مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی سیستم

ابراهیم مومنی [۱] مسعود تجریشی [۲] احمد ابریشم‌چی [۳]

(دریافت ۸٤/۱۱/۱۱ پذیرش ۸۵/۳/۱)

چکیده

روش پویایی سیستم، در واقع روش شبیه‌سازی شیءگرا و بر پایه بازخورد است که می تواند علاوه بر تشریح سیستم‌های پیچیده بر اساس واقعیت، امکان دخالت مؤثر کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی را در طول فرآیند مدل‌سازی فراهم نماید. افزایش سرعت در توسعه مدل، قابلیت توسعه گروهی مدل، ارتباط مؤثر با نتایج و افزایش اعتماد به مدل در اثر مشارکت کاربر از مهم‌ترین قابلیتهای این روش شبیه سازی می باشند. سادگی ایجاد تغییر در مدل و قابلیت انجام آنالیز حساسیت، این روش را از دیگر روشهای تحلیل مدل‌سازی جذاب‌تر نموده است. در تحقیق حاضر مدلی به روش پویایی سیستم از حوضه زاینده رود در مرکز ایران توسعه داده شده است. این مدل شامل حوضه رودخانه، مخزن سد، دشتها، شبکه های آبیاری و آب زیر زمینی محدوده مورد نظر می باشد. سیاست بهره برداری، استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی است. ضریب تخصیص هر شبکه آبیاری بر اساس بازخورد ناشی از آب زیرزمینی در محدوده همان منطقه محاسبه می گردد. با توجه به نتایج مشخص گردید با ایجاد قواعد بهره برداری مناسب تر، نه تنها می توان تمامی نیازها از جمله نیاز زیست محیطی تالاب گاوخونی را تأمین نمود، بلکه می توان از افت سطح آب زیرزمینی در آینده نیز جلوگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: *پویایی سیستم، بهره‌برداری از مخزن، حوضه زاینده‌رود، شبیه سازی، استفاده تلفیقی.*

System Dynamics Modeling of Multipurpose Reservoir Operation

Ebrahim Momeni[1], Masoud Tajrishy[2], Ahmad Abrishamchi[3]

(Received Jan. 31, 2006 Accepted May 22, 2006)

Abstract

System dynamics, a feedback – based object – oriented simulation approach, not only represents complex dynamic systemic systems in a realistic way but also allows the involvement of end users in model development to increase their confidence in modeling process. The increased speed of model development, the possibility of group model development, the effective communication of model results, and the trust developed in the model due to user participation are the main strengths of this approach. The ease of model modification in response to changes in the system and the ability to perform sensitivity analysis make this approach more attractive compared with systems analysis techniques for modeling water management systems. In this study, a system dynamics model was developed for the Zayandehrud basin in central Iran. This model contains river basin, dam reservoir, plains, irrigation systems, and groundwater. Current operation rule is conjunctive use of ground and surface water. Allocation factor for each irrigation system is computed based on the feedback from groundwater storage in its zone. Deficit water is extracted from groundwater.The results show that applying better rules can not only satisfy all demands such as Gawkhuni swamp environmental demand, but it can also prevent groundwater level drawdown in future.

Keywords: *System Dynamics, Reservoir Operation, Zayandehrud Basin, Simulation, Conjunctive Use.*

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف- emomeni@alum.sharif.edu
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف
۳- استاد دانشگاه مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

1- Graduate Student of Hydraulic Structure, Dept. of Civil Engineering, Sharif University of Technology- emomeni@alum.sharif.edu
2- Assoc. Prof., Dept. of Civil Engineering, Sharif University of Technology
3- Prof., Dept. of Civil Engineering, Sharif University of Technology

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

در چهار دهه اخیر تکنیک‌های تحلیل سیستم‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع مورد توجه محققان مهندسی منابع آب قرار گرفته است. انواع مدل‌های به کار رفته در این گونه مسائل به سه دسته مدل‌های شبیه سازی[1]، بهینه سازی[2] و ترکیب شبیه سازی و بهینه‌سازی تقسیم می شوند. مدل‌های شبیه سازی بر اساس " اگر آنگاه‌ها" استوار است. این به آن معنا است که تحت یک طراحی و (یا) سیاست بهره برداری، به احتمال زیاد در هر زمان و در یک یا چند مکان چه روی خواهد داد [۱]. مزیت روشهای شبیه سازی در توانایی آنها برای حل مدل هایی از تحلیل سیستم های منابع آب است که دارای روابط و قیدهای غیر خطی هستند. در حالی که روشهای بهینه سازی به ندرت توانایی رسیدگی به آنها را دارند. بیشتر این روشها توسط لاکس و همکاران[3] شرح داده شده‌اند [۲].

تحلیل سیستم ها جایگاه مهمی در زمینه مدیریت منابع آب دارد و شبیه‌سازی، یک ابزار ضروری تصمیم‌گیری در فرآیند مدیریت مخزن می باشد [۳]. در هر حال نیاز به یک 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.

پویایی سیستم روشی شیء گرا[4] و بر اساس بازخورد[5] است که علاوه بر داشتن خصوصیت ذکر شده، در مقایسه با دیگر روشهای تحلیل سیستم‌ها ساده و مؤثر بوده و همچنین در شرح سیستم به ریاضیات پیچیده احتیاج ندارد. این روش به صورت یک روش کارآمد و عمومی در مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب به کار می‌رود.

کیز[6] و پالمر[7]، روش فوق را در شبیه‌سازی مطالعات خشکسالی به کار گرفتند [۴]. فلچر[8] این روش را به عنوان یک روش تحلیل تصمیم در مدیریت کم‌آبی استفاده نمود[۵]. سیمونوویچ[9] و فامی[10]، از روش فوق برای ارزیابی دراز مدت منابع آبی و تحلیل سیاستهای اعمالی در حوضه رودخانه نیل در مصر بهره جستند [۶]. همچنین رویستون[11]، این روش را در تأمین تقاضای آب و بهره‌برداری از مخزن چند منظوره لویس اسمیت[12] در رودخانه بلک وریور[13] به کار گرفت [۷]. احمد و سیمونوویچ، با استفاده از این روش، بهره‌برداری از مخزن شلماوس[14] در رودخانه آسینیبوین[15] را برای سال پرآبی و چندین سیلاب رخ داده بررسی نمودند. ایشان در این تحقیق اثرات مدیریت سیلاب در مخازن با سرریزهای دریچه‌دار و سرریزهای بدون دریچه با یکدیگر مقایسه شده و رفتار مدل برای شرط اولیه تراز مخزن، تحلیل حساسیت شده است [۸].

همچنین احمد و سیمونوویچ از پویایی سیستم در محاسبه خسارت ناشی از سیلاب استفاده نمودند [۹] و نیز تحلیل سیاستهای مدیریت سیلاب را از دیدگاه اقتصادی انجام دادند [۱۰]. تیگاواراپو[16] و سیمونوویچ برای مدل‌سازی بهره‌برداری از سیستم چند مخزنه به منظور تولید نیروی برق آبی از پویایی سیستم استفاده و به منظور بررسی کارآیی سیستم از دو شاخص قابلیت اطمینان و آسیب پذیری بهره بردند [۱۱].

سیسل[17] و بارلاس[18] از پویایی سیستم در پاسخ به سؤالات در مورد میزان تولید نیروی برق آبی، توسعه کشاورزی، انتخاب نوع کشت، مؤلفه‌های زیست‌محیطی و تولیدات کشاورزی در جنوب شرقی ترکیه استفاده کردند [۱۲و۱۳].

در این مقاله، مدلی به روش پویایی سیستم در نرم افزار Vensim ساخته شده است که در آن مخزن سد، سفره آب زیرزمینی و جریان در طول رودخانه مدل‌سازی شده و به راحتی می‌توان تأثیر اعمال سیاست جدید یا تغییر در سیاستهای قبلی بهره برداری از هر یک از این مؤلفه‌ها را بر مؤلفه‌های دیگر مشاهده نمود. بالا بردن سطح شناخت از منطقه و یافتن راه حلی برای کاهش مشکلات موجود و نیز بررسی چند سناریو از مهمترین اهداف انجام این تحقیق به شمار می‌رود.

۲- روش تحقیق

۲-۱- روش پویایی سیستم

از جمله مفاهیم با اهمیت در روش پویایی سیستم، قانون پیوستگی است که در مباحث بهره‌برداری از مخازن از مفاهیم اساسی است. ابزار مورد استفاده در این روش شامل ذخیره‌ها[19]،

[1] Simulation
[2] Optimization
[3] Loucks et al.
[4] Object-Oriented
[5] Feedback
[6] Keyes
[7] Palmer
[8] Fletcher
[9] Simonovic
[10] Fahmy
[11] Royston
[12] Lewis Smith
[13] Black Warrior
[14] Shellmouth
[15] Assiniboine
[16] Teegavarapu
[17] Saysel
[18] Barlas
[19] Stocks

Archive of SID
www.SID.ir

جریانها[1]، رابطها[2] و مبدلها[3] می‌باشند. ذخیره‌ها یا متغیرهای حالت، انبارهایی هستند که حالات سیستم را مشخص می‌کنند و اطلاعاتی که برای تصمیم‌گیری و اجرا لازم است توسط آنها تولید می‌شود. ذخیره، نیروی اینرسی و حافظه سیستم است.

نمایش فرآیند بازخورد مهم‌ترین هنر این روش است که همراه با ساختار ذخیره و جریان، توابع غیرخطی[4] و تأخیر زمانی[5]، دینامیک سیستم را تعریف می‌کنند. پیچیده‌ترین رفتارها از تقابلها (بازخوردها)ی میان اجزای سیستم نتیجه می‌شود نه از پیچیدگی خود اجزاء. بازخورد، در بردارنده این مفهوم است که تغییرات یک متغیر سرانجام بر مقدار آتی خود آن نیز اثر خواهد داشت. پویایی سیستم از دو نوع حلقه‌های بازخوردی مثبت (خود تقویت کننده) و منفی (خود اصلاح کننده) به وجود می‌آید. حلقه های منفی باعث ایجاد تعادل و پایداری در سیستم می گردند [۱۴و۱۵].

۲-۲- ساختار مدل

از آنجا که هدف از ساخت مدل، بهره برداری مناسب از مخزن سد و آب زیرزمینی منطقه و همچنین بالا بردن سطح شناخت از منطقه مورد مطالعه است، مدل پیشنهادی دارای شش قسمت عمده می‌باشد. قسمتهای مختلف مدل ایجاد شده در نرم افزار Vensim در زیر شرح داده می شود.

۲-۲-۱- زیرسیستم‌های تهیه داده های ورودی

در این تحقیق از قابلیت پیش بینی جریان در تعیین خروجی از مخزن استفاده شده است؛ به این صورت که با اعمال روابط به دست آمده در مدل، جریان ماهانه ورودی به مخزن پیش بینی شده است. از روی این جریان میزان جریان خروجی از مخزن تعیین شده و سپس به منظور جلوگیری از دخالت خطای پیش‌بینی در نتایج دیگر، برای تعیین حجم ذخیره مخزن در انتهای هر ماه از داده‌های تاریخی استفاده گردیده است.

در این قسمت میزان نیاز بخش شرب و صنعت نیز محاسبه می‌گردد. 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 به کار رفته است. برای تعیین نیاز صنعت نیز با اعمال ضریب رشد، نیاز این بخش محاسبه می گردد.

همچنین در این قسمت از مدل، محاسبه آب مورد نیاز آبیاری هر کدام از دشتهای کشاورزی و مجموع آنها صورت می پذیرد. نیاز آبیاری با توجه به سطح زیرکشت غالب سالهای اجرای برنامه، نیاز آبی محصولات مختلف و راندمان آبیاری محاسبه می‌گردد. ساختار مدل در این قسمت دارای پیچیدگی خاصی نبوده و متغیرهای مورد استفاده توسط مدل در مرجع [۱۶] آورده شده و لذا در ادامه از نشان دادن شکل مربوط به مدل این قسمتها صرفنظر شده است.

۲-۲-۲- تعیین جریان خروجی از مخزن

این بخش اساسی ترین قسمت مدل‌سازی است که از نتایج حاصل از قسمت قبل در تعیین ورودی و خروجیهای مخزن استفاده می شود. در این مرحله در تعریف روابط خروجی از مخزن، قوانین تصمیم گیری نقش اساسی را ایفا می کند. شکل ۱ قسمتی از مدل که برای ساختار مخزن، ورودی و خروجی آن به کار می‌رود را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل دیده می شود، حجم ذخیره در مخزن سد با یک متغیر ذخیره (حالت) و هر یک از متغیر های ورودی، تبخیر، رها سازی و سرریز با یک متغیر جریان نشان داده شده اند. تعیین سرریز جریان با توجه به حداکثر ارتفاع آبگیری مخزن و جریانهای ورودی و خروجی و حجم ذخیره مخزن تعیین می‌گردد. به دلیل قابلیت پیش بینی مدل در تعیین جریان ورودی در ماههای اولیه سال (فروردین تا خرداد) که احتمال وقوع سیلاب وجود دارد، میزان سرریز لازم هر ماه تعیین می گردد. مجموع جریان رهاسازی شده و تلفات مخزن از مجموع جریان ورودی و حجم ذخیره مخزن کسر می گردد. حجم باقیمانده با حجم معادل حداکثر ارتفاع آبگیری مقایسه شده و مازاد آن به عنوان سرریز از مخزن خارج می‌شود.

۲-۲-۳- جریان در طول رودخانه، برداشتها و برگشتهای آب

برای مدل‌سازی جریان در طول رودخانه از نمودار جریانهایی استفاده شده که ورودی و خروجی آنها چاه و چشمه است. هر ایستگاه با یک جریان نشان داده شده که مقدار این جریان معرف حجم آب رسیده به ایستگاه مورد نظر در طول یک دوره زمانی ماهانه است.

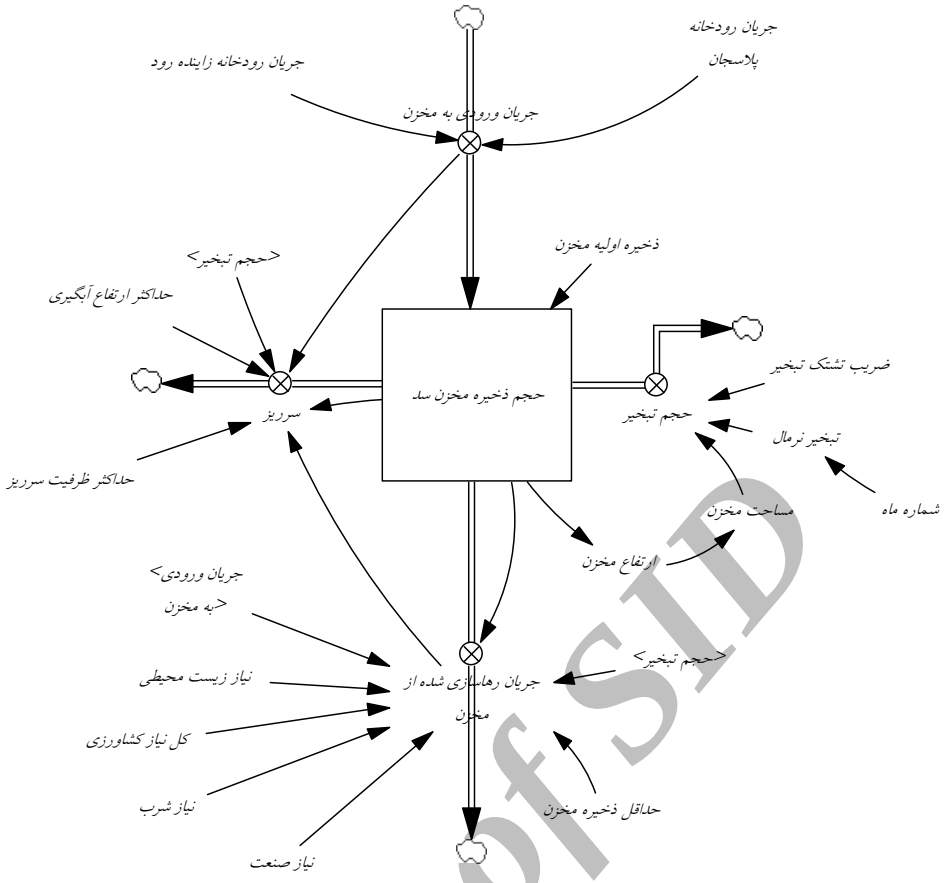
۲-۲-۴- قسمت آب زیرزمینی شامل تغذیه و برداشتها

برای آب زیرزمینی هر یک از پنج دشت کشاورزی، مدلی به صورت شکل ۲ ساخته شده است. حجم ذخیره آب زیرزمینی تحت

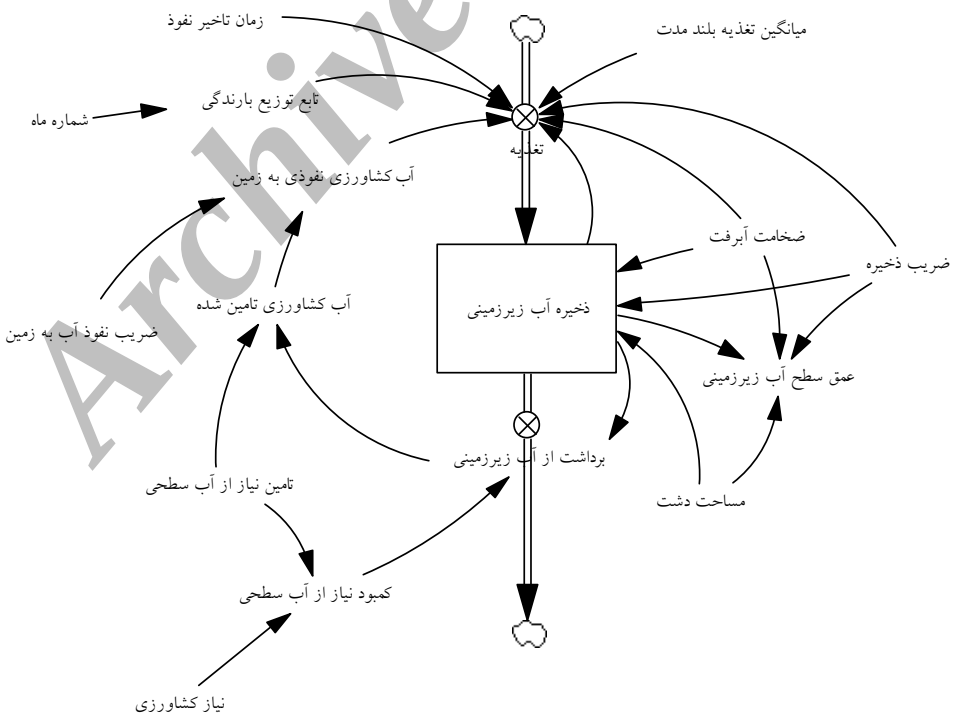
---

[1] Flows
[2] Connectors
[3] Converters
[4] Nonlinear Functions
[5] Delay Time

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- قسمتی از مدل شامل مخزن سد، ورودی و خروجیها



شکل ۲- قسمتی از مدل شامل آب زیرزمینی در محدوده یکی از دشتها

Archive of SID

www.SID.ir

تأثیر این طرحها، با یک متغیر ذخیره(حالت) نشان داده شده است. میانگین تغذیه بلند مدت آب زیرزمینی (شامل همه ورودیها و خروجیها به جز آب نفوذی از آبیاری) با استفاده از تابع توزیعی که از تقسیم میانگین بلند مدت بارش ماهانه به میانگین بلند مدت بارش سالانه در آن محل به دست آمده، به حجم ذخیره آب زیرزمینی مورد نظر اضافه می گردد. به منظور ایجاد تأخیر در پیوستن آب به ذخیره آب زیرزمینی از تابع تأخیر[1] که از توابع تعریف شده در نرم افزار Vensim است استفاده گردیده است.

۲-۳- بررسی منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز زاینده رود با مساحت تقریبی ۴۱۵۲۴ کیلومترمربع، در بخش میانی فلات مرکزی ایران قرار دارد که حدود ۱۶۶۷۰ کیلومترمربع این حوضه را مناطق کوهستانی و ۲۴۸۵۴ کیلومتر مربع آن را کوهپایه و دشت تشکیل می‌دهد [۱۷]. رشد جمعیت و فعالیت صنایع بزرگ موجب افزایش تقاضای آب و رقابت در حوضه زاینده رود شده و در این رابطه بخش کشاورزی بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته است [۱۸].

فقط حوضه بالادست دریاچه زاینده رود که مساحتی کمتر از ۱۰٪ کل حوضه را شامل می شود، در تأمین جریانهای آبی مؤثر می‌باشد. این محدوده شامل مناطق بالادست محل احداث تونل سوم کوهرنگ در حوضه آبریز کارون علیا، بخشهایی از حوضه دز که محدود به چشمه لنگان می‌شود و مناطق بالادست سد زاینده رود در حوضه آبریز زاینده رود که خود به سه قسمت زیرحوضه ایستگاه هیدرومتری اسکندری واقع بر رودخانه پلاسجان، زیرحوضه ایستگاه قلعه شاهرخ واقع بر رودخانه زاینده رود و زیرحوضه میانی که در میان دو زیر حوضه مزبور واقع شده و کلیه ورودیهای به دریاچه سد زاینده‌رود که از این زیر حوضه عبور می‌کند را شامل می‌شود.

محدوده دوم از پایین دست سد شروع شده و تا باتلاق گاوخونی ادامه می یابد. رودخانه در این محدوده در حدود ۳۵۰ کیلومتر را می‌پیماید تا به باتلاق برسد. تقریباً تمام آب پشت سد به این منطقه انتقال یافته و به مصارف مختلف کشاورزی، شرب، صنعت وتأمین نیاز زیست محیطی می‌رسد. مصرف بخش کشاورزی، عمده مصرف این حوضه است. البته تأمین نیاز شرب و صنعت از اولویت بالاتری نسبت به کشاورزی برخوردار است و در سالهای خشک پس از تأمین آب مورد نیاز این دو بخش، مازاد آب به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد. مهم‌ترین شبکه های آبیاری حوضه، شبکه سنتی لنجانات و شبکه های مدرن نکوآباد، مهیار، برخوار، رودشت و آبشار می‌باشد. موقعیت این شبکه ها و ایستگاههای هیدرومتری در شکل ۳ نشان داده شده است. راندمان آبیاری در شبکه های مختلف متفاوت بوده که می‌توان میانگین راندمان کلیه شبکه ها را در حدود ۰/۳۶ در نظر گرفت [۱۷].

در طول مسیر رودخانه مقداری از آب برداشت شده دوباره به رودخانه باز می گردد. ضریب برگشت آب به رودخانه از آب شهری ۰/۸، صنعت ۰/۵، شبکه های آبیاری برخوار و مهیار ۰/۱ و سایر شبکه ها ۰/۲ تخمین زده شده است [۱۹].

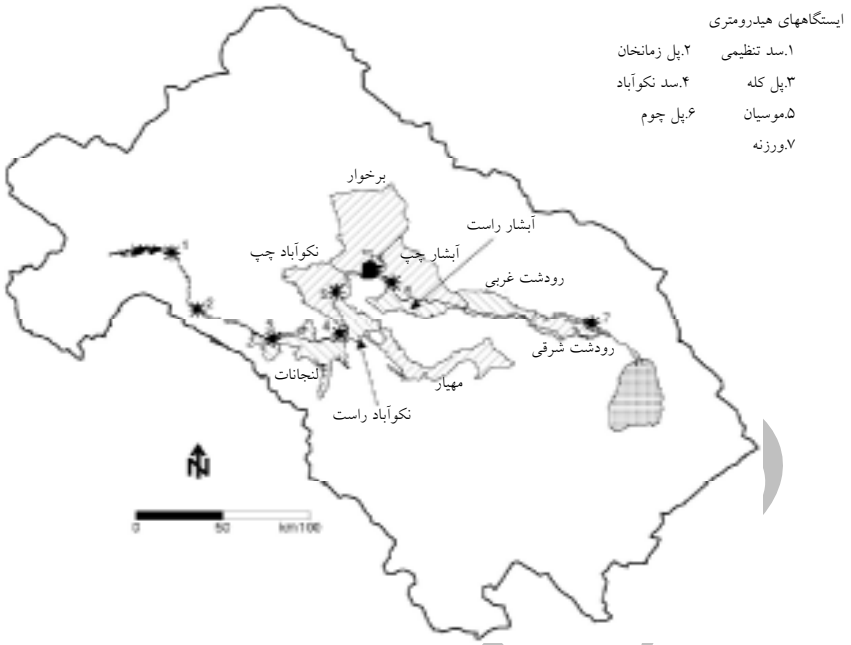
حوضه، شامل تعدادی از دشتهاست که دشتهای کوهپایه-سگزی، اصفهان-برخوار، نجف‌آباد، مهیارشمالی و لنجانات به علت ارتباط مستقیم با رودخانه زاینده‌رود و در برگرفتن سیستم‌های آبیاری شش‌گانه ذکر شده برای مطالعه و بررسی اهمیت بیشتری دارند. طبق مطالعات انجام گرفته در امور آب اصفهان در سال ۱۳۷۹، تمامی دشتها دارای کاهش در میزان ذخایر آب زیرزمینی بوده‌اند [۲۰]. یکی از مهم‌ترین عوامل آن را می‌توان وقوع یک دوره خشکسالی در حوضه دانست. نکته لازم به ذکر اینکه، در این مطالعه اگر چه هر یک از این دشتها به عنوان یک واحد مطالعاتی با یک سفره آب زیرزمینی جدا در نظر گرفته شده است، ولی برخی از این سفره‌ها بر روی یکدیگر تأثیرگذارند. در جدول ۱ ضرایب و پارامترهای مربوط به آب زیرزمینی در محدوده دشتهای مورد مطالعه آورده شده است.

[1] Delay Fixed

جدول ۱- پارامترها و ضرایب سفره آب زیرزمینی در محدوده دشتهای مورد مطالعه [۱۷و۲۰]

ضرایب و پارامترها	کوهپایه و سگزی	اصفهان و برخوار	نجف آباد	مهیار شمالی	لنجانات
شبکه آبیاری	آبشار و رودشتین	برخوار	نکوآباد	مهیار شمالی	لنجانات
مساحت (کیلومتر مربع)	۴۰۴۶	۲۸۲۲	۷۸۰	۱۵۱	۷۱۹
نرخ نفوذ از آبیاری	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۲
تغذیه سالانه بجز نفوذ آبیاری (MCM)	۱۹۲	۱۴/۵	۴۱۱	۱۵۹	۲۶۰
پهنای لایه آبرفتی (متر)	۱۵۰	۳۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۱۸۰
ضریب ذخیره	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳- موقعیت شبکه های آبیاری و ایستگاههای هیدرومتری

به طور خلاصه می‌توان مهم‌ترین مشکلات حوضه را به صورت زیر بیان کرد:

- عدم تناسب عرضه و تقاضای آب در شبکه های کشاورزی؛
- عدم توان تأمین نیاز آب کشاورزی در سالهای خشک؛
- عدم تأمین نیاز زیست محیطی دو اکوسیستم طبیعی رودخانه و باتلاق گاوخونی در همه سالها و
- برداشت بی رویه از آب زیرزمینی و کاهش سطح آب این سفره‌ها.

مخزن سد زاینده رود یک مخزن چند منظوره با منظورهای کنترل سیل، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی، شرب، صنعت و محیط زیست منطقه پایین دست آن و همچنین تولید نیروی برق آبی به میزان جزئی است. حجم مخزن این سد در حدود ۱۴۵۰ میلیون متر مکعب و ارتفاع تاج از سنگ بستر ۱۰۰ متر می باشد. در این تحقیق به عملکرد تولید نیروی برق آبی پرداخته نشده است ولی کلیه منظورهای دیگر مد نظر قرار گرفته است.

۲-۴- اعتبارسنجی مدل

به منظور بررسی صحت مدل و تعیین میزان اعتبار آن آزمونهای زیر بر روی آن صورت پذیرفت که نتایج این آزمونها، اعتبار مدل را برای سالهای مورد بررسی نشان دادند.

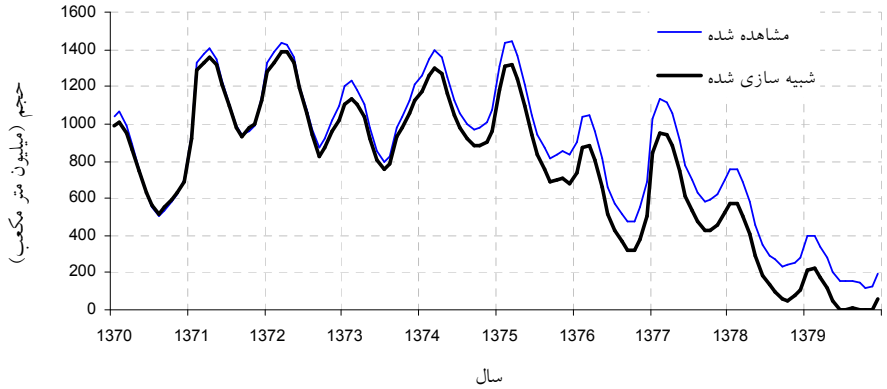
۲-۴-۱- مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع

در این قسمت با دادن اطلاعات سالهای گذشته به مدل، رفتار آن با رفتار مرجع مقایسه گردید [۱۴و۱۵]. به دلیل نبود اطلاعات کامل، این کار در سه قسمت انجام پذیرفت. قسمت اول مربوط به کنترل رفتار مخزن تحت ورودی و خروجی مشخص در طی سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۹ بود. اطلاعات این سالها به صورت داده‌های 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 ۴ آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که مدل، رفتار مرجع را به خوبی بازسازی می‌کند و اختلاف کم موجود نیز ناشی از دقت داده‌ها از جمله داده‌های جریان ورودی به مخزن است.

قسمت دوم مربوط به جریان در طول رودخانه می باشد که با دادن اطلاعات سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۹، رفتار مدل و مرجع در ایستگاههای هیدرومتری مختلف بررسی گردید. با بررسی نتایج مشخص گردید که مدل، رفتار مرجع را بازسازی می نماید. در جدول ۲ مقایسه آماری بین نتایج مدل و مقادیر ثبت شده در ایستگاههای هیدرومتری آورده شده است.

با مقایسه نتایج مشخص می گردد که مقادیر جریان در بالادست رودخانه، از محل سد تا پل کله، دارای مطابقت بسیار خوبی می‌باشد. عملکرد خوب مدل در این مناطق ناشی از مقادیر کم

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- مقایسه رفتار مدل و رفتار مرجع در حجم ذخیره مخزن

جدول ۲- مقایسه آماری بین داده های ماهانه جریان شبیه سازی شده و مشاهداتی در ایستگاههای هیدرومتری

ایستگاه	R^2	RMSE (MCM)	قدرمطلق تفاضلات(MCM)
پل زمانخان	۰/۹۸	۱۳	۷
پل کله	۰/۹۸	۱۵	۹
سد نکوآباد	۰/۸۴	۲۳	۱۶
پل چوم	۰/۷۲	۲۳	۱۶
ورزنه	۰/۶۰	۲۸	۲۰

آبگیری به منظور آبیاری کشاورزی است. در محدوده پل کله تا سد انحرافی نکوآباد با وجود آبگیری بسیار بالای بخش کشاورزی (در حدود ۸۰۰ میلیون متر مکعب در سال)، عملکرد مدل قابل قبول می‌باشد.

بررسیهای اولیه، پایین بودن دقت مدل در بازه انتهایی رودخانه از پل چوم تا ورزنه را نشان می دهد. در این بازه رودخانه، مقادیر جریان شبیه‌سازی شده، بزرگتر از داده‌های مشاهده شده می باشد. در این بخشها برداشت آب از رودخانه بدون هیچ کنترلی صورت می‌گیرد و تا زمانی که آب در رودخانه موجود باشد، استحصال از آن توسط کشاورزان با انحراف آب انجام می پذیرد.

قسمت سوم اعتبار سنجی مربوط به آب زیرزمینی است. اطلاعات مربوط به عمق سطح آب زیرزمینی تنها در سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹ موجود می باشد. مقایسه بین عمق سطح آب زیرزمینی در این دوره نشان از بازسازی رفتار سطح آب زیرزمینی توسط مدل دارد.

آزمونهای بسیار دیگری از جمله سنجش حساسیت مدل به ضرایب آب برگشتی به رودخانه، زمان تأخیر تراوش آب به سفره آب زیرزمینی و ضریب نفوذ آب آبیاری و نیز آزمونهای شرایط حدی، شامل آزمون ورودی صفر به مخزن، رهاسازی صفر از مخزن، سطح زیرکشت بینهایت، نیاز صفر و حجم اولیه صفر مخزن، به مدل اعمال گردید که نتایج آن در مرجع [۱۶] آورده شده است.

نتایج تمامی آزمونهای ذکر شده مطابق انتظار بوده و نشان از اعتبار مدل برای اهداف مورد نظر دارد. البته در مورد حساسیت مدل به ضریب نفوذ آب آبیاری ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که به منظور بالاتر بردن اعتماد به نتایج، لازم است صحت این ضرایب مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

۳- سیاست بهره‌برداری

سیاست بهره برداری، استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی است. در هر زمان و برای هر شبکه آبیاری از روی مقادیر نیاز سالانه کشاورزی، میزان آب قابل برگشت از آبیاری به سفره آب زیرزمینی و همچنین ذخیره آب زیرزمینی در محدوده دشت دربر گیرنده شبکه مذکور، ضریب تخصیص آب سطحی تعیین می‌گردد.در واقع، این ضریب تخصیص متناسب با ذخیره آب زیرزمینی است و در صورت کاهش ذخیره آن در محدوده دشت مورد نظر، ضریب تخصیص افزایش می‌یابد تا در جهت جبران افت

Archive of SID

www.SID.ir

سطح آب عمل نماید. در اینجا از حلقه های منفی در ایجاد تعادل در سطح آب زیرزمینی استفاده شده است.

در مورد مخزن سد زاینده رود، قاعده بهره برداری استاندارد[1] اجرا می گردد. البته برای بهره برداری از مخزن، پارامترهای حداقل حجم بهره‌برداری و حداکثر میزان جریان رهاشده از مخزن تعریف شده است. همچنین با اعمال قیودی، مخزن سد ملزم به تأمین نیازهای شرب و صنعت گردیده است که مستلزم وجود ذخیره کافی در مخزن و(یا) جریان ورودی به دریاچه سد است.

در مورد آب زیرزمینی باید گفت به علت الزام به تأمین کلیه نیازهای بخش کشاورزی، کمبود آب هر شبکه پس از تخصیص آب سطحی، از آب زیرزمینی در محدوده دشت در بر گیرنده شبکه مورد نظر برداشت می گردد.

نتایج حاصل از اجرای این سیاست و تأثیر آن بر سطح آب زیرزمینی در ادامه آمده است. شکل ۵ حجم ذخیره مخزن سد و حجم جریان خروجی از سد را در طول سالهای ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می شود، ذخیره مخزن سد هیچ گاه به کمتر از ۷۰۰ میلیون مترمکعب نرسیده است و این امر می‌تواند موجب اطمینان خاطر بهره برداران از توانایی تأمین نیازهای ضروری در فصول کم آب باشد.

با توجه به اینکه فرض اساسی در این تحقیق، تأمین کلیه نیاز کشاورزی است، تغییرات سطح آب زیرزمینی به عنوان معیار بررسی کارآیی سیاست اعمال شده و تأثیر سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده است. سطح آب زیرزمینی در سه دشت کوهپایه- سگزی، مهیار و برخوار افزایش یافته و در دو دشت لنجانات و نجف‌آباد در طول این دوره پس از افزایش و کاهش، تقریباً در تراز اولیه ثابت مانده است. این امر نشانگر این مطلب است که در حوضه زاینده رود با اتخاذ تصمیمهای مناسب در مورد بهره برداری از مخزن سد و نیز در مورد نحوه تخصیص آب سطحی و استفاده از آبهای زیرزمینی، می‌توان در حفظ ذخایر آب زیرزمینی همگام با تأمین نیازها گامهای مؤثرتری برداشت. در شکل ۶ تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده دو دشت نجف آباد و کوهپایه- سگزی نشان داده شده است.

در این نوع بهره برداری، جریان ورودی به باتلاق گاوخونی در تمام ماهها به جز در چند مورد، برابر ۱۲/۵ میلیون مترمکعب بوده است. در واقع جریان ورودی مطلوب باتلاق در کل زمان مورد نظر تأمین شده است. شکل ۷ جریان ورودی به باتلاق گاوخونی را تحت تأثیر سیاست ذکر شده از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ نشان می‌دهد.

[1] Standard Operating Policy

۴- بررسی چند سناریو

۴-۱- افزایش راندمان آبیاری

در این قسمت تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر تغییر تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش راندمان آبیاری، ضریب برگشت آب به رودخانه و همچنین ضریب نفوذ آب به زمین کاهش می‌یابد. این کار در دو بخش انجام گرفته است: در بخش اول تأثیر افزایش راندمان آبیاری کلیه شبکه‌ها بررسی گردید، به این صورت که راندمان کلیه شبکه ها به صورت همزمان و به یک میزان افزایش داده شد. نتایج حاصل تنها در دشت کوهپایه- سگزی در شکل ۸ آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد افزایش راندمان آبیاری می تواند باعث کاهش عمق سطح آب زیرزمینی گردد. البته در دشت مهیار به علت اینکه تغذیه بلند مدت شبکه از بارندگی، نسبت به تغذیه شبکه از نفوذ آب آبیاری کمتر است، با وجود کاهش میزان آبیاری و نیز کاهش ضریب نفوذ آن به زمین به علت کاهش برداشتها، سطح آب زیرزمینی همچنان افت داشته است.

شکل ۸ نشان می‌دهد که هر چه راندمان آبیاری افزایش می یابد، منحنیها به هم نزدیک‌تر می‌شوند. با دقت در روند حرکتی منحنیها، راندمان آبیاری ۵۵ درصد را می‌توان به صورت تقریبی یک راندمان مناسب برای شبکه‌های مزبور در نظرگرفت. البته تنها با توجه به این معیارها نمی توان راندمان مناسب آبیاری یک شبکه آبیاری را تعیین نمود و مسائل مربوط به بهره‌وری آب[2] یکی از مهم‌ترین معیارهایی است که باید در تصمیم گیریها مورد نظر قرار گیرد.

نتایج نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری، جریان رسیده به باتلاق گاوخونی افزایش می‌یابد. البته باید توجه داشت که این میزان جریان، کل جریان رسیده به ایستگاه ورزنه نیست، زیرا اضافه جریان بیش از ۱۲/۵ میلیون مترمکعب رسیده به ایستگاه ورزنه به منظور کشاورزی شبکه های سنتی اطراف ایستگاه برداشت می‌گردد.

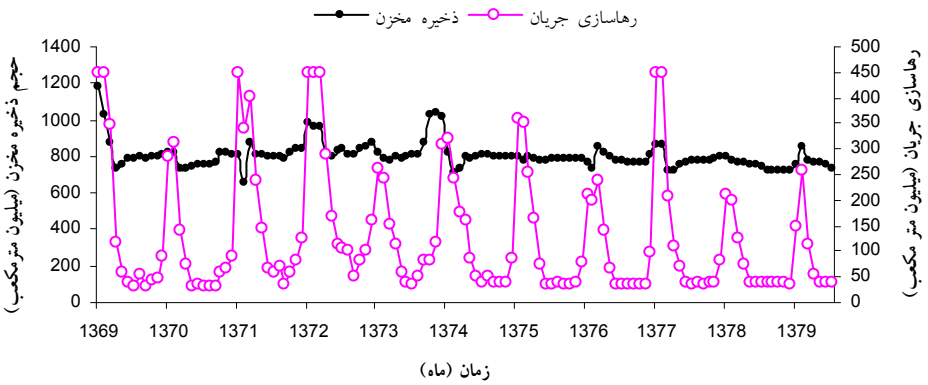
در بخش دوم تأثیر افزایش راندمان منطقه ای با تقسیم بندی شبکه های حوضه به سه منطقه به شرح زیر، مورد بررسی قرار گرفت:

۱. شبکه های بالادست (لنجانات و نکوآباد)
۲. شبکه های میانی (مهیار و برخوار)
۳. شبکه های پایین دست (آبشار و رودشت)

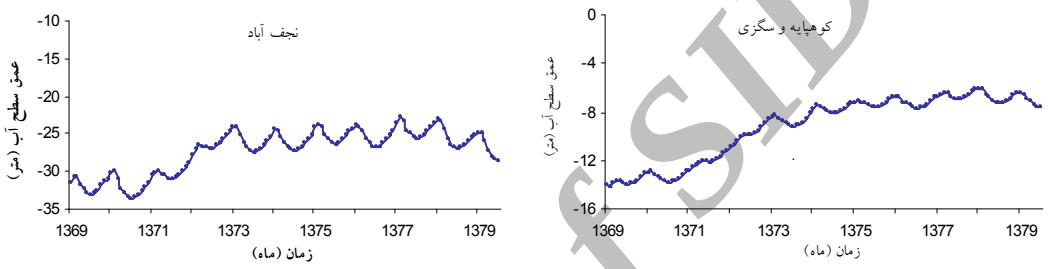
با افزایش راندمان کشاورزی در بالادست حوضه تا ۵۵ درصد، سطح آب زیرزمینی در تمامی دشتها افزایش یافته است. میانگین

[2] Water Productivity

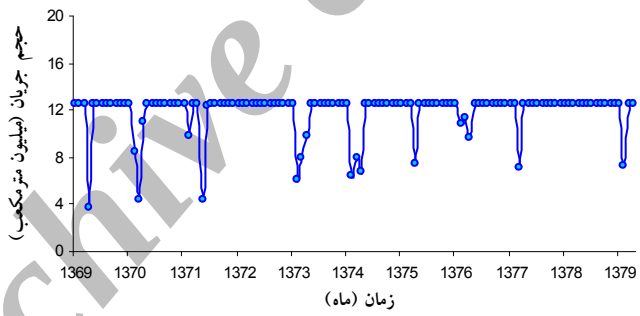
Archive of SID
www.SID.ir



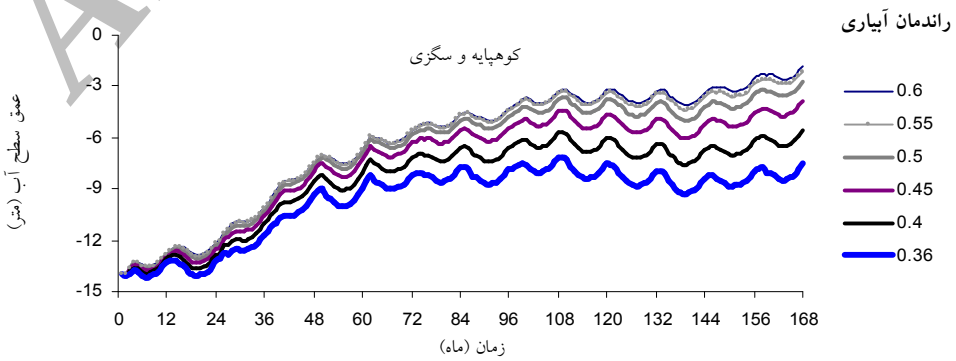
شکل ۵- حجم ذخیره مخزن سد و میزان جریان رهاسازی شده تحت تأثیر سیاست پیشنهادی



شکل ۶- نمودار سطح آب زیرزمینی در محدوده دشت نجف آباد و دشت کوهپایه و سگزی تحت تأثیر سیاست پیشنهادی



شکل ۷- جریان ورودی به باتلاق گاوخونی تحت تأثیر سیاست پیشنهادی



شکل ۸- سطح آب زیرزمینی در محدوده دشت کوهپایه سگزی تحت تأثیر تغییر راندمان آبیاری

Archive of SID

www.SID.ir

ایـن تغییـرات برابـر ۱/۱۳، ۰/۱۲، ۱/۳۸، ۰/۲۵ و ۰/۲ متـر در سال به ترتیب در دشـتهای نجـف آبـاد، مهیـار، لنجانـات، برخـوار و کوهپایه- سگزی می‌باشد. همان طـوری کـه از ایـن اعـداد مـشخص است، افزایش راندمان این شبکه ها، بیشتر باعـث بـالا آمـدن سـطح آب در دشتهای متنـاظر آنهـا گـشته اسـت. ایـن در حـالی اسـت کـه افزایش راندمان کشاورزی در شبکه های میانی تغییر بسیار ناچیزی در سطح آب زیرزمینی دشتها ایجاد نموده است. همچنـین در حالـت افزایش راندمان شبکه‌های پایین دست حوضـه، تغییـر ۰/۳۵ متـری در سطح آب زیرزمینی در دشت کوهپایـه- سـگزی کـه شـبکه هـای مزبور را دربر گرفتـه اسـت ایجـاد مـی گـردد و تغییـرات سـطح آب زیرزمینی در دشتهای دیگر ناچیز است.

در نگاه اول چنین به نظر مـی رسـد کـه تغییـرات رانـدمان بایـد تأثیر زیادی بر سطح آب زیرزمینی دشتهای مختلف ایجاد نماید.

ولی باید به این نکتـه توجـه نمـود کـه بـا افـزایش رانـدمان، آب برگشتی به رودخانه و همچنین نفوذ آب به زمـین نیـز دچـار کـاهش چشمگیری می شود. همچنین با توجه به تعریـف ضـرایب تخـصیص آب سطحـی، همزمان با کاهش ضرایب برگـشت آب بـه رودخانـه، میزان آب مجاز قابل برداشت شبکه های مختلف کاهش مـی یابـد و آب بیشتری به انتهای رودخانه (ایستگاه ورزنه) می رسد که پـس از کسر نیاز باتلاق گاوخونی، بقیـه بـه منظـور کـشاورزی شـبکه هـای سنتی برداشت می‌گردد. این کاهش برداشت از رودخانه، باعث افـت سطح آب زیرزمینی می‌شود.

۴-۲- تغییر در تخصیص آب سطحی

با توجـه بـه برگـشت درصـدی از برداشـتهای آب بـه رودخانـه، سـناریو بعـدی تغییـر تخـصیص آب سـطحی در قـسمت بالادسـت منطقه (شبکه‌های لنجانات و نکوآباد) و بررسی تأثیر ایـن تغییـر بـر سطح آب زیرزمینی در محدوده دشتهای مختلف و میزان آب رسیده به باتلاق گاوخونی، می‌باشـد. میـزان تخـصیص آب بـه شـبکه هـای مذکور تا ۵۰ درصد افزایش داده شده است. نتـایج حاصـل فقـط بـه صـورت میـزان تغییـر متوسـط سـالانه در سـطح آب زیرزمینـی در محدوده دشتهای مختلف در جدول ۳ آورده شده اسـت. همـان طـور که مشاهده می‌گردد با اعمال تغییر ذکر شده، سطح آب زیرزمینی در محدوده دشتهای نجف آبـاد و لنجانـات افـزایش چـشمگیری داشـته اسـت. در محـدوده مهیـار، سـطح آب زیرزمینـی تغییـر محـسوسی نداشـته اسـت، ولـی بـه دلیـل اینکـه برداشـت آب بـرای انتقـال بـه شبکه‌های آبیـاری برخـوار و نکوآبـاد در یـک محـل (سـد نکوآبـاد) صورت می‌گیرد، افزایش تخصیص شبکه آبیاری نکوآباد تأثیر قابـل توجهی بر روی برداشت شبکه برخوار گذاشـته و باعـث افـت سـطح آب زیرزمینی در محدوده این دشت شده است. در دشـت کوهپایـه- سگزی تغییر قابـل ملاحظـه ای در سـطح آب زیرزمینـی بـه دسـت نیامده است. میـانگین ماهانـه جریـان ورودی بـه بـاتلاق گـاوخونی تحـت تـأثیر ایـن تغییـرات از ۹/۷۶ بـه ۹/۱۳ میلیـون مترمکعـب کاهش داشته که با توجـه بـه بـالا بـودن ورودی، ایـن کـاهش تـأثیر چندانی در اکوسیستم منطقه ندارد.

۴-۳- افق آینده

در این قسمت شرایط مختلف توسعه عرضـه و تقاضـای آب در حوضه، با تکیه بر بررسی شرایط بهره برداری از مخزن سـد و آبهـای زیرزمینی و در طول ۱۷ سال (۱۳۸۴ تا ۱۴۰۰) بررسی مـی گـردد. در این قسمت فرض بر این اسـت کـه در خـلال ایـن سـالها جریـان زیرحوضـه هـای بالادسـت، همـان جریـان آنهـا در طـول سـالهای ۱۳۸۳-۱۳۶۷ باشد.

طرحهای توسعه منابع آب حوضه، شامل دو طرح مهم می باشـد: طرح انتقال آب از زیرحوضه دز به وسیله تونل چشمه لنگـان کـه در خرداد ۱۳۸۴ افتتاح گردید و انتظـار مـی‌رود میـانگین آورد جریـان سالانه ای برابر ۱۵۰ میلیون متـر مکعـب را بـه همـراه داشـته باشـد. همچنین طرح تونل شماره ۳ کوهرنگ پتانسیل آورد متوسط سـالانه برابر ۲۸۰ میلیون مترمکعب دارد که البته این میزان به حجم جریـان انتقالی فعلی از حوضه کوهرنگ اضافه نمی گردد؛ زیـرا بـا توجـه بـه انتقال فعلی جریان، کل جریان زیرحوضه کوهرنـگ جوابگـوی ایـن افـزایش نیـست. بـه ایـن منظـور ۲۰ درصـد از جریـان زیرحوضـه کوهرنگ به عنوان جریان تونل شماره ۳ در نظر گرفته مـی شـود کـه در مجموع ۹۲ درصد آب زیرحوضه کوهرنگ به حوضه زاینـده رود انتقال خواهد یافت.

توسعه نیازها در دوحالت نرمال یا عادی (بر اساس برنامه‌ریـزی و پیش‌بینی‌های فعلی) و حالت بدبینانـه مـورد بررسـی قـرار گرفتـه است. در حالت عادی، سرانه مصرف آب شهری ۲۰۰ لیتـر در روز و در طول دوره ثابت در نظر گرفته شده ولی در حالت بدبینانـه فـرض بر این است که سرانه مـصرف تـا سـال ۱۴۰۰ بـه ۲۵۰ لیتـر در روز افزایش یابد، همچنـین رشـد صـنعت در حالـت اول ۱/۵ درصـد در سال (در حدود رشد فعلی صنعت در حوضه) و در حالـت دوم ۲/۵

جدول ۳- میزان تغییر سالانه در سطح آب زیرزمینی، تحت تأثیر افزایش ۵۰ درصدی تخصیص آب سطحی در بالادست حوضه

دشت	کوهپایه و سگزی	اصفهان و برخوار	نجف آباد	مهیار شمالی	لنجانات
تغییر سطح آب (متر در سال)	-۰/۰۱	-۰/۱۷	۰/۲٤	۰/۰۹	۰/۲۹

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴- شرایط توسعه نیازهای شرب، صنعت و انتقال بین حوضه‌ای در حوضه زاینده رود (میلیون مترمکعب)

نوع مصرف	سال ۱۳۸۴	سال ۱۳۹۰		سال ۱۴۰۰	
		شرایط نرمال	شرایط بدبینانه	شرایط نرمال	شرایط بدبینانه
آب شرب طرح اصفهان	۲۳۰	۲۷۵	۳۰۰	۳۶۰	۴۵۸
نیاز صنعت حوضه	۱۴۰	۱۵۵	۱۷۶	۱۸۰	۲۲۵
انتقال به یزد	۵۳	۸۰	۹۰	۹۳	۱۲۱
انتقال به کاشان	۲۲	۴۵	۵۱	۵۳	۶۹
انتقال به شهرکرد	-	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴
کل	۴۴۵	۵۷۱	۶۳۵	۶۹۵	۸۹۷

جدول ۵- مقایسه سطح زیرکشت فعلی و قابل افزایش تا سال ۱۴۰۰ (هکتار)

شبکه آبیاری		نکوآباد	لنجانات	برخوار	مهیار	آبشار	رودشت	مجموع
گندم و جو	فعلی	۲۶۸۰۰	۱۵۷۰۰	۱۷۰۰۰	۲۴۰۰	۱۶۴۰۰	۲۱۶۰۰	۹۹۹۰۰
	آینده (شرایط نرمال)	۲۶۸۰۰	۱۵۷۰۰	۲۸۰۰۰	۶۴۰۰	۲۰۰۰۰	۳۳۰۰۰	۱۲۹۹۰۰
	آینده (شرایط بدبینانه)	۲۶۸۰۰	۱۵۷۰۰	۲۸۰۰۰	۶۴۰۰	۲۰۰۰۰	۳۳۰۰۰	۱۲۹۹۰۰
برنج	فعلی	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰	-	-	-	-	۱۷۵۰۰
	آینده (شرایط نرمال)	۱۹۴۰۰	۳۲۰۰	-	-	-	-	۲۲۶۰۰
	آینده (شرایط بدبینانه)	۱۶۶۰۰	۲۶۰۰	-	-	-	-	۱۹۲۰۰
کل کشت	فعلی	۸۸۴۹۸	۲۶۶۲۹	۲۶۶۵۰	۷۱۹۰	۲۹۴۰۹	۳۵۵۵۶	۲۱۳۹۳۲
	آینده (شرایط نرمال)	۹۲۸۹۸	۲۷۵۲۹	۳۷۶۵۰	۱۱۱۹۰	۳۳۰۰۹	۴۶۹۵۶	۲۴۹۰۳۲
	آینده (شرایط بدبینانه)	۹۰۰۹۸	۲۶۷۲۹	۳۷۶۵۰	۱۱۱۹۰	۳۳۰۰۹	۴۶۹۵۶	۲۴۵۶۳۲
قابلیت افزایش کل	آینده (شرایط نرمال)	۵/۰	۳/۴	۴۱/۳	۵۵/۶	۱۲/۲	۳۲/۰	۱۶/۴
(درصد)	آینده (شرایط بدبینانه)	۱/۸	۰/۰	۴۱/۳	۵۵/۶	۱۲/۲	۳۲/۰	۱۴/۸

درصد (رشد سریع) در نظر گرفته شده است. میزان نیاز بخشهای مختلف در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به موارد ذکر شده به عنوان توسعه منابع و نیازها، قابلیت افزایش سطح زیرکشت کشاورزی با اعمال محدودیت هایی نظیر جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی (مقایسه ابتدا و انتهای دوره) و نیز حداکثر سطح قابل کشت هر کدام از شبکه های آبیاری و تأمین کامل تمامی نیازها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل در دوحالت شرایط نرمال و بدبینانه و قابلیت افزایش نیازهای شرب، صنعت و انتقال بین حوضه ای در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، تفاوت سطح زیرکشت قابل افزایش کل منطقه در دو حالت ذکر شده، حدود ۱/۶ درصد (۳۴۰۰ هکتار) می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد با اتخاذ تصمیم مناسب در بهره برداری از مخزن سد زاینده رود و تخصیص دقیق تر و به اندازه آب سطحی بین شبکه های آبیاری مختلف می توان علاوه بر توسعه و تأمین نیاز آب کشاورزی، از افت سطح آب زیرزمینی حوضه نیز جلوگیری نمود. سیاست بهره برداری معرفی شده روشی ساده برای استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی است. در صورتی که تعیین میزان تخصیص آب سطحی به هر شبکه آبیاری تحت تأثیر میزان نیاز کلیه شبکه ها و قابلیت تأمین آب توسط سفره آب زیرزمینی در محدوده دشتهای مختلف باشد، می‌توان میزان تخصیص مناسب شبکه ها را به منظور جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی به دست آورد.

Archive of SID
www.SID.ir

۶- قدردانی

از دفتر مطالعات آب و محیط‌زیست دانشگاه صنعتی شریف که امکانات انجام این تحقیق را در اختیار گذاشتند و از شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان که بخشی از اطلاعات مورد نیاز اجرای این مطالعه را فراهم آورده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از آقای مهندس علی تفرج نوروز که کمال همکاری را در انجام این مطالعه داشتند سپاسگزاری می‌گردد.

۷- مراجع

1- Loucks, D.P., Beek, E.V., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M., and Villars, M.T. (2005). *Water resources system planning and management : An Introduction to methods, models and applications*, 1st Ed., UNESCO, Paris.

2- Loucks, D.P., Stedinger, J.R., and Haith, D.A. (1981). *Water resources system planning and analysis*, 1st Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York.

3- Simonovic, S.P. (1992). "Reservoir systems analysis: Closing gap between theory and practice." *J. Water Resour. Plan. And Manage,* 118(3), 262-280.

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*, Monteral, 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- Royston, C. W. J. (1999). "Use of object oriented programming in water supply system modeling." *Proc., 26th Annu. Int. Conf., Water Resources Plan. and Manage*., 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). "Analysis of economic and social impacts of flood management policies using system dynamics." *Proc., Int. Conf., American Institute of Hydrology, Atmospheric, Surface and Subsurface Hydrology and Interactions*, Research Triangle Park, N.C.

10- 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.

11- 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.

12- Saysel, A. K. (1999). "Dynamic simulation model for long term comprehensive environmental analysis of GAP." PhD. Thesis, Bogazici University, Istanbul, Turkey.

13- Saysel, A. K., Barlas, Y., and Yenigun, O. (2002). "Environmental sustainability in an agricultural development project: A system dynamics approach." *J. Environmental Management,* 64(3), 247-260.

14- Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics,* Cambridge, Massachusetts Institute of Technology.

15- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill, Boston.

۱۶- مومنی، ا. (۱۳۸۴). "مدل‌سازی بهره برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی سیستم."پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۱۷- شرکت مهندسین مشاور جاماب. (۱۳۷۸). گزارش طرح جامع آب حوضه زاینده رود، تهران.

18- Salemi, H.R., Mamanpoush, M., Miranzadeh, M., Akbari, M., Torabi, M., Toomanian, N., Murray-Rust, H., Droogers, P., Sally, H., and Gieske, A. (2000). Water management for sustainable irrigated agriculture in the Zayandehrud basin, Isfahan Province, Iran, IWMI-IAERI Research Report 1.

۱۹- بی نام. (۱۳۷۵). ارزیابی تکمیلی آبهای سطحی در حوضه آبخیز زاینده رود، دفتر برنامه ریزی اقتصاد وزارت کشاورزی.

20- Morid, S. (2002). *Adaptation to climate change to enhance food security and environmental quality* : *Zayandehrud basin,* Isfahan Province,*Iran*, IWMI-IAERI Final Report.

Archive of SID

www.SID.ir