به کانال طبق هیدرولیک مسئله دو دریاچه تعیین می‌گردد. خروجی‌ها نیز با هدف ذخیره‌سازی تعیین می‌شوند.



شکل ۵- نمایش بخش‌های محاسباتی ۱ تا ۳



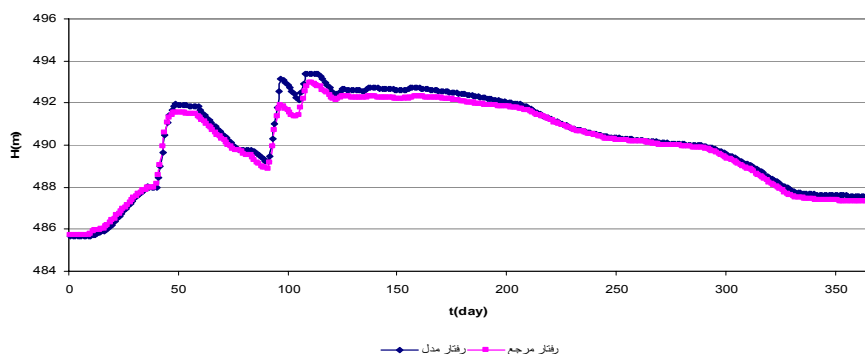
شکل ۶- نمایش قسمت محاسباتی ۴

سیاست دوم: در این حالت هدف از ورودی‌ها به چاه‌نیمه انحراف آب مازاد کشاورزی است. در صورت وجود این آب مازاد، دریچه‌های آبگیر باز و دبی ورودی به کانال طبق هیدرولیک مسئله دو دریاچه تعیین می‌شود. هدف خروجی‌های چاه‌نیمه طبق مطالب گفته شده ذخیره سیلاب است. دوره شبیه‌سازی، دوره‌ای یک ساله و بازه زمانی محاسبات بازه یک روزه می‌باشد. مدل نوشته شده به آزمون‌های ساختاری از جمله آزمون صحت ساختار، آزمون سازگاری ابعادی و آزمون شرایط حدی پاسخ صحیح داده است [۹].

۵- اعتبارسنجی مدل

۵-۱- مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع

در این قسمت سعی بر این است تا با دادن اطلاعات سال ۱۳۶۹ به مدل، رفتار آن را با رفتار مرجع مقایسه نماییم. به دلیل اینکه از چگونگی باز و بسته کردن دریچه‌های آبگیر ورودی فیدر کانال اطلاعی در دست نیست، در این آزمون اطلاعات ورودی چاه‌نیمه و خروجی هدریس، در مدل به صورت داده اعمال می‌شود. رفتار مدل با مقایسه مقدار تراز بدست آمده برای مخزن و تراز خوانده شده برای مخزن در سال ۶۹ سنجیده می‌شود [۱۳ و ۳]. شکل ۷ نشان می‌دهد که مدل رفتار مسئله را به خوبی مدل می‌کند. اختلاف کمی که بین دو نمودار وجود دارد ناشی از دقت داده‌ها می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع

۲-۵- سنجش حساسیت مدل

۱. زمان انتهایی فصل سیلابی

مقدار این پارامتر بین ۸۹ تا ۱۶۶ روز می‌تواند تغییر کند. برای این مقادیر، تحلیل حساسیتی انجام داده‌ایم که نتایج آن در شکل ۸ ارائه شده است. در شکل ۹ مشاهده می‌شود که بر اثر مقادیر ۸۹ و ۱۲۰، مخزن سیلابی خواهد شد. تعداد روزهای سیلابی برای هر مقدار در جدول ۱ ارائه شده است [۳۱۳].

۲. زمان شروع فصل سیلابی

برای این پارامتر می‌توان مقداری بین ۰ تا ۳۰ روز در نظر گرفت (بازه زمانی شروع دی تا ابتدای بهمن). نتایج این آزمون برای مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ روز در شکل ۹ مشاهده می‌شود. همانطور که از شکل ۹ و جدول ۲ برمی‌آید زمان شروع صفر به دلیل نداشتن روز سیلابی در مخزن در طول سال بهترین جواب ممکن است [۳۱۴]. نتایج نمودارهای خروجی هدریس و ورودی به مخزن برای زمان‌های شروع مختلف یکسان می‌باشد و از نمایش آنها صرف‌نظر شده است. میزان باز شدگی در این آزمون عبارت است از پنج درجه در فصل سیلابی و یک درجه در فصل خشک.

۳. حجم و تراز اولیه مخزن

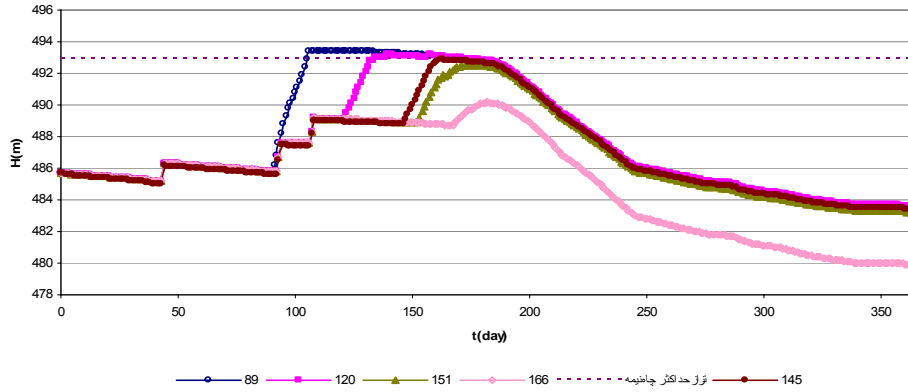
نتایجی که در قسمت‌های قبل ارائه گردید با فرض این بود که مخزن در ابتدای دوره مدل‌سازی مانند ابتدای سال ۷۰-۱۳۶۹ قرار دارد و شرط اولیه بر این اساس در مدل اعمال گردید. در حالی که مدل می‌تواند دارای ترازها و حجم‌های اولیه دیگری نیز باشد. تغییرات این مقدار برای سال پرآبی بین تراز جدایی و تراز حداکثر در نظر گرفته شده است. نتایج این مقادیر در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. از شکل ۱۰ برمی‌آید که در فصل خشک اکثر نمودارها بر هم منطبق‌اند و به تراز ابتدایی مخزن وابسته نیستند؛ در حالی که در فصل سیلابی از این مقدار تأثیر می‌پذیرند. انتظار داریم که با افزایش تراز اولیه مخزن دبی ورودی کاهش یابد و مخزن سریعتر پر شود. نتایج، این امر را تأیید می‌کنند.

جدول ۱- تعداد روزهای سیلابی برای مقادیر مختلف انتهایی فصل سیلابی

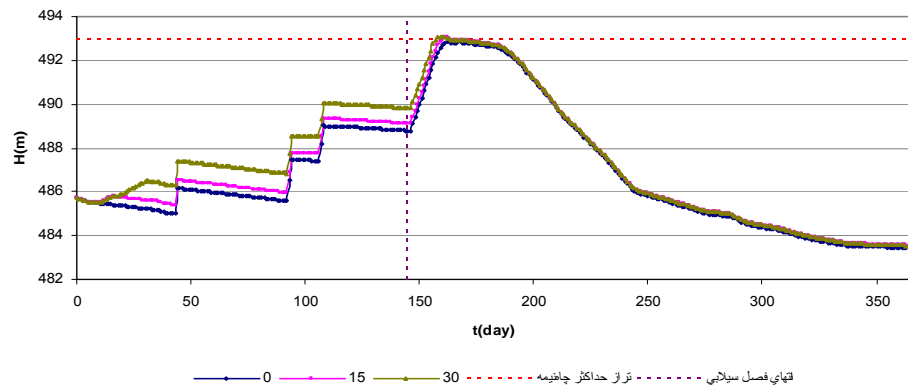
۱۶۶	۱۵۱	۱۴۵	۱۲۰	۸۹	روز انتهایی فصل سیلابی
۰	۰	۰	۴۱	۶۶	تعداد روزهای سیلابی مخزن

جدول ۲- تعداد روزهای سیلابی برای مقادیر مختلف ابتدای فصل سیلابی

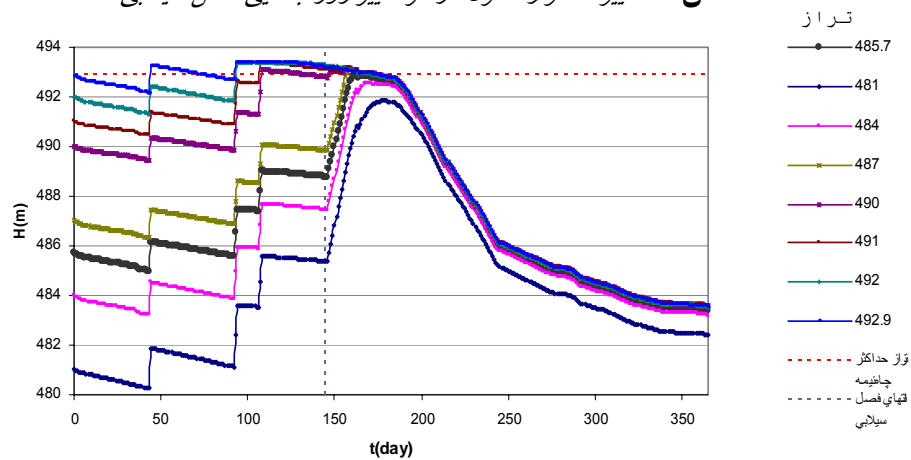
۳۰	۱۵	۰	روز ابتدایی فصل سیلابی
۱۳۰	۱۱	۰	تعداد روزهای سیلابی مخزن



شکل ۸- تغییرات تراز مخازن تحت تأثیر روز انتهایی فصل سیلابی



شکل ۹- تغییرات تراز مخزن در اثر تغییر روز ابتدایی فصل سیلابی



شکل ۱۰- تغییرات تراز مخزن تحت شرط اولیه ترازهای مختلف

۳-۵- پایداری مدل در شرایط حدی

در این قسمت شرایط حدی زیر را به مدل اعمال شده است.

۱. شرط حدی ورودی صفر به مخزن
 ۲. آزمون حدی شرط اولیه حجم صفر مخزن
 ۳. آزمون حدی خروجی صفر هدریس
 ۴. شرط حدی ورودی صفر به رودخانه سیستان
 ۵. شرط حدی تراز حداکثر مخزن در ابتدای مدلسازی
- با اعمال این آزمون‌ها رفتار مدل را در شرایط غیر معمول بررسی می‌شود.

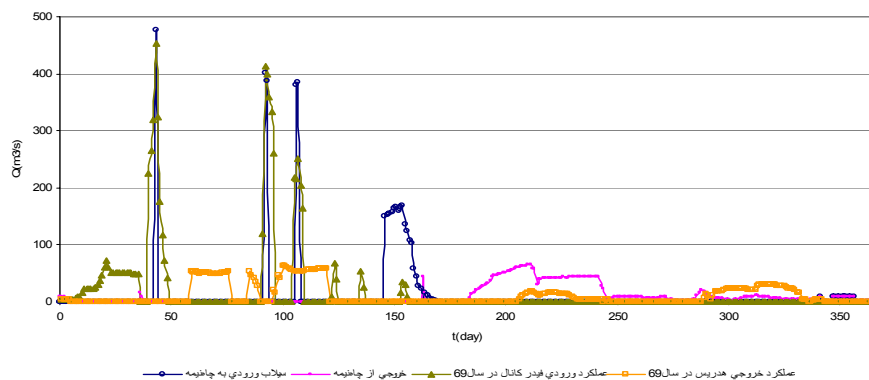
آزمون‌های فوق همه بر اساس سیاست اول می‌باشد. آزمون‌های انجام شده همگی اعتبار مدل را برای سیلاب سال ۱۳۶۹ نشان داده‌اند [۹، ۱۳ و ۳].

در این تحقیق رفتار دو سیاست قبل تحت سناریوهای زیر بررسی گردید:

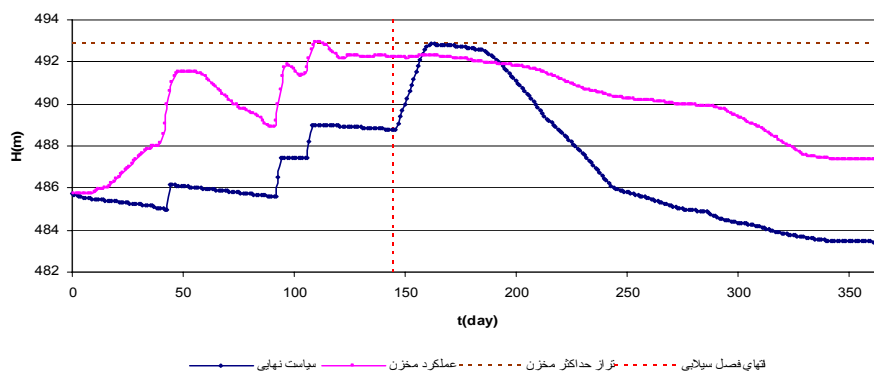
- در سیاست اولیه در جهت ذخیره هرچه بیشتر، جز در مواقع نادر مشاهده کمبود خروجی فصل سیلابی صفر در نظر گرفته شد. با تغییر این مقدار خروجی، رفتار مرجع مدل بررسی گردید.
- در سیاست اولیه تمامی دریاچه‌های آبگیر باز فرض شده بود، برای تعیین تأثیر دریاچه‌ها، دو حالت در نظر گرفته شد. در حالت اول تعداد دریاچه‌های باز ثابت فرض شد و در حالت دوم در فصل سیلابی تمامی دریاچه‌ها باز و در فصل خشک یک یا دو دریاچه انتخاب گردید.

۶- نتیجه گیری

نتایج سناریوها نشان داد که سیاست اول، بهترین گزینه برای سیلی با دبی پیک $2200 m^3/s$ است و آن هم هنگامی که در فصل سیلابی جز در مواقع نادر مشاهده کمبود، خروجی چاه‌نیمه در فصل سیلابی صفر و تعداد دریاچه‌های باز پنج دریاچه در فصل سیلابی و یک دریاچه در فصل خشک باشد. در این سیاست نهایی تعداد روزهای سیلابی مخزن به صفر کاهش می‌یابد و به تمامی تقاضاها پاسخ گفته می‌شود. با این سیاست گذاری اوج سیلاب ورودی به چاه‌نیمه به میزان ۱۰۰ درصد و پیک سیلاب رودخانه به میزان ۲۱/۷ درصد ذخیره و کنترل یابد. رفتار سیاست نهایی باید با رفتار چاه‌نیمه در سال ۱۳۶۹ سنجیده شود تا میزان بهبود سیاست گذاری‌ها مشخص شود. عملکرد مخزن در سال ۶۹ به گونه‌ای است که میزان ۱۷/۶ درصد دبی پیک سیلاب رودخانه سیستان را کاهش داده است، این درحالی است که سیاست نهایی، سیلاب رودخانه را بدون روز سیلابی تا ۲۱/۷ درصد کنترل می‌کند (شکل ۱۱). اگر به نتایج شکل ۱۱ توجه شود مشخص می‌گردد که این سیاست به تمامی کمبودها پاسخ گفته و عملکرد مخزن در سال ۱۳۶۹ فقط ۲۴ درصد کمبودها را جبران کرده است و در سال ۱۳۶۹ مخزن برای فصل سیلابی بعد خالی نشده است (شکل ۱۲). ایده آل است که تمامی آب اضافه بر ظرفیت ایمن رودخانه به سمت چاه‌نیمه منحرف گردد. آنچه از نتایج سیاست نهایی برمی‌آید این است که ورودی‌های این سیاست ۵۳ درصد و عملکرد ورودی در سال ۶۹، ۵۰ درصد مقدار ایده آل را شامل می‌شود. این ضعف، ناشی از ضعف سازه آبگیر و کانال ورودی است که باید به اصلاح آن پرداخته شود.



شکل ۱۱- مقایسه ورودی و خروجی هدریس در سیاست نهایی و عملکرد مخزن در سال ۱۳۶۹



شکل ۱۲- مقایسه تراز مخزن در سیاست نهایی و عملکرد مخزن در سال ۶۹

۷- قدردانی

در پایان از همکاری مرکز تحقیقات آب و محیط‌زیست دانشگاه شریف بخصوص از آقای مهندس سید اویس ترابی تشکر و قدردانی می‌شود.

۸- مراجع

- [1] YEH, W.W-G., "Reservoir Management and Operation Models: A State-of-Art Review", Water Resources Research, Vol.21, No.12, 1797-1818, 1985.
- [2] Wurbs, R. A., Tibbets, M. N, "State-of-the-Art Review and Annotated Bibliography of System Analysis Techniques Applied to Reservoir Operation", Tech Rep Texas Water Resources Institute, College Station Tex, No. 136, 1985.
- [3] Sterman, J. D., Business Dynamics, McGraw-Hill, Boston, 2000.
- [4] Palmer, R.N., Keyes, A.M., Fisher, S., Empowering Stakeholders through Simulation in Water Resources Planning. in Water Management in the 90s A Time for Innovation, New York., ASCE, 451-454, 1993.
- [5] Keys, A. M., Palmer, R., "The role of Object Oriented Simulation Model in the Drought Preorder ness Studies", Proc. 20th Ann. Nat. Conf., Water Resource. Plg. And Mgm. Div., ASCE, New York, 479-482, 1993.
- [6] Fletcher. E., "The use of System Dynamics as a Decision Water Support Tool for the Management of Scarce Resources", First International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, October 11-13, 1998.
- [7] Simonovic, S. P., Fahmy, H. and Elshorbagy, A., "The Use of Object Oriented Modeling for Water Resources Planning in Egypt", Water Resources Management, Vol. 11, 243-261, 1997
- [8] W. J. Cox Royston, "Use of Object – Oriented Programming in Water Supply System Modeling", The 26th Ann. Water Resources Plg. and Mgm. Conference, ASCE, Temp-Arizona., June 6-9, 1999.
- [9] Simonovic P. S., Ahmad, S., "System Dynamics Modeling of Reservoir Operation for Flood Management, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 14, No. 3, July 2000.
- [10] Burns, J. R., "Simplified Translation of CLD's to SFD's", System Dynamics Society 19 th ann. Conference Proceedings, Atlanta, July 2001.
- [11] Henderson, F., M., Open Channel Flow, Macmillian Publishing, New York, 1966.
- [12] Tehran Sahab ,Sistan River Flood Works Rehabilitation Project, Study for Reservoir Operation of Chahnimes 1-4, Islamic Republic of Iran Ministry of Energy Sistan Bluchistan Regional Water Board., 1991.
- [13] Forrester, J. W., Senge, P., M., "Test for Building Confidence in System Dynamics Models", TIMS Studies in Management Science, Vol. 14, North Holland Press. Amsterdam, 1980.