

مدل سازی پویایی سیستم به منظور بررسی تاثیر توسعه بالادست حوضه آبریز رودخانه کرخه بر تولید انرژی برقابی سد کوران بوزان

امیر رضا شریفی^۱، مسعود تجریشی^۲

چکیده

مدیریت جامع و کارای منابع آب در سطح حوضه آبریز مستلزم درک مجموعه ای از اندرکنش های مرتبط با آب در سطوح مختلف مکانی و زمانی و در نقاط مختلف حوضه است. یکی از ابعاد این اندرکنش ها، اثر فعالیت ها در بالادست در وضعیت پایین دست است. هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر توسعه منابع آب در بالادست حوضه آبریز رودخانه بر تولید انرژی برقابی در سدهای پائین دست می باشد. در این تحقیق از ابزار پویایی سیستم و نرم افزار ونسیم (*VENSIM*) استفاده می شود. روش پویایی سیستم، روش شبیه سازی شیء گرا و بر پایه بازخورد بوده که می تواند علاوه بر تشریح سیستم های پیچیده بر اساس واقعیت، امکان دخالت موثر کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی را در طول فرایند مدل سازی فراهم نماید. افزایش سرعت در توسعه مدل، قابلیت توسعه گروهی مدل، ارتباط موثر با نتایج و افزایش اعتماد به مدل از مهمترین قابلیت های این روش شبیه سازی می باشند. برای مطالعه موردی حوضه آبریز کرخه در نظر گرفته شده است.

واژه های کلیدی: پویایی سیستم، شبیه سازی، انرژی برقابی، حوضه آبریز رودخانه کرخه، سد و نیروگاه کوران بوزان

۱- مقدمه

تحلیل سیستم ها جایگاه مهمی در زمینه مدیریت منابع آب دارد و شبیه سازی یک ابزار ضروری تصمیم گیری در فرایند مدیریت مخزن می باشد. در هر حال نیاز به یک ابزار شبیه سازی که بتواند سیستم های پیچیده را بر اساس واقعیت موجود شرح داده و به کاربر اجازه شرکت در توسعه مدل را به منظور افزایش اعتماد در فرایند مدل سازی دهد احساس می شود. پویایی سیستم این مزیت را دارد که در مدل های کامپیوتری میتواند ساختاری بسیار پیچیده تراز مدل های ذهنی داشته باشد و در مقایسه با دیگر روشهای تحلیل سیستم ساده و موثر بوده و همچنین در شرح سیستم به ریاضیات پیچیده احتیاج ندارد. این روش به صورت یک روش رایج و عمومی در مدل سازی سیستم های منابع آب بکار می رود. هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر توسعه منابع آب در بالادست حوضه آبریز رودخانه بر تولید انرژی برقابی در سدهای پایین دست می باشد. منظور از توسعه منابع آب در این تحقیق عبارت است از اتخاذ سیاست های توسعه بهینه آب، اقدامات در جهت ساخت و بهره برداری سدهای در دست مطالعه یا ساخت، طرح های انتقال آب برای مصارف مختلف و توسعه شبکه های آبیاری و انتقال آب بین حوضه ای. حوضه آبریز کرخه برای مطالعه موردی انتخاب شده است. دلیل انتخاب این حوضه پیچیدگی مسائل موجود در این حوضه و تعداد زیاد سد های در دست احداث در بالادست حوضه یاد شده می باشد. در این مقاله به عنوان مطالعه موردی به بررسی توسعه بالادست سد کوران بوزان بر تولید انرژی برقابی این سد پرداخته می شود.

¹ Sharifi_ amirreza@yahoo.com
² Tajrishy@sharif.edu

¹ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی - دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف
² - دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف

۲- ادبیات فنی استفاده از پویایی سیستم در مدیریت منابع آب

پالمر و همکاران (۱۹۹۳ و ۱۹۹۵)، فعالیت های زیادی را در حوضه رودخانه با استفاده از شبیه سازی پویایی سیستم انجام دادند [۱،۲]. کیز و پالمر (۱۹۹۳) از روش فوق برای مطالعه و شبیه سازی خشک سالی بهره برده اند [۳]. ماتیاس و فردریک (۱۹۹۴) این روش را در مدلسازی تغییر سطح آب دریا در ساحل استفاده کردند [۴]. فلتچر (۱۹۹۸) این روش را به عنوان یک روش تحلیل تصمیم در مدیریت کم آبی استفاده نمود [۵]. سیمونویچ و فاهمی (۱۹۹۷ و ۱۹۹۹) از روش فوق برای ارزیابی دراز مدت منابع آبی و تحلیل سیاست های اعمالی در حوضه رودخانه نیل در مصر بهره جستند [۶]. همچنین رویستون (۱۹۹۹) این روش را در تامین تقاضای آب و بهره برداری از یک مخزن چند منظوره به کار گرفت [۷]. این تحقیق بر روی مخزن لوئیس اسمیت در رودخانه بلک وریور انجام شده است. احمد و سیمونویچ (۲۰۰۰)، با استفاده از این روش، بهره برداری از مخزن شلماوس بر رودخانه آسینیبوین را برای سال پر آبی و چندین سیلاب رخ داده بررسی نمودند [۸]. در این مقاله اثرات مدیریت سیلاب در مخازن با سر ریز های دریاچه دار و بدون دریاچه با یکدیگر مقایسه شده و رفتار مدل برای شرط اولیه تراز مخزن تحلیل حساسیت شده است. همچنین آنها از روش پویایی سیستم در محاسبه خسارت ناشی از سیلاب استفاده نموده و نیز تحلیل سیاست های مدیریت سیلاب را از دیدگاه اقتصادی انجام دادند [۹]. تیگواراپو و سیمونویچ (۲۰۰۰) برای مدلسازی بهره برداری از سیستم چند مخزنه به منظور تولید نیروی برقابی از مدل سازی به روش پویایی سیستم استفاده کرده اند [۱۰] و به منظور بررسی کارایی سیستم از دو شاخص قابلیت اطمینان و آسیب پذیری بهره برده اند. لی و سیمونویچ (۲۰۰۲ و ۲۰۰۳) مدل دینامیکی برای پیش بینی سیلاب از ذوب برف در دشتهای جلگه ای جنوب آمریکا توسعه داده و آن را برای ارزیابی تاثیر تغییرات آب و هوا در کارایی سیستم های حفاظت سیلاب موجود به کار بردند [۱۱]. سیسل و بارلاس (۲۰۰۱) از روش پویایی سیستم در پاسخ به سوالات در مورد میزان تولید انرژی برقابی، توسعه کشاورزی، انتخاب نوع کشت، مولفه های زیست محیطی و تولیدات کشاورزی در جنوب شرقی ترکیه استفاده نمودند [۱۲]. صادقی (۲۰۰۳) این روش را در بهره برداری از مخازن چاه نیمه سیستان در فصول سیلابی بکار گرفت [۱۳]. مومنی (۲۰۰۴) از این روش برای مدل سازی بهره برداری از مخزن چند منظوره بهره برد و از آن برای تعیین تاثیرات تغییر راندمان آبیاری در حوضه زاینده رود استفاده نمود [۱۴]. جلالی و همکاران در سال ۲۰۰۵ به کمک این روش روند یابی سیل را در سیستم های چند مخزنی (دریاچه دار و بدون دریاچه) بر روی رودخانه کارون شبیه سازی کرده و توانایی این روش را نسبت به روش های متداول نشان داده اند [۱۵]. صلوی تبار و ضرغامی در سال ۲۰۰۵ برای مدل سازی منابع و مصارف آب شهری تهران از این روش بهره برده اند و تاثیر سناریو های مختلفی مانند انتقال بین حوضه ای آب، اجرای طرح جمع آوری و تصفیه فاضلاب و مدیریت تقاضا را بر روی مدل بررسی نموده اند [۱۶].

۳- مفاهیم اساسی در تحلیل پویایی سیستم

روش تحلیل دینامیک سیستم به عنوان روشی که بر اساس تفکر سیستماتیک بنا نهاده شده است، روشی برای مطالعه و بهبود یادگیری در ارتباط با سیستم های پیچیده است. این روش شبیه سازی بر پایه بازخورد و اتفاقات شیء گرا است. رابطه پیوستگی جرم، یکی از مفاهیم اصلی در پویایی سیستم میباشد که با توجه به نقش مهمی که این روابط در بهره برداری مخزن ایفا می نماید، مسائل شبیه سازی مخازن جهت کاربرد روشهای پویایی سیستم بسیار مناسب میباشد. ابزار پویایی سیستم مورد استفاده در این پژوهش جهت مدل سازی عملکرد مخزن، چهار مولفه اصلی دارد:

۱- ذخایر یا ترازها (Stocks) ۲- جریانها (Flows) ۳- اتصالات (Connectors) ۴- مبدلها (Convertors)

ذخیره یا تراز، جهت تشریح هر پارامتر یا متغیری که تجمع می نماید استفاده می شود. مثلاً می توان از آنها به عنوان آب ذخیره شده در یک مخزن استفاده نمود. جریانها (نرخ های تغییر) فرایند هایی را نشان میدهند که ذخایر را پر یا خالی میکنند که نمونه بسیار روشن آن جریان ورودی به مخزن یا جریان رها سازی شده از آن می باشد. اتصالات جهت نشان دادن روابط بین متغیر های مدل استفاده می شوند. این اتصالات در نرم افزار های مربوط به صورت گرافیکی با پیکان نمایش داده میشوند که جهت این پیکانها جهت وابستگی روابط را نشان می دهند. اتصالات، اطلاعات را در یک مدل از یک جزء به یک جزء دیگر حمل می نمایند. مبدلها نیز ورودی را به خروجی اتصال

می دهند که میتوانند به صورت روابط جبری، نمودار یا جدول باشد. اساس روش پویایی سیستم بر پایه فرضیه فرایند های بازخورد میباشد. یک سیستم بازخورد موثر از رفتار گذشته خود میباشد. این سیستم دارای ساختار حلقه بسته ای است که نتایج را از فعالیت های گذشته گرفته و در فرایند های آینده استفاده می نماید. یک نوع از سیستم های بازخورد، حلقه های بازخورد منفی است که باعث تعادل پایدار سیستم می گردد. نوع دیگر سیستم بازخورد مثبت است که فرایند رشد را ایجاد می نماید و در آن فعالیت های صورت گرفته گذشته باعث ایجاد فعالیت های بزرگتر می گردد (رشد جمعیت).

یک حلقه بازخورد ساختار اصلی یک سیستم را نمایش می دهد و تراز ها و جریانها، متغیر های اساسی این حلقه می باشند. متغیر های تراز (ذخایر) شرایط سیستم را در هر زمان شرح نموده و متغیر های جریان (نرخ) چگونگی تغییر سرعت جریان را نمایش میدهد. این حلقه های بازخورد نشان دهنده روابط علت و معلولی در کل سیستم می باشند.

۴- زیر ساختار های مدل

بطور کلی مدل از چهار زیرساختار تشکیل شده است :

زیر ساختار سد غیر برقابی :

این زیر ساختار عملکرد یک سد غیر برقابی را مدل می کند. از آنجایی که سدهایی که در این تحقیق که بررسی می شوند هنوز به مرحله بهره برداری نرسیده اند و سیاست بهره برداری از آنها مشخص نشده است لذا از قاعده بهره برداری استاندارد (*Standard Operation Policy*) برای مدل سازی رفتار آنها استفاده می شود. در اجرای قاعده بهره برداری استاندارد، به اندازه تقاضا آب از مخزن رها می شود. اگر تقاضا بیشتر از مجموع حجم ذخیره مخزن و جریان ورودی به مخزن سد در آن دوره زمانی باشد، تمامی آب درون مخزن خالی شده و حجم مخزن به حجم حد اقل می رسد.

زیر ساختار سد برقابی :

این زیر ساختار عملکرد یک سد برقابی را مدل می کند. مدل شبیه سازی به کار رفته در این تحقیق مبتنی بر روش روند یابی متوالی جریان (*Sequential Streamflow Routing*) با گام های زمانی ماهیانه می باشد. روند مذکور به معنی اعمال سیاست بهره برداری نظیر *SOP* به منظور تعیین خروجی از مخزن در هر گام زمانی در تامین نیاز آبی ولیکن با جایگزین نمودن نیاز انرژی به جای نیاز آبی است.

زیر ساختار ایستگاه هیدرومتری کنترلی :

این زیر ساختار تغییراتی که در اثر احداث سد ها، توسعه کشاورزی و اعمال سیاست های جدید در یک زیر حوضه اتفاق افتاده اند را در ایستگاه های مشخصی که به عنوان نقاط کنترلی در نظر گرفته شده اند اعمال می کند. برخی از این ایستگاه های کنترلی همزمان نقش ایستگاه بالادست سد های برقابی برای تعیین میزان جریان ورودی به این سد ها را نیز بر عهده دارند.

زیر ساختار نیاز کشاورزی :

این زیر ساختار نیاز های کشاورزی جدید را در هر منطقه با توجه به نوع کشت، مساحت زیر کشت و راندمان آبیاری در آن منطقه محاسبه می نماید. برای تعیین نیازهای هر گیاه در هر زیر حوضه از نرم افزار نت وات (*NETWAT*) استفاده شده است.

۵- زیر ساختار سد غیر برقابی

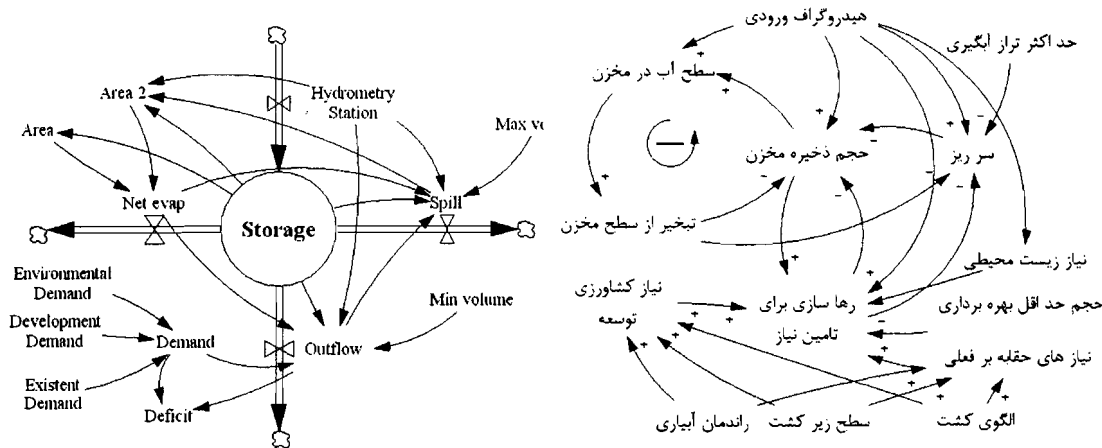
تعیین جریان ورودی به مخزن :

برای تخمین جریان ورودی به هر مخزن از اطلاعات ایستگاه های آب سنجی در اطراف موقعیت سد استفاده می شود. سعی شده است تا این ایستگاه ها به اندازه لازم به موقعیت سد نزدیک بوده تا بخوبی معرف میزان آورد رودخانه در محل احداث سد باشد. در موارد خاص اگر سد مورد بررسی در نزدیکی ایستگاه آب سنجی نباشد، به کمک داده های ایستگاه های اطراف، میزان آورد رودخانه در محل سد محاسبه می شود.

عملکرد زیر ساختار :

همانگونه که اشاره شد برای تعیین میزان جریان خروجی از مخزن هر سد غیر برقابی از سیاست بهره برداری استاندارد استفاده می شود. در اجرای قاعده بهره برداری استاندارد، به اندازه تقاضا آب از مخزن رها می شود. اگر تقاضا بیشتر از مجموع حجم ذخیره مخزن و جریان ورودی آن دوره زمانی باشد، تمامی آب درون مخزن خالی شده و حجم مخزن به حجم حداقل می رسد.

در انتهای ماه نیز مجدداً سطح آب در مخزن از رابطه میان حجم به سطح مخزن محاسبه می شود. تبخیر خالص ماهیانه از ضرب کردن میزان متوسط تبخیر ماهیانه از سطح مخزن در میانگین سطوح آب اول و آخر ماه مخزن بدست می آید. حال با کم نمودن میزان رهاسازی و تبخیر از ذخیره مخزن، میزان جدیدی برای ذخیره مخزن آخر ماه محاسبه می شود. اگر میزان ذخیره آخر ماه از حجم حد اکثر مخزن (حجم معادل تراز حداکثر) افزون گردد، به میزان تفاوت این دو حجم، سرریز رخ می دهد تا حجم انتهای ماه در مخزن با حجم حداکثر برابر گردد. در شکل های ۱ و ۲ به ترتیب نمودار علت و معلولی و نمونه ای از زیر ساختار سد غیر برقابی در نرم افزار ونسیم نمایش داده شده اند.



شکل ۲: نمونه ای از زیر ساختار سد غیر برقابی در نرم افزار ونسیم

شکل ۱: نمودار علت و معلولی زیر ساختار سد غیر برقابی

۶- زیر ساختار سد برقابی

روش روند یابی متوالی جریان [۱۷]

از آنجا که میزان انرژی تولیدی طی روند سعی و خطا تعیین می گردد، لازم است تا در ابتدا هد اولیه تخمین زده شود و مناسب با این حدس اولیه، جریان خروجی و انرژی تولیدی توسط نیروگاه در هر ماه تعیین گردد. سپس با تکرار فرایند روندیابی در طول ماه های سری تاریخی، میزان تولید انرژی در هر ماه بدست می آید. تخمین هد اولیه: لازم است تا حجم اولیه آب در مخزن برای مدل تعریف شود که بدین منظور از متوسط گیری بین حجم های حد اقل و حد اکثر بهره برداری از مخزن استفاده شده است.

انرژی مطمئن: در نبود مطالعات خاص بازار و شبکه و جایگاه نیروگاه برقابی در تامین بار شبکه سراسری، روش معمول در طراحی و برنامه ریزی سد های برقابی در نظر گرفتن نیازی ثابت و برابر با انرژی مطمئن در تمام ماه ها می باشد. از آنجا که هدف مدل در هر گام زمانی بر روی تامین نیاز انرژی مذکور متمرکز می باشد، بر این اساس جریان خروجی از مخزن متناسب با سطح تولید انرژی مذکور و معادل تولید انرژی تعیین می گردد. رابطه انرژی تولیدی بر اساس جریان خروجی از مخزن و انرژی مطمئن تولیدی توسط نیروگاه با توجه به ظرفیت نصب نیروگاه و تعداد ساعات کار آن در طول شبانه روز $PF(t)$ (معلوم مسئله) به شکل زیر تعریف می شود:

$$E(t) = 2.73 \times R(t) \times H(t) \times e_p \quad (1)$$

$$H(t) = h(t) - h_{tail}(t) - h_f(t) \quad (2)$$

$$FE = IC \times hours \times PF(t) \quad (3)$$

که در این رابطه ها $E(t)$ انرژی تولیدی در طی دوره t (MWh)، ep راندمان نیروگاه، $R(t)$ جریان عبوری از توربین طی دوره t (MCM)، $H(t)$ هد خالص در نیروگاه طی دوره t (m)، $h(t)$ تراز آب در مخزن طی دوره t (m)، $h_{tail}(t)$ تراز آب در پایان نیروگاه طی دوره t (m)، $hf(t)$ افت انرژی در نیروگاه طی دوره t (m)، $FE(t)$ انرژی مطمئن تولیدی در یک ماه (MWh)، IC ظرفیت نصب نیروگاه (MW) و $PF(t)$ ضریب کارکرد نیروگاه که مقدار آن برابر نسبت ساعت کارکرد نیروگاه در طول شبانه روز به کل ساعات شبانه روز می باشند.

از آنجایی که معادله انرژی (رابطه ۱) علاوه بر جریان عبوری از توربین پارامتر اختلاف هد بین مخزن و تراز پایاب هم وجود دارد، برای یافتن جریان خروجی لازم است تا هد مشخص گردد. از طرفی تراز آب مخزن در طول ماه متغیر است. لذا از متوسط گیری بین تراز آب مخزن در ابتدا و انتهای ماه استفاده می شود. همچنین مقادیر مربوط به افت و تراز آب در پایاب تابعی از جریان آب عبوری از توربین است. از آنجا که جریان عبوری از توربین و در نتیجه تراز آب مخزن در انتهای ماه مجهول مسئله می باشند، به منظور اجتناب از حل یک معادله ضمنی، ابتدا مقداری فرضی برای جریان عبوری از توربین و به تبع آن حجم آخر ماه اختیار می گردد و در ادامه با استفاده از معادلات انرژی و پیوستگی به صورت تکراری، مقادیر مذکور در چند مرحله همگرا خواهد شد. در این راستا مقادیر اولیه حجم آخر ماه و جریان خروجی از مخزن به ترتیب برابر حجم اول ماه و ورودی به مخزن فرض شده و سپس با این فرضیات، هد خالص محاسبه می شود. با توجه به تمام فرضیات انجام گرفته و در نظر گرفتن نیاز انرژی برابر با انرژی مطمئن، در رابطه (۱) تمامی پارامترها به استثناء جریان عبوری از توربین معلوم می باشند و رابطه (۱) به شکل زیر در می آید:

$$E(t) = 2.73 \times R(t) \times (0.5 \times (h_2(t) + h_1(t)) - h_{Tail}(t) - h_f(t)) \times e_p \quad (4)$$

که در این رابطه $h_2(t)$ تراز آب در مخزن در ابتدای دوره t (m) و $h_1(t)$ تراز آب در مخزن در انتهای دوره t (m) می باشند. بدین ترتیب جریان عبوری از توربین با توجه به روابط (۳) و (۴) از رابطه زیر بدست می آید:

$$R(t) = \frac{FE(t)}{2.73 \times (0.5(h_2(t) + h_1(t)) - h_{Tail}(t) - h_f(t)) \times e_p} \quad (5)$$

با توجه به خروجی بدست آمده از حل معادله بالا و با استفاده از معادله پیوستگی حجم آخر ماه مطابق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - R(t) - spill(t) \quad (6)$$

که در رابطه فوق $S(t+1)$ حجم آب مخزن در انتهای ماه t (MCM)، $S(t)$ حجم آب مخزن در ابتدای ماه t (MCM)، $Q(t)$ حجم آب ورودی به مخزن در طول ماه t (MCM)، $R(t)$ حجم آب عبوری از توربین نیروگاه در طول ماه t (MCM) و $Spill(t)$ سرریز در طول ماه t (MCM) می باشند.

در ادامه می بایست کنترل محدودیت های مربوط به حجم آب در مخزن انجام گیرد. اگر حجم آب در مخزن از حد اکثر حجم آب مخزن بیشتر باشد، به مقدار جریان عبوری از توربین و به تبع آن انرژی تولیدی اضافه می شود تا آنجا که حجم آخر ماه به حجم حداکثر مجاز برسد. اگر حجم آب در مخزن از حد اقل حجم بهره برداری مخزن کمتر باشد، از مقدار جریان عبوری از توربین و به تبع آن انرژی تولیدی کاسته می شود، تا آنجا که حجم آخر ماه به حجم حداقل مجاز برسد. سپس حجم آب محاسبه شده در آخر ماه با فرض اولیه مقایسه می گردد. اگر اختلاف آنها بیش از مقدار مجاز بود (در اینجا اختلاف مجاز برابر مقدار عددی ۰/۰۱ در نظر گرفته شده است) با این مقدار جدید برای حجم آخر ماه و خروجی روند ذکر شده تکرار می شود تا اینکه اختلاف این دو مقدار برابر مقدار مجاز گردد. در ادامه لازم است تا محدودیت های جریان عبوری از تونل کنترل گردد. اگر جریان خروجی از مخزن از ظرفیت تونل آب بر نیروگاه بیشتر باشد و حجم آب در مخزن هم برابر حجم حداکثر باشد لازم است تا اضافه جریان به شکل سرریز آزاد شود. اگر جریان خروجی از مخزن از ظرفیت تونل آب بر نیروگاه بیشتر باشد و حجم آب در مخزن برابر حجم حداکثر نباشد، لازم است تا از جریان خروجی کاسته، به حجم آخر ماه اضافه گردد و دوباره محدودیت مربوط به حجم حداکثر و ظرفیت هیدرولیکی بررسی شوند. در انتها لازم است با توجه به کنترل محدودیت های موجود، انرژی تولیدی توسط نیروگاه تعیین و با انرژی مطمئن مقایسه گردد. بدین ترتیب و با استفاده از روند فوق، در ماه هایی که انرژی تولیدی بیش از

۷- مطالعه موردی

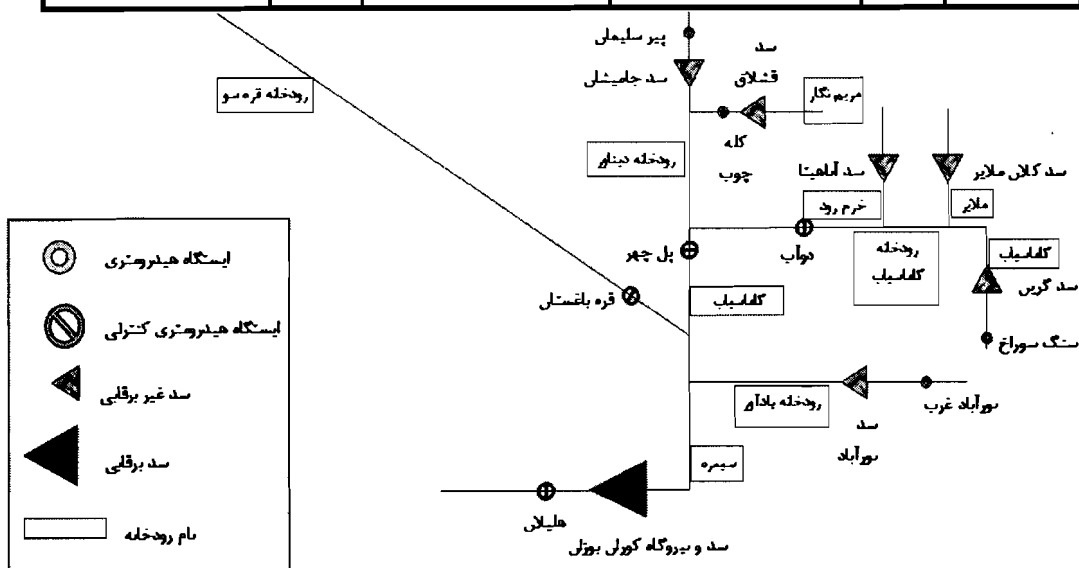
سد و نیروگاه کوران بوزان برای مطالعه موردی در حوضه کرخه انتخاب شده است. سد کوران بوزان با ظرفیت مخزن ۴ میلیارد متر مکعب در تراز نرمال و ظرفیت نصب ۲۷۸ مگاوات یکی از ۵ سد بزرگ برقابی حوضه کرخه می باشد. سد با اهداف غیر برقابی همراه با طرح های توسعه اراضی کشاورزی به مساحت مجموع ۳۴۰۰۰ هکتار در بالادست سد مذکور در دست مطالعه می باشند که آورد رود خانه را در محل سد کوران بوزان تحت تاثیر قرار خواهند داد. پروژه انتقال آب از حوضه سیروان به حوضه کرخه نیز از دیگر مسائلی است که تولید انرژی را در سد کوران بوزان تحت تاثیر قرار می دهد. هدف از این پژوهش برآورد میزان تولید انرژی در نیروگاه کوران بوزان قبل و پس از احداث سد های یاد شده، توسعه اراضی کشاورزی و انتقال آب بین حوضه ای و مقایسه نتایج در حالات ذکر شده می باشد. جدول ۱ مشخصات فنی و سطوح زیر کشت اراضی طرح توسعه و بهبود سد های در دست مطالعه بالا دست سد کوران بوزان را نشان می دهد. جدول ۲ مشخصات فنی و عمومی سد و نیروگاه کوران بوزان را نمایش می دهد. شکل ۵ موقعیت قرار گیری اجزای مختلف مدل را نسبت به هم نمایش می دهد.

جدول ۱: مشخصات سد های در دست احداث در بالا دست سد کوران بوزان

عنوان	واحد	سد قشلاق	سد گرین	سد جامیشان	سد نورآباد	سد آناهیتا	سد کلان ملایر
نوع سد	-	سنگریزه‌ای	سنگریزه‌ای	سنگریزه‌ای	خاکی هسته رسی	خاکی هسته رسی	خاکی همگن
حجم نرمال	MCM	۵۰	۶۰	۶۲/۸	۸۳	۲۴/۶	۴۵
حجم مفید	MCM	۴۶/۱	۵۲	۵۲/۱۸	۷۲	۲۴/۱	۴۳/۹
سطح نرمال	ha	۳۰۰	۱.۷	۴۸۵	۳۴۵	۱۲۵	۳۱۰
حجم مرده	MCM	۳/۹	۸	۹/۶	۱۱	۰/۵	۶/۱
مساحت توسعه	ha	۳۸۱۹	۶۷۱۰	۳۸۰۰	۷۳۲۰	۳۸۰۰	۵
مساحت بهبود	ha	۴۱۱۰	۵۶۳۰	۲۲۰۰	۰	۳۰۰	۱۸۰۰

جدول ۲: مشخصات فنی و عمومی سد و نیروگاه کوران بوزان

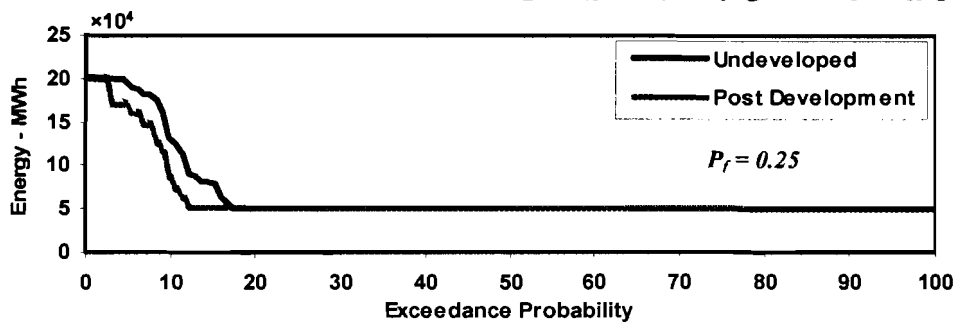
عنوان	واحد	سد و نیروگاه کوران بوزان	عنوان	واحد	سد و نیروگاه کوران بوزان
نام رودخانه	-	سیمره	حجم مرده مخزن سد	MCM	۱۳۵۳
نوع سد	-	سنگریزه‌ای	رقوم حد اقل بهره برداری	MASL	۱۰۴۰
سطح نرمال	ha	۵۰۰۰	قدرت نصب نیروگاه	MW	۲۷۸
حجم نرمال	MCM	۴۰۲۲	تعداد واحد توربین	عدد	۲
حجم مفید	MCM	۲۶۶۹	قدرت مطمئن	MW	۲۵۶



شکل ۵: موقعیت قرار گیری اجزای مختلف مدل نسبت به هم

۸- نتایج و بحث :

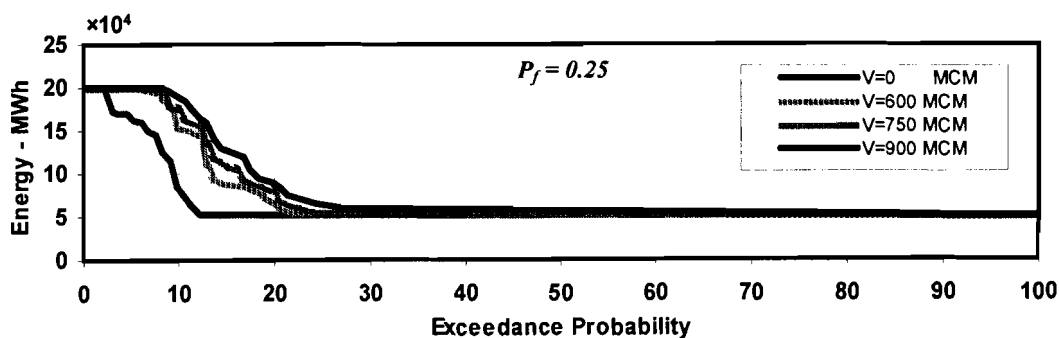
همان گونه که پیشتر ذکر گردید یکی از اهداف این پژوهش برآورد میزان تولید انرژی در نیروگاه کوران بوزان قبل و پس از احداث سد های یاد شده و توسعه کشاورزی در بالادست سد کوران بوزان و مقایسه نتایج در حالات ذکر شده می باشد. با انتخاب ضریب کارکرد ۰/۲۵ (ضریب پیشنهادی مهندس مشاور) برای نیروگاه کوران بوزان، مدل برای دو حالت بالادست توسعه یافته و بالادست توسعه نیافته در طول ۱۱ سال بین سالهای ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۵ با فرض تکرار هیدرولوژی اجرا گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان گونه که در نمودار ۱ مشاهده می شود به ازای ضریب کارکرد ۰/۲۵، نیروگاه سد می تواند در هر دو حالت در ۱۰۰٪ اوقات انرژی مطمئن معادل ۵۰ گیگاوات ساعت در ماه تولید نماید. تفاوت تولید انرژی در دو حالت یاد شده در میزان تولید، زمان تولید و درصد تامین انرژی ثانویه می باشد که در برنامه ریزی منابع آب سد های برقابی در درجه دوم اهمیت پس از تولید انرژی مطمئن قرار دارد. تولید انرژی ثانویه نیروگاه کوران بوزان در دوره ۱۱ ساله حالت بالادست توسعه نیافته معادل ۲۱۰۰ GWh بوده که این رقم معادل ۶۵۰ GWh بیشتر از تولید انرژی در حالت بالادست توسعه یافته می باشد. لذا ضریب کارکرد ۰/۲۵ که توسط مشاور پیشنهاد شده است در هر دو حالت ذکر شده جواب گوی نیاز انرژی مطمئن بوده و از این روی ضریب مناسبی برای کارکرد نیروگاه می باشد.



نمودار ۱: منحنی تداوم انرژی نیروگاه کوران بوزان در دو حالت بالادست توسعه یافته و توسعه نیافته

انتقال آب بین حوضه ای

میزان دقیق حجم آب انتقالی از حوضه سیروان به حوضه کرخه هنوز مشخص نمی باشد. لذا برای شبیه سازی انتقال آب بین حوضه ای، سه حجم انتقال سالانه ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ میلیون متر مکعب برای انتقال از حوضه سیروان به حوضه کرخه انتخاب گردیدند. ۱۰٪ حجم انتقال به مصارف شرب، ۴۰٪ به مصارف کشاورزی و ۴۰٪ باقیمانده برای انتقال به پایین دست حوضه کرخه در نظر گرفته شده است. محل انتقال آب بین حوضه ای از بالادست زیرحوضه قره سو خواهد بود لذا پس از تخصیص نیاز های کشاورزی و شرب، باقیمانده آب انتقالی از ایستگاه قره باغستان وارد محاسبات مدل می گردد. نمودار ۲ نتایج حاصل از اجرای مدل را در حجم های مختلف انتقال آب بین حوضه ای نمایش می دهد. در تمامی حالات یاد شده، فرض می گردد بالادست سد کوران بوزان به طور کامل توسعه یافته است.



نمودار ۲: منحنی تداوم انرژی نیروگاه کوران بوزان در حجم های مختلف انتقال آب از سیروان به کرخه

همان گونه که از نمودار ۲ پیداست، اختلاف تولید انرژی به ازای حجم های آب انتقال یافته از حوضه سیروان در میزان تولید انرژی ثانویه است. این میزان برای حجم های انتقالی ۰، ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ میلیون متر مکعب در سال به ترتیب معادل ۱۴۵۳GWh ، ۲۵۶۴GWh ، ۲۸۷۰GWh و ۳۲۰۱ GWh می باشد. کل انرژی تولید شده در حالت های یاد شده به ترتیب عبارتند از : ۸۰۵۹GWh ، ۹۱۷۰GWh ، ۹۴۷۵ GWh و ۹۸۰۷ GWh.

افزایش ضرایب کارکرد

اگر فرض شود که در آینده با افزایش تقاضای انرژی، ضریب کارکرد نیروگاه کوران بوزان به منظور تولید انرژی بیشتر افزایش یابد، آنگاه نقش توسعه بالادست بر تولید انرژی برقایی اهمیت پیدا خواهد کرد. انرژی مطمئن حداقل انرژی است که با توجه به آورد رودخانه در بدترین شرایط می تواند توسط نیروگاه تولید شود لذا با تغییر سناریو ها قابلیت تولید انرژی مطمئن نیز تغییر می نماید. در این مرحله از پژوهش به افزایش ضرایب کارکرد نیروگاه کوران بوزان و بررسی ظرفیت افزایش تولید انرژی مطمئن تحت سناریو های یاد شده در مراحل قبل پرداخته خواهد شد. برای رسیدن به بیشترین ضریب کارکرد بدین گونه عمل می گردد که ابتدا تغییراتی در مدل متناسب با هر سناریو اعمال می گردد. سپس ضریب کارکرد نیروگاه را تدریجاً افزایش داده و مدل اجرا می گردد. ضریب کارکرد تا جایی افزایش می یابد که انرژی تولیدی نیروگاه در کل دوره در ۹۰٪ اوقات از انرژی مطمئن معادل با ضریب کارکرد در نظر گرفته شده بیشتر شود. به بیان دیگر سطح اعتماد پذیری تولید انرژی مطمئن در نیروگاه معادل ۹۰٪ شود. پس از اجرای سناریو های مختلف و تغییر ضریب کارکرد ها، نتایج بدست آمد که در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از افزایش ضریب کارکرد نیروگاه کوران بوزان در سناریو های مختلف

سناریو	حد اکثر ضریب کارکرد در سطح اعتماد پذیری ۹۰٪	انرژی مطمئن ماهیانه GWh	مجموع انرژی تولیدی در کل دوره GWh
۱ بالادست توسعه نیافته	۰/۳۳۱	۶۶/۲۵	۸۰۳۵
۲ بالادست توسعه یافته	۰/۲۹۶	۵۹/۲۵	۷۲۰۸
۳ بالادست توسعه یافته و انتقال آب از سیروان برابر ۶۰۰ MCM در سال	۰/۳۴۷	۶۹/۴۶	۸۳۷۸
۴ بالادست توسعه یافته و انتقال آب از سیروان برابر ۷۵۰ MCM در سال	۰/۳۵۹	۷۱/۸۶	۸۷۵۵
۵ بالادست توسعه یافته و انتقال آب از سیروان برابر ۹۰۰ MCM در سال	۰/۳۷۲	۷۴/۴۶	۹۰۲۵

۹- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تاثیر توسعه بالادست سد کوران بوزان بر تولید انرژی برقایی نیروگاه سد کوران بوزان با روش یویایی سیستم پرداخته شده است. برای شبیه سازی عملکرد مخزن سد غیر برقایی از قاعده بهره برداری استاندارد استفاده شده است. همچنین برای محاسبه نیاز کشاورزی توسعه در پایین دست سد ها از اطلاعات نرم افزار NetWat استفاده شده و نیاز ناخالص توسعه در زیر ساختار نیاز کشاورزی محاسبه می شود. به منظور مدل سازی عملکرد سد برقایی از روش روند یابی متوالی جریان بهره برده شده است. زیر ساختار ایستگاه هیدرومتری کنترلی نیز تغییراتی که در اثر احداث سد ها، توسعه کشاورزی و اعمال سیاست های جدید در یک زیر حوضه اتفاق افتاده اند را در ایستگاه های مشخصی که به عنوان نقاط کنترلی در نظر گرفته شده اند اعمال می کند. پس از چیدن اجزاء مختلف مدل در کنار هم و تغییر پارامتر های هر زیر ساختار متناسب با جزء واقعی متناظر با آن در منطقه مورد مطالعه، مدل شبیه ساز در دوره زمانی ۱۱ سال اجرا گردید و نتایج اولیه از آن استخراج شد. نتایج اولیه بیانگر این نکته است که علی رقم ایجاد سد جدید در بالادست و توسعه کشاورزی به میزان ۳۴۰۰۰ هکتار، نیروگاه کوران بوزان قادر است در ۱۰۰٪

اوقات انرژی مطمئن ماهیانه به میزان ۵۰ گیگاوات ساعت را تامین نماید. سپس تاثیر پروژه انتقال آب بین حوضه ای بر روی تولید انرژی برقابی نیروگاه کوران بوزان بررسی گردید. نتیجه بیانگر افزایش حدود ۲۰۰ گیگاوات ساعت افزایش تولید انرژی ثانویه به ازای هر ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب انتقالی از سیروان به کرخه در کل دوره ۱۱ ساله می باشد. در مرحله آخر به افزایش ضرایب کارکرد نیروگاه کوران بوزان و بررسی ظرفیت افزایش تولید انرژی مطمئن تحت سناریو های اجرا شده در مراحل قبل پرداخته شد. نتایج نشان می دهد که نیروگاه کوران بوزان قابلیت افزایش تولید انرژی مطمئن را دارا است و مقادیر ساعات افزایش کارکرد حد اکثر به ازای سناریو های مختلف از ۱ ساعت تا ۳ ساعت افزایش متغیر است.

۱۰- مراجع

- [1] Palmer, R. (1994). "*(ACT-ACF) River basin planning study.*" <http://maximus.ce.washington.edu>
- [2] Palmer, R., Hilton, K., and Hahn, M. (1995). "*Willamette river basin reauthorization feasibility study.*" <http://www.ce.washington.edu>
- [3] Keyes, A. M. & Palmer, P. N., (1993). "*The role of object-oriented simulation models in the drought preparedness studies.*" Proc., 20th Annu. Int. Conf., Water Resources Planning and Management, Div. ASCE, Seattle, Washington, 479-482
- [4] Matthias, R., and Frederick, P., (1994). "*Modeling Spatial Dynamics of Sea Level Rise in a Coastal Area.*" System Dynamics Review, 10(4), 375-389
- [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 Montreal, Canada, 909-920
- [6] Simonvic, S.P., and Fahmy, H., and Ei-shorbagy, A., (1997). "*The use of object oriented modeling for water resources planning in Egypt.*" J. Water Resources. Plan. And Manage., 11,243-261
- [7] Royston, C. W. J., (1999). "*Use of object oriented programming in water supply system modeling.*" Proc., 26th Annul Int. Conf., Water resources Plan. And Manage., Temp Arizona, 6-9
- [8] Ahmad, S. , and simonovic , S.P., (2000). "*System dynamics modeling of reservoir operation for flood management.*" J. Computing in Civil Engineering, 14(3), 190-198.
- [9] Ahmad, S. , and simonovic , S.P., (2000). "*Dynamic modeling of flood management policies.*" Proc., 18th Int. Conf., System Dynamics Society, Sustainability in the third Millennium, Bergen, Norway.
- [10] Teegavarapu, R. S. V., and Simonovic , S. P. (2000). "*System dynamics simulation model for operation of multiple reservoirs.*" Proc., 10th World Water Congress, Melbourne, Australia .
- [11] Li, L., and simonovic, S. P. (2002). "A System dynamics model for predicting floods from snowmelt in north American prairie watersheds." Hydrolog. Process.,
- [12] Saysel, A. K., and Y. Barlas, et al., (2002). "*Environmental sustainability in an agriculture development project: a system dynamics approach.*" J. Environmental Management, 64(3), 247-260
- [۱۳] صادقی، ن.، (۱۳۸۲). "مدلسازی بهره برداری به منظور کنترل سیلاب با استفاده از روش تحلیل دینامیکی سیستم"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [۱۴] مومنی دهقی، ا.، (۱۳۸۴). "مدلسازی بهره برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی سیستم"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [15] Jalali, M., Afshar, A., Mokhtare, A. (2005), "System Dynamics Modeling Approach for gated and ungated flood routing in a cascade-multi reservoir system" International Journal of Civil Engineering, 2(4), 213-222.
- [۱۶] صلوی تبار، ع.، زرغامی، م.، ابریشم چی، ا.، "مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران"، م.آب و فاضلاب، ۵۹، ۱۲-۲۸
- [۱۷] افضلی، ر.، (۱۳۸۴). "بهبود طراحی سیستم های چند مخزنه برقابی با کمک یک مدل ترکیبی شبیه سازی-بهبود سازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت.