تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نهم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۲
Volume 9, No. 3, Winter 2014 (IR-WRR)
۱-۱۳

تحلیل سیستم منابع آب حوضه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سیستم‌ها

محمد ارشدی[۱] و علی باقری[۲*]

چکیده

حوضه آبریز کارون بزرگ به واسطه تامین ۷۸ درصد انرژی برق‌آبی و ۱۳ درصد تولیدات کشاورزی کشور، نقش انکارناپذیری در تامین غذا و انرژی کشور دارد. این خصوصیت منجر به اعمال فشار زیاد به سیستم منابع آب این حوضه به واسطه ایجاد طرح‌های توسعه در بخش کشاورزی، صنعت و خدمات شده و آسیب‌پذیری آن را نسبت به شرایط بیرونی افزایش داده است. از طرف دیگر، مفهوم آسیب‌پذیری تمرکز بر بررسی حالت و وضعیت سیستم در حال یا آینده دارد. لذا، لزوم توسعه مفهومی که دربرگیرنده کارکرد سیستم از سه جنبه حالت، فرآیند و چشم‌انداز سیستم باشد ضروری می‌نمود. این مفهوم، با عنوان تضمین بقای سیستم (System Viability)، در این مقاله توسعه و برای ارزیابی وضعیت سیستم آبی کارون بزرگ مورد استفاده قرار گرفت. از ضعیف‌ترین حلقه‌های سیستم منابع آب در این حوضه که در سال‌های اخیر باعث ایجاد اخلال در سیستم و بروز دغدغه در مدیران و کارشناسان شده ، کیفیت منابع آب این حوضه می‌باشد. به طوری که میزان تخصیص منابع آب به بخش‌های مختلف وابسته به این مؤلفه می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی روندها و علل آسیب‌پذیری حوضه آبریز کارون بزرگ و به خصوص کیفیت آب به عنوان مؤلفه نگرانی حوضه در بلندمدت می‌باشد. در این تحقیق از نگرش پویایی سیستم‌ها و نرم‌افزار Vensim به منظور ارزیابی وضعیت حوضه استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که خطرات و سناریو بیرونی در مقایسه با سیاست‌های حاکم در کشاورزی، صنعت و خدمات تاثیر ناچیزی بر کیفیت آب رودخانه دارد. این مطلب گویای واقعیتی است که در راستای کاهش آسیب‌پذیری حوضه باید تمرکز بر نگرش‌حاکم و سیاست‌های اعمالی برای تامین غذا و انرژی در حوضه داشت.

کلمات کلیدی: بقای سیستم، پویایی‌سیستم‌ها، تامین انرژی و غذا، کیفیت آب، حوضه آبریز کارون بزرگ.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۲ دی ۱۳۸۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۱ تیر ۱۳۹۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استادیار رشته مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*- نویسنده مسئول

A System Dynamic Approach to Sustainability Analysis in Karun River Basin, Iran

M. Arshadi[1] and Ali Bagheri[2]*

Abstract

The Great Karun River Basin plays a vital role in the Iran's food and Hydro-energy productions (78% and 13% in hydropower and food production, respectively). These put a high pressure on water recourses in this basin resulting in development projects on agricultural, industrial, and service sectors. In this situation, unsustainable development leads to increase in the basin vulnerability to external hazards. The present paper aims to demonstrate that in the real world we are not dealing with the vulnerability of a system to a hazard, but we need to address viability of a system focusing on three major domains of the system vision and mission; states; and processes or flows. In recent years one of the weakest rings in the Karoon River Basin water chain has been the issue of water quality that raised itself as a big issue for the managers and experts, as it seriously influences the water allocation. The aim of this research was to assess the trends and reasons of vulnerability of the Great Karun Water System to hazards with an especial focus on water quality as the main attribute of concern in the basin. System dynamics approach and the Vensim software have been adopted to simulate the water system in this research. The results showed that exterior hazards and scenarios have lower influence on water quality in comparison with policies of the industrial, agricultural, and service sectors. This indicated that to reduce the vulnerability in the Great Karun water system it is essential to change the policies in food and energy production.

Keywords: System Viability, System Dynamics, Food and Energy supply, Water Quality, Karun River Basin.

Received: January 12, 2011
Accepted: July 2, 2013

1- Graduated MS.c Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, E-mails: arshady@hotmail.com.
2- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Emails: ali.bagheri@modares.ac.ir
*- Corresponding Author

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

حوضه‌آبریز کارون بزرگ به دلیل در بر گرفتن بزرگترین پتانسیل آبی کشور (۲۵ درصد)، دارای بیشترین و عظیم‌ترین طرح‌های آبی کشور می‌باشد. اجرای طرح‌های وسیع سدسازی و احداث شبکه‌های متعدد و عظیم آبیاری و زهکشی به منظور تامین امنیت انرژی و غذا بیانگر پتانسیل بالای منابع آب و خاک این حوضه و سهم آن در جهت نیل به اهداف توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور می‌باشد. این مسئله سبب بالا رفتن میزان حساسیت و آسیب‌پذیری سیستم منابع آب این حوضه از منظرهای مختلف، به خصوص کیفی، نسبت به نوسانات آوردهای سالانه ورودی شده، بروز تضادهایی را در تخصیص آب به دو بخش کشاورزی و هیدروانرژی اجتناب‌ناپذیر می‌کند. تخصیص آب به منظور تامین امنیت غذا و انرژی با توجه به عدم مدیریت یکپارچه نهادی در بهره‌برداری از مخازن و تضاد منافع ملی و استانی در تخصیص منابع آب، چالش‌های جدی را پیش روی برنامه‌ریزان، تصمیم‌گیران و مدیران استان و کشور قرار داده است. این موضوع با روند روز افزون توسعه در این حوضه، وضعیت وخیم‌تری را در سال‌های آینده پیش‌روی چشم ترسیم می‌کند.

به منظور بررسی و حل تضاد بین امنیت غذایی و انرژی و برقراری سازش بین این دو بخش، روش‌های گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته است. در بیشتر تحقیقات انجام شده، به منظور رفع تضادهای تخصیص آب به بخش‌های مصرف (کشاورزی و برق‌آبی)، به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی با تمرکز بر بیشینه کردن سود یا کمینه کردن هزینه‌ی حاصل از تخصیص آب، توجه خاصی شده است. در این تحقیقات از روش‌های مختلفی چون برنامه‌ریزی خطی[۱]، برنامه‌ریزی غیرخطی[۲]، برنامه‌ریزی پویا[۳] ، مدل‌های حل اختلاف[۴]، تصمیم‌گیری چند معیاره[۵] و غیره، به منظور انجام محاسبات مربوط به بهینه‌کردن سود یا کمینه کردن هزینه استفاده شده است (Yeh,1985; Bessler et al, 2003; Simonovic, 1997; Guo et al., 2001; Saysel et al, 2002; Gastelum et al 2010; Elmahdi et al., 2008). در این نوع نگرش در اکثر موارد، به منظور بررسی و حل تضادهای موجود در تخصیص منابع آب، تمرکز اصلی بر جنبه‌های مالی و اقتصادی در تخصیص آب بوده و توجهی به مسائل اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی ذی‌نفعان در بخش‌های مختلف و نیز فعال شدن روندهای مخرب نشده است.

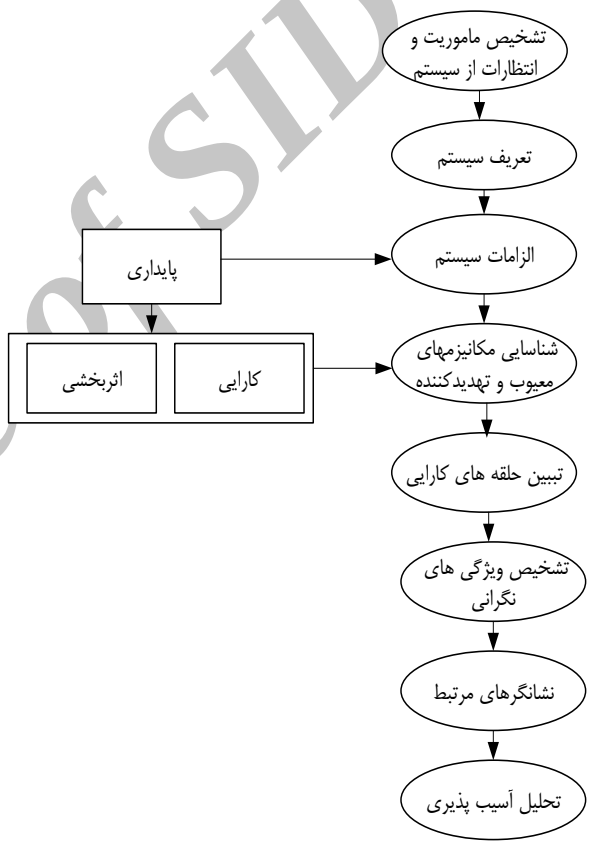
در تحقیق حاضر برای حل تضادهای موجود در تخصیص منابع آب و رسیدن به سطحی از سازش، با در نظر گرفتن مکانیزم‌های فعال در حوضه آبریز کارون بزرگ، بر مفهوم "بقای سیستم" تمرکز می‌شود. به این معنی که تخصیص آب به دو بخش کشاورزی و برق‌آبی به گونه‌ای انجام شود که بقای کل سیستم منابع آب حوضه‌آبریز کارون بزرگ تضمین شود.

مفهوم بقای سیستم مفهومی تکمیلی از مفهوم آسیب‌پذیری می‌باشد. مفهوم آسیب‌پذیری به صورت معمول نشان‌دهنده درجه‌ای از آسیب است که یک سیستم به‌دلیل مواجه‌شدن با خطر، تجربه می‌کند (Turner II et al., 2003). از مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار به صورت علمی در تحقیقات جغرافیایی و خطرات طبیعی استفاده شده است (Timmerman, 1981). اما به مرور زمان این مفهوم در حوزه‌های دیگر چون اکولوژی (Cutter, 1996)، سلامت عمومی (Barnett and Blaikre, 1994;)، فقر و توسعه (Adger, 2006; Blaikie et al., 1994)، توسعه پایدار (Turner II et al., 2003)، تغییر کاربری اراضی (Hewitt, 1994 ,1997) و تغییراقلیم (O'Brien et al., 2004) نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Fussel, 2007). مفهوم آسیب‌پذیری تمرکز بر بررسی حالت و وضعیت سیستم در حال یا آینده دارد. اما مفهوم بقای سیستم در برگیرنده سه جنبه حالت، فرآیند و چشم‌انداز سیستم می‌باشد. شکل ۱ فلوچارت نحوه بررسی بقای سیستم را نشان می‌دهد. همچنین قابل ذکر است که می‌توان مفهوم بقای سیستم را به صورت یک مفهوم عملیاتی از مفهوم پایداری نیز در نظر گرفت. رابطه بین آسیب‌پذیری و بقای سیستم مانند رابطه بین تک مسئله‌ها به طور جداگانه و سیستم مسائل به هم پیوسته می‌باشد. بدین معنی که زمانی که مفهوم بقای سیستم مطرح می‌شود، هدف از آن بررسی سیستمی از مسائل به هم پیوسته با تکیه بر پایدار بودن کارکرد کل سیستم مورد نظر می‌باشد. در صورتی که در مفهوم آسیب‌پذیری، توجه به بررسی تک مسئله‌ها در درون سیستم به طور جداگانه معطوف می‌شود. این تحقیق مفهوم آسیب‌پذیری را مخدوش نکرده، بلکه جایگاه آن را در بررسی مسائل درون یک سیستم تبیین می‌کند. به عبارت دیگر، مؤلفه‌های نگرانی سیستم با مفهوم آسیب‌پذیری آن مؤلفه نسبت به خطر مشخص، تحلیل می‌شوند.

برای تشخیص چگونگی بررسی بقای یک سیستم منابع آب، مکانیزم‌های فعال تحلیل می‌گردند تا آسیب‌پذیرترین جنبه سیستم به عنوان حلقه ضعیف در کانون توجه تحقیق قرار بگیرد. در این تحقیق، براساس تحلیل مکانیزم‌های فعال و مصاحبه با مدیران و کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان و متخصصان کشور، کیفیت آب کارون به عنوان حلقه ضعیف سیستم تشخیص داده شد. سپس محیط تصمیم‌سازی به منظور بررسی اثر سناریوهای گوناگون بر

Archive of SID
www.SID.ir

شاخص تصمیم‌گیری توسعه داده شد. این فضای تصمیم‌سازی توانایی بررسی اثر سناریوهای گوناگون و سیاست‌های مختلف را بر آسیب‌پذیری سیستم نشان داده، قدرت تصمیم‌گیری مدیر را افزایش می‌دهد. لذا در این تحقیق، دامنه کار از بهره‌برداری مخازن فراتر بوده، اثر سناریوهای گوناگون در ارزیابی سیاست‌های توسعه منطقه با تمرکز بر دو بخش کشاورزی و برق‌آبی بررسی می‌شود. همچنین، بر خلاف بیشتر تحقیقات انجام شده در این زمینه که مقیاس کار بر تنظیم درون‌سالی و رفع تضاد در مقیاس درون‌سالی می‌باشد، در این تحقیق رفتار سیستم و تاثیر سناریوهای مختلف در مقیاس برون‌سالی و در سطح برنامه‌ریزی بررسی شده است.



شکل ۱- فلوچارت نحوه بررسی بقای سیستم و ارتباط آن با آسیب‌پذیری

۲- وضعیت سیستم منابع آب کارون بزرگ

حوضه‌آبریز درجه ۲ کارون بزرگ دارای مساحتی برابر با ۶۷۲۵۷ کیلومترمربع (حدود ۵ درصد از مساحت کل کشور) می‌باشد . از این مقدار، ۲/۳ میلیون هکتار آن زمین‌های مستعد و خوب برای کشاورزی می‌باشند که در دشت خوزستان واقع شده است (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۸). این حوضه دارای حدود ۶۵۰ هزار هکتار اراضی تحت کشت آبی و بیش از ۵۰ هزار هکتار اراضی یکپارچه و مجهز تحت کشت و صنعت می‌باشد که به طور متوسط ۵۰ درصد از این سطوح به کشت غلات (گندم، جو و ذرت‌دانه‌ای) اختصاص دارد (شرکت مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۴). همچنین با وجود فراوانی آب و پتانسیل احداث سدهای متعدد در این حوضه، نگاه مسئولان در این حوضه بر تولید برق‌آبی متمرکز است. از کل پتانسیل تولید انرژی برق‌آبی کشور که حدود ۵۰ تراوات ساعت تخمین زده شده است، حوضه آبریز کارون بزرگ سهمی معادل ۳۹ تراوات ساعت (۷۸ درصد) را از آن خود کرده است. از این مقدار، ۳۰ تراوات ساعت در حوضه کارون و ۹ تراوات ساعت در حوضه دز تولید می‌شود (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۶). گسترش فعالیت‌های صنعتی و خدماتی در کنار توسعه فعالیت‌های کشاورزی، تخریب کیفیت آب رودخانه کارون را به همراه داشته و دارد. از میان انواع پساب‌ها و فاضلاب‌های ورودی به رودخانه کارون، پساب‌های کشاورزی با رقم سالانه نزدیک به ۱/۹ میلیارد مترمکعب بیشترین حجم (۸۲ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن فعالیت‌های صنعتی و مصارف شهری به‌ترتیب با وارد کـردن ۲۲۰ و ۱۸۰ میلیون مترمکعب فاضلاب به رودخانه، در رتبه‌های بعدی منابــع آلوده‌کننده قرار دارند (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۸).

۳- روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق به منظور شناسایی مکانیزم‌های فعال در حوضه، در راستای تشریح وضع موجود، از رویکرد پویایی سیستم‌ها استفاده شـده است. در این رویکرد تمرکـز بر الگـوهای رفتاری سیستم در طـول زمان می‌باشد که بر درک چگونگی اندرکنش فرآیندهای فیزیکی، جریان اطلاعات و سیاست‌های مدیریتی استوار است (دریجانی، ۱۳۸۷). این نگرش مبتنی بر مکانیزم‌های بازخوردهای پویا در سیستم‌ها بوده، با تکیه بر حلقه‌های علی و معلولی به توضیح چگونگی وقوع وقایع می‌پردازد (حسینی، ۱۳۸۸). پویایی یک سیستم با استفاده از ساختارهای ذخیره و جـریان، تاخیرات زمانی، پسخوران‌ها، و رفتارهای غیرخطی بیان می‌شود (Sterman, 2000).

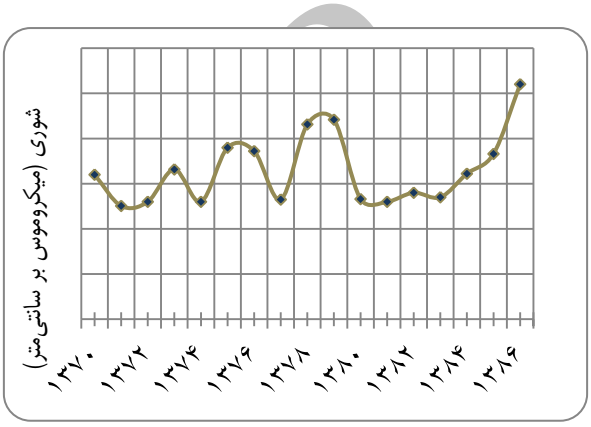
در این تحقیق مشکل اصلی، چنانچه ذکر گردید، وجود تعارض بین تأمین انرژی و غذا است که بر کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ فشار وارد می‌کند. شکل ۲ تغییرات هدایت الکتریکی رودخانه کارون را در مقطع اهواز در واحد میکرومهوس بر سانتی‌متر نشان می‌دهد.

در ادامه شرح سیستم مورد نظر شامل دو گام اساسی آورده می‌شود:

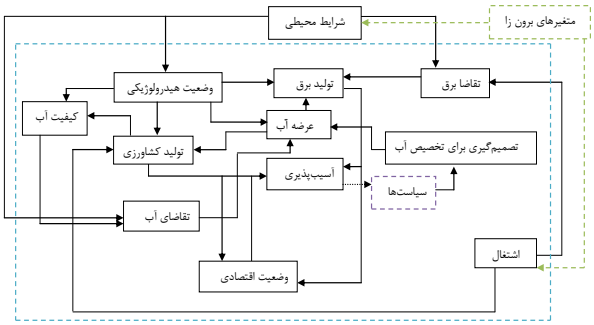
Archive of SID

www.SID.ir

الف) تعیین مرز سیستم: در این مرحله باید به صورت خاص بر مرزی از سیستم تمرکز نمود که ساختار مسئله‌ساز در آن شکل می‌گیرد. برای تعیین مرز سیستم مدل مفهومی توسعه داده می‌شود (شکل ۳). چنانچه در مدل مفهومی نشان داده شد است، شرایط محیطی به عنوان متغیرهای برونزا و فرآیندهای فعال در دو بخش کشاورزی و برق‌آبی به عنوان متغیرهای درون‌زا مد نظر قرار گرفته‌اند. ب) بیان فرضیه‌های دینامیکی: بعد از تعیین مرز سیستم و متغیرهای تأثیرگذار بر متغیر مرجع، باید نحوه تأثیرگذاری این متغیرها را در نمودارهایی تحت عنوان حلقه‌های علیتی[۶] بیان نمود.



شکل ۲- تغییرات هدایت الکتریکی رودخانه کارون در مقطع اهواز در مهرماه در سال‌های مختلف (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۸)



شکل ۳- مدل مفهومی و تعیین مرز سیستم منابع آب حوضه آبریز کارون‌بزرگ

۴- مدل‌سازی

پس از بررسی روابط و ترسیم ساختار علی و معلولی و تدقیق و اعتبارسنجی آن با استفاده از داده‌های واقعی، مدل مورد نظر به منظور شبیه‌سازی این روابط در یک فرآیند رفت و برگشتی با ساختار علی و معلولی، توسعه داده شد. در این تحقیق مدل‌سازی و شبیه‌سازی روابط با استفاده از نرم‌افزار VensimPLE صورت گرفته است. مدل توسعه داده شده از چند زیر سیستم تشکیل شده است که در هر زیر سیستم یک متغیر مرجع به عنوان متغیر مرجع فرعی در نظر گرفته شده است. سپس، مدل‌سازی کل سیستم منابع آب حوضه کارون با مرکزیت دو بخش کشاورزی و برق‌آبی بر اساس متغیر مرجع اصلی که کیفیت آب می‌باشد، انجام شده است. زیر سیستم‌ها شامل منابع آب سطحی حوضه، کیفیت آب، تولید برق‌آبی، فعالیت‌های اقتصادی در بخش برق‌آبی، تقاضای آب بخش برق‌آبی، عرضه و تقاضای آب بخش کشاورزی، تولید کالری در بخش کشاورزی، و فعالیت‌های اقتصادی در بخش کشاورزی می‌باشند. شکل ۴ شمایی از مدل توسعه داده شده را نشان می‌دهد.

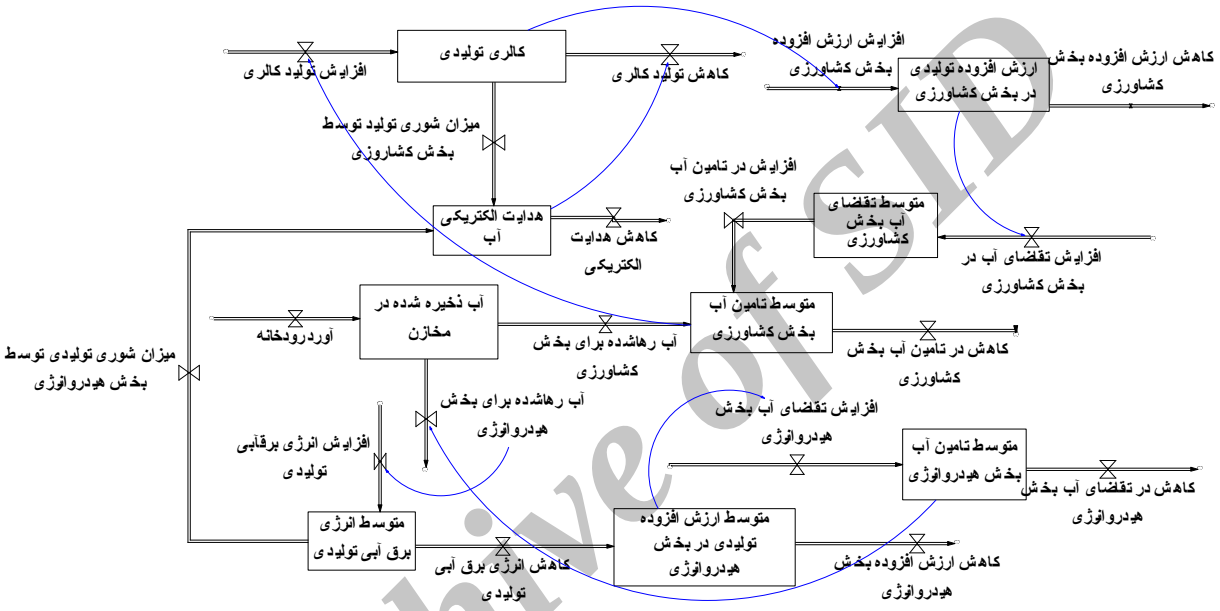
زیرسیستم تولید برق‌آبی شامل تولید برق در سدهای تک منظوره و چند منظوره می باشد. سدهای تک منظوره تنها روی رودخانه کارون احداث شده است. لذا تولید برق در این گونه سدها با توجه به ظرفیت نیروگاه‌های فعال در این سدها و دبی رودخانه کارون محاسبه می‌شود. میزان برق تولیدی با استفاده از ضریب میزان تولید برق‌آبی به ازای هر میلیون متر مکعب محاسبه گردیده است. مشخصات نیروگاه‌های برق‌آبی و ضریب مورد استفاده برای محاسبه برق تولیدی در هر سد در جدول ۱ آورده شده است. متوسط سالانه تولید برق به ازای هر میلیون متر مکعب از تقسیم میزان تولید سالانه برق‌آبی بر میزان حجم عبوری آب از توربین‌ها محاسبه گردیده است. این جدول بیان کننده وضعیت موجود نیروگاه‌های برق‌آبی به منظور تخمین میانگین برق تولیدی به ازای هر نیروگاه است. به طور مثال نیروگاه دز با ۸ واحد نیروگاهی در دست بهره‌برداری از هر میلیون متر مکعب آب در سال نزدیک به ۳۶۵ مگاوات ساعت برق تولید می‌کند. ضرایب مربوطه از تقسیم میزان خروجی آب از توربین‌های نیروگاه در هر سال بر میزان برق تولیدی در همان نیروگاه در همان سال برآورد شده است.

برق از نهاده‌های اصلی در بخش صنعت و خدمات محسوب می‌شود که در حوضه آبریز کارون بزرگ میزان مصرف بـرق در این دو بخش بیش از ۹۵ درصد از برق مصرفی کل را شامل می‌شود (سالنامه آماری خوزستان، ۱۳۸۶). دلیل اهمیت این نهاده در توسعه فعالیت‌های صنعتی و خدماتی، عدم محدودیت در نهاده‌های دیگر همچون آب و نیروی انسانی می‌باشد. در تحقیق حاضر، حجم فعالیت‌های اقتصادی در این دو بخش با استفاده از مفهوم ارزش افزوده تولیدی و اشتغال در این دو بخش بیان شده است. لذا منظور از ارزش افـــزوده و اشتغال بخش برق‌آبی، مجموع ارزش افـــزوده و

Archive
www.SID.ir

جدول ۱- وضعیت نیروگاه‌های برق‌آبی در دست بهره‌برداری در حوضه آبریز کارون بزرگ
(مرجع: سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۶)

نام نیروگاه	ظرفیت نامی نیروگاه در شرایط توسعه نهایی (MW)	تعداد واحد در دست بهره‌برداری	ضریب میانگین عملکرد تولید در شرایط فعلی (GWh/Yr)	ضریب میانگین تولید برق‌آبی به ازای هر میلیون مترمکعب در سال ($MWh/yr/m^3$)
عباسپور	۲۰۰۰	۸	۴۰۰۰	۳۴۰
دز	۱۲۸۰	۸	۲۳۰۰	۳۶۵
گدارلندر	۲۰۰۰	۴	۳۷۰۰	۳۵۶
کارون ۳	۲۰۰۰	۸	۴۱۴۰	۴۰۰



شکل ۴- مدل توسعه داده شده برای تحلیل سیستم منابع آب حوضه آبریز کارون بزرگ

اشتغال در بخش‌های صنعت و خدمات می‌باشد که در زیر سیستم فعالیت‌های اقتصادی بخش برق‌آبی مورد توجه قرار می‌گیرد.

در مدل اثر میزان تولید برق در نیروگاه‌های برق‌آبی بر فعالیت‌های صنعتی و خدماتی با استفاده از ضریب محاسبه شده از تقسیم میزان ارزش‌افزوده بخش برق‌آبی بر میزان تولید برق‌آبی، اعمال شده است. این ضریب برابر با ۲/۳ میلیارد ریال به ازای هر گیگاوات ساعت برآورد شده است. همچنین، با توجه به ضریب نیاز نیروی کار برای تولید ارزش‌افزوده مورد نظر در بخش برق‌آبی، میزان اشتغال حوضه در بخش برق‌آبی محاسبه گردیده است. این ضریب معادل ۳۲ نفر برای تولید هر میلیارد ریال ارزش افزوده در بخش برق‌آبی است که از میانگین‌گیری نسبت تعداد شاغلین هر سال در این بخش بر ارزش افزوده تولیدی آن بخش، حاصل شده است.

زیرسیستم تقاضای آب بخش برق‌آبی با مرکزیت متغیر مرجع فرعی متوسط تقاضای آب برای تولید برق، تبیین شده است. میزان آب مورد نیاز برای تولید میزان برق مصرفی با استفاده از ضریب محاسبه می‌گردد. با توجه به مقیاس زمانی اجرای مدل، برای گام ۱ تا ۱۲ (۱۳۸۲-۱۳۷۰۰) تنها سدهای دز و شهید عباسپور مورد بهره‌برداری قرار گرفت و با بهره برداری از سد کارون ۳ در سال ۱۳۸۲ و پس از آن مسجد سلیمان در سال ۱۳۸۶ میزان ضرایب بهنگام شده است. این ضرایب برای برآورد تقاضای آب بخش برق‌آبی با توجه به نیاز انرژی این بخش در مدل استفاده شده است. در مدل، تخصیص آب به دو بخش کشاورزی و برق‌آبی با توجه به ملاحظات کیفی و تقاضای هر بخش صورت می‌گیرد. برای تخصیص آب به بخش کشاورزی، تقاضای آب برای این بخش با توجه به سطح زیر کشت و رشد بخش کشاورزی برآورده شده و وضعیت کیفی منابع آب برای

Archive of SID
www.SID.ir

تخصیص کامل یا بخشی از تقاضا، مطابق با جدول ۲، تحلیل شده و نظر به میزان آب موجود در مخازن و وضعیت کمیابی آب، تخصیص صورت می‌گیرد. از طرف دیگر تخصیص به بخش برق‌آبی با توجه به تقاضای انرژی و میزان آب مورد نیاز برای تولید انرژی و همچنین محدودیت عرضه آب، صورت می‌گیرد.

در مدل، عرضه آب به بخش کشاورزی با توجه به میزان آب قابل تنظیم در سدهای چند منظوره و میزان تقاضای آب این بخش و وضعیت کیفیت آب کارون، انجام می‌گیرد. میزان تقاضای آب کشاورزی در حوضه بر اساس سطح زیر کشت محصولات عمده کشاورزی شامل گندم، جو، نیشکر، ذرت دانه‌ای و شلتوک و میزان نیاز آبی این محصولات محاسبه می‌گردد. جداول ۲ و ۳ به ترتیب درصد آب تخصیص داده شده با توجه به ملاحظات کیفی و نیاز آبی محصولات عمده بخش کشاورزی را نشان می‌دهند.

استراتژی مورد استفاده در مدیریت آب خوزستان رهاسازی آب از مخازن و محدود کردن تخصیص آب به بخش کشاورزی در زمان‌های بحرانی به منظور بهبود کیفیت آب می‌باشد، در جدول ۲ منظور از شوری آستانه رودخانه، مطابق نظر کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان، هدایت الکتریکی ۱۸۰۰ میکرومهوس بر سانتی‌متر در مقطع اهواز در نظر گرفته شده است. نسبت شوری به شوری آستانه بیان‌کننده میزان تجاوز از آستانه شوری است که در هر سطح از تجاوز از آستانه، درصدی از آب مورد نیاز کشاورزی کسر خواهد شد تا کیفیت آب در حد مطلوب نگه داشته شود.

به منظور بررسی تاثیر میزان تولیدات کشاورزی بر متغیر مرجع کیفیت آب در این تحقیق از مفهوم کالری استفاده شده است. از این رو زیر سیستم تولید کالری در بخش کشاورزی بدین منظور در مدل سیستم منابع آب مدنظر قرار گرفته است. برای محاسبه میزان کالری تولیدی، در ابتدا، با توجه به اینکه ۸۵ درصد تولیدات کشاورزی این حوضه مربوط به پنج محصول گندم، شلتوک، نیشکر، ذرت دانه‌ای و جو می‌باشد (مینایی، ۱۳۸۸) و نظر به بهره‌وری آب (CPD)[۷] در این پنج محصول، میزان تولید کالری هر محصول به ازای مترمکعب آب مصرفی محاسبه گردید.

به واسطه میزان تولید کالری، بخش کشاورزی در ارزش افزوده منطقه سهمی را ایفا می‌کند که منجر به افزایش اشتغال در این بخش می‌شود. زیرسیستم فعالیت‌های اقتصادی بخش کشاورزی مانند زیرسیستم فعالیت‌های اقتصادی در بخش برق‌آبی شامل دو بخش ارزش افزوده و اشتغال می‌باشد. رابطه متغیرهای این زیرسیستم مطابق زیرسیستم فعالیت‌های اقتصادی در بخش برق‌آبی می‌باشد.

در نهایت، زیرسیستم کیفیت آب زیرسیستم اصلی سیستم منابع آب در حوضه آبریز کارون بزرگ در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه متغیر مرجع اصلی در این تحقیق کیفیت آب می‌باشد، تمام زیرسیستم‌های دیگر در راستای بررسی وضعیت این مؤلفه شناسایی شده‌اند. مؤلفه‌هایی که بر کیفیت آب تاثیر گذار هستند، از دو بخش برق‌آبی و کشاورزی تشکیل می‌شوند. به منظور بررسی اثر بخش برق‌آبی بر کیفیت آب، بین میزان تولید برق آبی و شوری آب در مقطع اهواز، ضریب ثابتی برابر با ۰/۱۳ برآورد شده است. بدین معنی که تولید هر ۱۰۰ گیگا بایت انرژی بعد از مصرف در بخش برق‌آبی (صنعت و خدمات)، شوری رودخانه آب کارون را ۱۳ واحد بدتر می‌کند. این ضریب اگر در برق تولیدی توسط نیروگاه‌های برق‌آبی ضرب شود، میزان تولید شوری توسط بخش برق‌آبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- درصد آب تخصیص داده شده با در نظر گرفتن ملاحظات کیفی (مرجع یافته‌های تحقیق)

نسبت شوری به شوری آستانه	۱/۴۴	۱/۳۳	۱/۲۲	۱/۱۱	۱	۰
درصد آب تخصیصی با توجه به ملاحظات کیفی	۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۳- سهم تولیدات کشاورزی حوضه در تولیدات کشاورزی استان خوزستان و نیاز آبی محصولات مختلف (مرجع: مینایی، ۱۳۸۸)

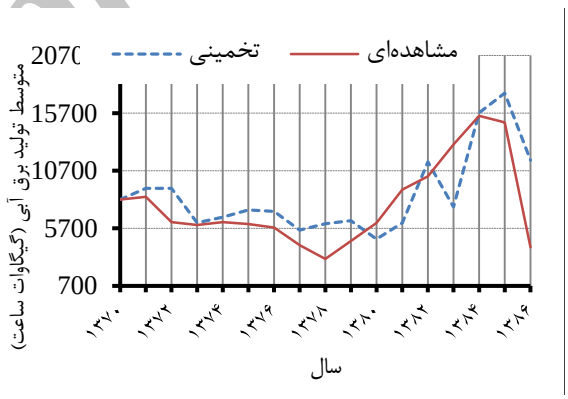
محصول	شلتوک	ذرت دانه‌ای	نیشکر	جو	گندم
سهم حوضه از تولید استان (درصد)	۸۰	۶۰	۱۰۰	۶۰	۷۴
نیاز آبی (متر مکعب در هکتار)	۲۴۸۱۱	۱۶۱۵۰	۲۸۰۰۰	۵۸۹۸	۷۸۰۶

Archive of SID
www.SID.ir

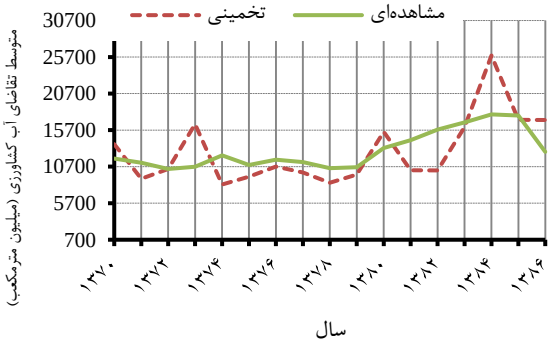
در بخش کشاورزی این محاسبات بین میزان تولید کالری و شوری در مقطع اهواز انجام می‌گیرد. ضریب برآورد شده برای محاسبه میزان تولید شوری توسط بخش کشاورزی برابر با ۰/۱۸ بوده و از طریق داده‌های تجربی برآورد گردیده است. با توجه به سهم بخش کشاورزی و برق‌آبی در تولید شوری رودخانه کارون (به ترتیب ۸۲ و ۱۸درصد) (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۸) میزان شوری رودخانه از معادله زیر حاصل گردیده است:

شوری تولیدی بخش برق‌آبی × ۰/۱۸ + شوری تولیدی بخش کشاورزی × ۰/۸۲ = شوری رودخانه کارون

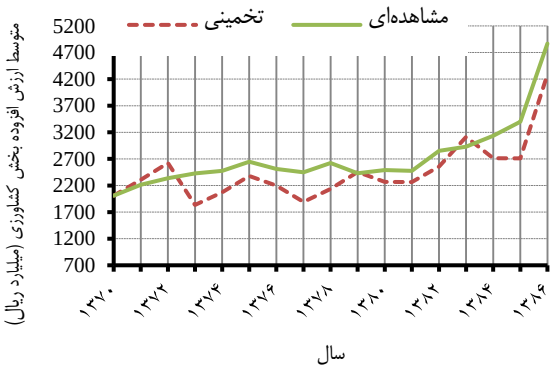
در مرحله‌ی بعد آزمون‌های صحت‌سنجی برای بررسی کارایی مدل انجام گرفت. شکل‌های (۵ تا ۸) میزان تطابق رفتار مدل را با داده‌های مشاهده شده برای چهار متغیر مدل به صورت نمونه نشان می‌دهد. دوره آماری برای صحت‌سنجی مدل به مدت ۱۵ سال و از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۸۵ در نظر گرفته شده است.



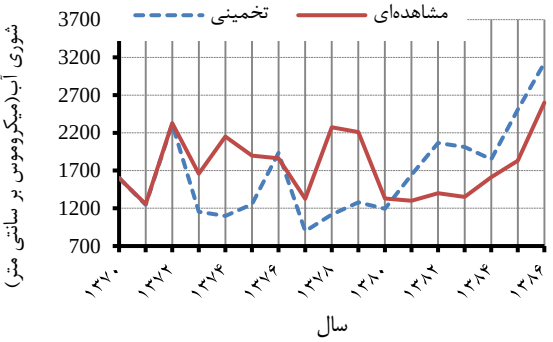
شکل ۵- داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی میزان تولید برق آبی در حوضه آبریز کارون بزرگ



شکل ۶- داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی متوسط تقاضای آب کشاورزی حوضه آبریز کارون بزرگ



شکل ۷- داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی متوسط ارزش افزوده بخش کشاورزی حوضه آبریز کارون بزرگ



شکل ۸- داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی متغیر حالت شوری آب در مقطع اهواز

۵- نتایج

برای بررسی تأثیر شرایط موجود و اعمال سیاست‌ها در طولانی‌مدت، مدل برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۴ اجرا شد. مدل مورد نظر تحت شرایط دو بسته سناریویی و دو بسته سیاستی اجرا گردید. دو بسته سناریویی شامل ادامه وضع موجود (S_0) و چشم‌انداز (S_1)، دربرگیرنده سناریوهای رشد ارزش افزوده بخش کشاورزی، رشد ارزش افزوده بخش برق‌آبی، اشتغال کل، سهم بخش کشاورزی در اشتغال و سهم بخش برق‌آبی در اشتغال می‌باشند. جدول ۴ مشخصات مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده بسته‌های سناریویی را نشان می‌دهند.

همچنین، علاوه بر تغییرات عوامل تاثیرگذار برونزا، سیاست‌های انتخابی مدیران در قالب متغیرهای درونزا بر سیستم اعمال می‌شوند. این متغیرها که تحت عنوان متغیرهای تحلیل سیاست شناخته می‌شوند، از برنامه‌های آتی مدیران خبر می‌دهد. اهمیت مؤلفه کیفیت آب در برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب سبب شد در این تحقیق یک سیاست بالادستی برای لحاظ‌کردن تغییرات این مؤلفه در نظر

Archive of SID
www.SID.ir

گرفته شود. این سیاست بالادستی اعمال آستانه شوری رودخانه در مقطع اهواز می‌باشد. به این معنی که اگر سیاست کلی بر آن باشد که کیفیت آب در مقطع اهواز از آستانه ۱۸۰۰ میکرومهوس بر سانتی‌متر (مطابق نظر کارشناسان) تجاوز نکند و بتوان آب شرب شهر اهواز را تامین کرد، نحوه تصمیم‌گیری‌ها برای مدیریت منابع آب با زمانی که چنین محدودیتی نباشد، تفاوت اساسی دارد. در این تحقیق، سیاست آستانه شوری در دو سطح وجود یا عدم وجود آستانه شوری در نظر گرفته شده است.

ذیل سیاست بالادستی آستانه شوری در دو بسته سیاستی ادامه وضع موجود (P_0) و چشم‌انداز (P_1)، وضعیت آینده حوضه مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۵ مشخصات مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده بسته‌های سیاستی را نشان می‌دهد. سیاست ادامه وضع موجود روند مدیریتی را در سیستم حوضه آبریز کارون بزرگ بدون تغییر در نظر می‌گیرد. در بسته سیاستی چشم‌انداز، رویکردها و عملکردهای جدید مدیریتی در قالب برنامه‌های توسعه بخشی یا اسناد بالادستی تغییر خواهند کرد. هر بسته سیاستی شامل مؤلفه‌های توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی، ضریب بازچرخانی آب، کشاورزی پاک و صنایع پاک می‌باشد. منظور از کشاورزی و صنایع پاک، بهبود تکنولوژی برای تولید انرژی و ارزش افزوده بیشتر با آلودگی کمتر می‌باشد. لذا، در بسته سیاستی چشم‌انداز، اثرات تغییر رویه مدیریت حوضه در ابعاد مختلف (تک سیاست‌ها) بر آینده سیستم تحلیل می‌شود.

پس از تشخیص بسته‌های سناریویی و سیاستی، در ابتدا میزان اثربخشی بسته‌های سیاستی تحت اعمال بسته‌های سناریویی ذیل سیاست بالادستی عدم اعمال آستانه شوری مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌های صورت گرفته با توجه به نتایج حاصل از اعمال این بسته‌ها در مدل نشان می‌دهد که مؤلفه نگرانی سیستم بسیار متأثر از سیاست‌های اعمالی بر حوضه می‌باشند و کمتر از سناریوهای اعمالی تاثیر می‌پذیرد. بدین معنی که پس از اجرای مدل و اعمال دو بسته سناریویی برای بسته سیاستی یکسان، نتایجی مشابه حاصل شد. شکل ۹ نتایج حاصل از اعمال سناریوها و سیاست‌های مختلف را بر شوری آب در رودخانه کارون نشان می‌دهد. به منظور بررسی اثر تک سیاست‌ها و برهم‌کنش سیاست‌های مختلف تحت بسته سناریویی S_0، روند تغییر از بسته سیاستی P_0 (ادامه وضع موجود) به سمت بسته سیاستی P_1 (چشم‌انداز) به صورت مرحله‌ای انجام گرفت. در هر مرحله سیاستی جدید به بسته سیاستی P_0 اضافه شد تا در نهایت به بسته سیاستی P_1 منتهی شود.

جدول ۴- مشخصات مؤلفه‌های بسته‌های سناریویی

	سناریوها	مقدار S_0	مقدار S_1	واحد
مؤلفه‌ها	رشد ارزش افزوده بخشی کشاورزی	۲.۵	۵.۱	٪
	رشد ارزش افزوده بخشی برق‌آبی	۷.۵	۸.۹	٪
	اشتغال کل	۲۵	۷۰	هزارنفر
	سهم بخش کشاورزی در اشتغال	۱۵	۱۵	٪
	سهم بخش برق‌آبی در اشتغال	۸۵	۸۵	٪

جدول ۵- مشخصات مؤلفه‌های بسته‌های سیاستی

	تک سیاست‌ها	مقدار P_0	مقدار P_1
مؤلفه‌ها	توسعه نیروگاه‌های برقابی (بازچرخش آب برای	۲	۳/۵
	ضریب بازچرخش آب کشاورزی	۲	۴
	کشاورزی پاک برای تولید کالری (درصد)*	۱۸	۶
	صنایع پاک (درصد)*	۱۳	۷

* منظور درصد آلایندگی به ازای واحد تولید می‌باشد.

www.SID.ir
Archive of SID

در جدول ۶ روند تغییرات از بسته سیاستی P_0 تا بسته سیاستی P_1 با ذکر نام آنها آورده شده است. چنانچه مشهود است با اضافه کردن سیاست توسعه نیروگاه برق‌آبی به بسته سیاستی ادامه وضع موجود، تاثیری بر متغیر شوری رودخانه مشاهده نشد. اما، با اضافه کردن تک‌سیاست اعمال ضریب بازچرخش آب به بسته سیاستی P_0 میزان شوری آب رودخانه کاهش چشم‌گیری داشته است (منحنی S_0P_{001}). در ادامه با اضافه کردن تک‌سیاست اعمال کشاورزی پاک، شوری آب به صورت قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (منحنی S_0P_{00123}). در نهایت با اضافه کردن تک‌سیاست توسعه صنایع پاک نتایج برابر با نتایج بسته سیاستی P_1 حاصل می‌شود.

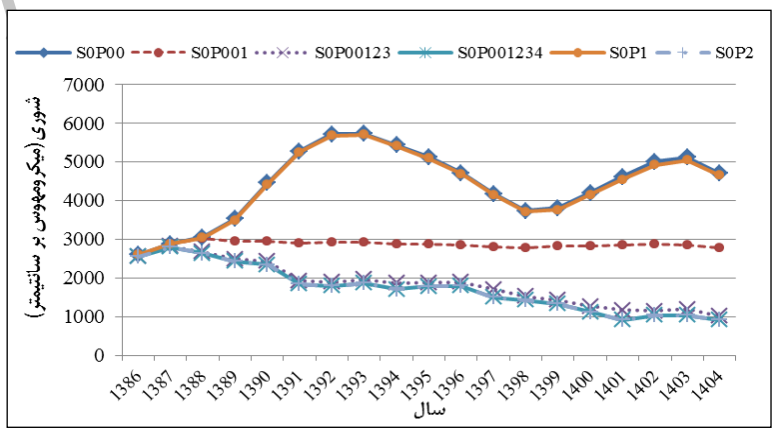
جدول ۶- تغییرات بسته سناریویی P_1 در اجراهای مختلف با ذکر نام

نام بسته	تغییر صورت گرفته
S_0P_{00}	بسته سیاستی P_0 با اعمال توسعه در نیروگاه‌های برق‌آبی
S_0P_{001}	S_0P_{00} + تغییر در ضریب بازچرخش
S_0P_{00123}	S_0P_{001} + اعمال کشاورزی پاک
S_0P_{001234}	S_0P_{001} + اعمال صنایع و خدمات

تحت اعمال هر دو سناریو، نشان داده شد نتایج بستگی شدید به سیاست‌های مدیریتی اتخاذ شده دارند. به دیگر سخن، آنچه که در روندها و فعالیت‌های مدیریتی نظیر بهبود وضعیت کشاورزی برای تولید غذای پاک (تولید غذا با کمترین آلودگی زیست‌محیطی) و تصفیه فاضلاب‌های صنعتی باید مد نظر قرار گیرد بسیار تاثیرگذارتر از تغییر شرایط محیطی است.

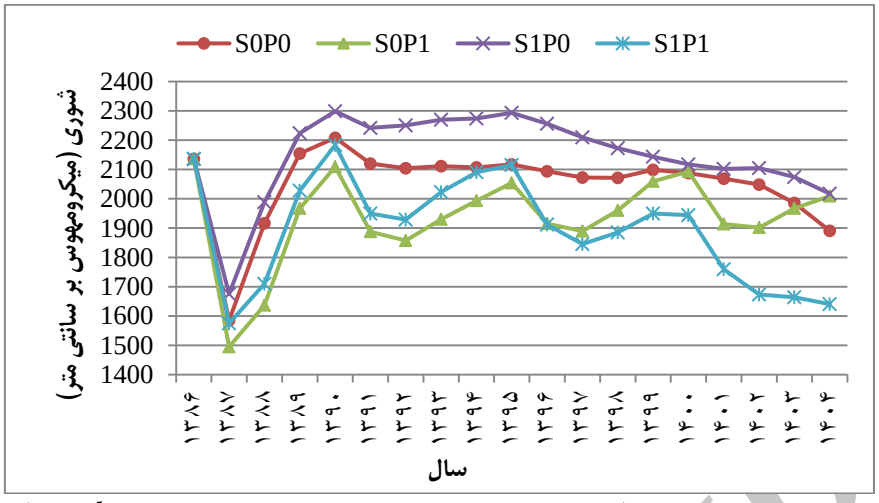
در صورت اعمال بسته سیاست چشم‌انداز ذیل سیاست بالادستی عدم کنترل شوری در مقطع اهواز روند رو به بهبودی در هر دو بسته سناریویی مشاهده می‌شود. اما، در صورت عدم تغییر سیاست‌های حاکم، هر دو سناریو وضعیت نامطلوبی را برای کیفیت آب رودخانه رقم خواهند زد. همچنین، نکته قابل توجه میزان حساسیت سیاست‌های مختلف به شرایط کم‌آبی می‌باشد. به طوری که در شکل ۹ مشخص شده است، در صورت ادامه سیاست وضع موجود تحت اعمال هر دو بسته سناریویی کیفیت آب، نسبت به شرایط کم‌آبی واکنش نشان داده، شوری افزایش پیدا می‌کند. اما این در صورتی است که با اعمال بسته سیاستی چشم‌انداز تحت هر دو بسته سناریویی، کیفیت آب کارون هیچ گونه واکنشی نسبت به شرایط کم‌آبی نشان نداده، به روند کاهشی، بدون تاثیر شرایط کم‌آبی ادامه می‌دهد. این موضوع بیان‌کننده این مطلب است که بقای سیستم در صورت اعمال سیاست‌های چشم‌انداز تضمین شده، سیستم برای رسیدن به ماموریت خود دارای پایداری مناسبی خواهد بود.

همچنین، با اعمال سیاست بالادستی کنترل شوری، مؤلفه‌های سیستم منابع آب حوضه آبریز کارون بزرگ، تحت تاثیر اعمال این سیاست رفتار غیرمشابه در مقایسه با شرایط عدم اعمال سیاست کنترل شوری دارند. با توجه به در نظر گرفتن مؤلفه شوری رودخانه به عنوان شاخص نشان‌دهنده حالت سیستم، در شکل ۱۰ نحوه تغییرات شوری رودخانه تحت اعمال سیاست بالادستی کنترل شوری نشان داده می‌شود. چنانچه مشهود است، بیشترین شوری مربوط به سناریو S_1 (در برگیرنده رشد ارزش افزوده و اشتغال در دو بخش کشاورزی و برق‌آبی) و سیاست P_0 می‌باشد. مقایسه S_0P_0 و S_1P_0 نشان می‌دهد که در صورت ادامه سیاست‌های موجود در سیستم منابع آب، رسیدن به چشم‌اندازهای ترسیم شده در سندهای



شکل ۹- نحوه تغییر از بسته سیاستی P_0 به سمت بسته سیاستی ذیل سیاست بالادستی عدم اعمال آستانه شوری P_1

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۰- چگونگی تغییرات شوری رودخانه کارون بزرگ در صورت اعمال سیاست آستانه شوری

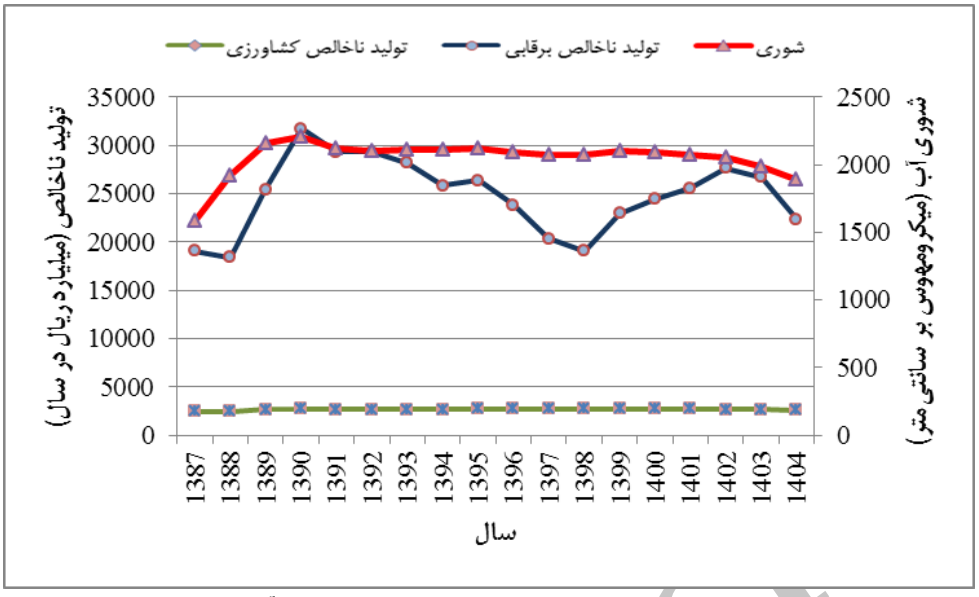
بالادستی برای دستیابی به رشد ارزش افزوده و اشتغال بیشتر تحت سناریوی S_1، وضعیت شوری رودخانه را در مقایسه با ادامه روند کنونی در رشد اشتغال و ارزش افزوده، بیشتر تخریب می‌کند.

از طرف دیگر، مقایسه S_0P_1 و S_1P_1 نشان می‌دهد که در صورت تغییر در سیاست‌های موجود، در صورت وقوع سناریو $S1$ شوری رودخانه به واسطه رشد اشتغال در مقایسه با سناریوی S_0، بیشتر می‌شود. اما، با اعمال سیاست‌های چشم‌انداز در درازمدت همزمان با دستیابی به رشد ارزش افزوده و اشتغال بیشتر بخشی، وضعیت شوری رودخانه نیز بهبود پیدا می‌کند. اعمال محدودیت آستانه شوری بر مؤلفه‌های درون‌بخشی نیز اثرگذار می‌باشد. به منظور نشان دادن این وضعیت، ارزش افزوده بخشی به عنوان شاخص نشان دادن وضعیت درون بخشی در نظر گرفته شده و نحوه تغییرات آن تحت سناریو S_0 و دو سیاست P_0 و P_1 به عنوان نمونه بررسی شده است. شکل ۱۱، نحوه تغییرات ارزش افزوده بخش کشاورزی و برق‌آبی را تحت اعمال بسته سناریویی S_0 و بسته سیاستی P_0 نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در اثر اعمال سیاست ادامه وضع موجود (P_0) تحت سناریو ادامه وضع موجود (S_0)، به منظور حفظ یا بهبود وضعیت شوری رودخانه، رشد ارزش افزوده بخش کشاورزی متوقف خواهد شد و میزان فعالیت‌های کشاورزی در سطح امروزی باقی می‌ماند. این موضوع بدلیل کاهش تخصیص آب به بخش کشاورزی در اثر اعمال محدودیت آستانه شوری اتفاق می‌افتد. به دیگر سخن، اگر تغییر در سیاست‌های مدیریت مانند استفاده از کشاورزی پاک صورت نگیرد، به منظور حفاظت از محیطزیست و کیفیت آب باید توسعه فعالیت‌های کشاورزی متوقف شده، برای بهبود کیفیت آب تخصیص به این بخش کنترل شود. این موضوع عدم رشد ارزش افزوده بخش کشاورزی را به همراه خواهد داشت. این در صورتی است که ارزش افزوده بخش برق‌آبی متناسب با وضعیت آورد رودخانه تغییر می‌کند. چنانچه قابل تشخیص است در شرایط کم‌آبی ارزش افزوده این بخش به دلیل کاهش تولید برق‌آبی کاهش می‌یابد. شکل ۱۲ که نحوه تغییرات ارزش افزوده دو بخش مورد نظر را تحت اعمال بسته سناریویی S_0 و بسته سیاستی P_1 نشان می‌دهد، بیان‌کننده این واقعیت است که در صورت بهبود مدیریت بخش‌های کشاورزی و برق‌آبی و اعمال رویکردهای سازگار با محیطزیست، ضمن رشد ارزش افزوده بخش‌های کشاورزی و برق‌آبی، کاهش شوری آب رودخانه و بهبود شرایط محیطزیست و اکولوژیکی را نیز به همراه خواهد داشت.

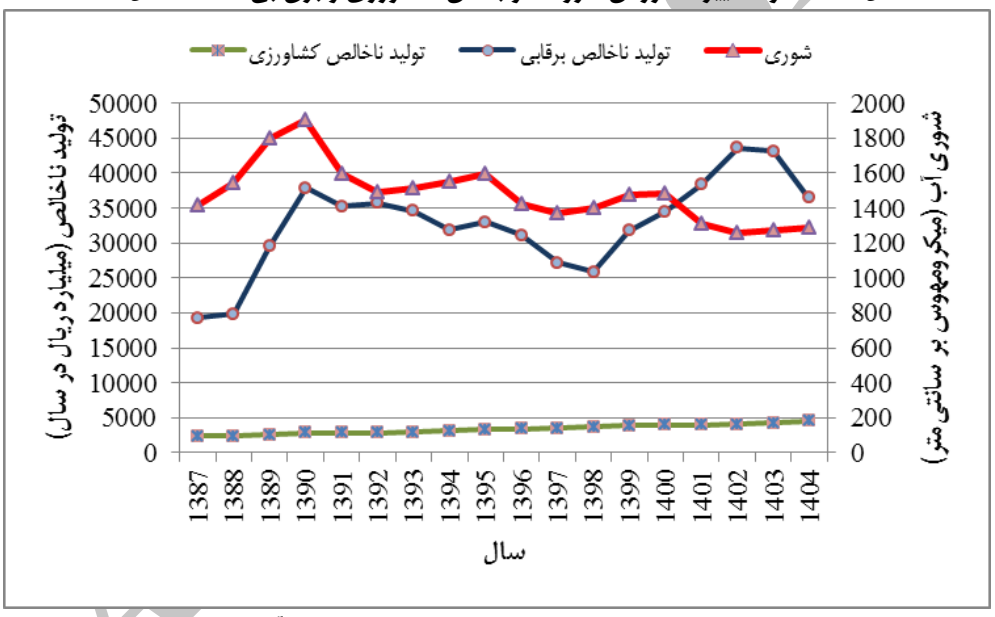
۶- نتیجه‌گیری

تحلیل‌های صورت گرفته در اعمال سیاست‌ها و سناریوها تحت سیاست بالادستی نشان می‌دهد که بیشترین تاثیرپذیری شوری رودخانه کارون به طور مستقیم از کشاورزی و میزان تولید کالری می‌باشد. اما تولید کالری از مؤلفه‌های دیگری چون رشد اشتغال و ارزش افزوده بخشی تاثیر می‌پذیرد. به دلیل اثرگذاری ارزش افزوده و اشتغال از طریق تامین آب مورد نیاز و تولید کالری بر شوری رودخانه این موضوع اثرگذاری خود را در کالری تولیدی بر شوری رودخانه نشان می‌دهد. از طرف دیگر چنانچه گفته شد، افزایش رشد ارزش افزوده و اشتغال در بخش کشاورزی و برق‌آبی که در قالب بسته‌های سناریویی بر مدل مورد نظر اعمال می‌شود تاثیر زیادی بر شوری آب رودخانه ندارد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۱- نحوه تغییرات ارزش افزوده دو بخش کشاورزی و برق‌آبی تحت اعمال S_0P_0



شکل ۱۲- نحوه تغییرات ارزش افزوده دو بخش کشاورزی و برق‌آبی تحت اعمال S_0P_1

این امر به دو دلیل اتفاق می‌افتد: دلیل اول اینکه در ارزش افزوده بخشی تنها یک نهاده مد نظر قرار گرفته شده است و نهاده‌های دیگر مثل آب و نیروی کار ناچیز فرض شده‌اند. در بخش کشاورزی نهاده کالری و در بخش برق‌آبی نهاده برق مد نظر قرار گرفته است. این موضوع در مورد اشتغال بخشی نیز صادق است. این باعث می‌شود اثرگذاری ارزش افزوده و اشتغال بخشی بر شوری در قالب تخصیص آب به هر بخش و اثر تولیدات بخشی بر شوری اعمال شود. لذا روابط بین متغیرها در مدل اثر این دو مؤلفه را بر شوری کاهش می‌دهند.

دلیل دوم اینکه تاثیر ارزش افزوده و اشتغال بخشی از طریق تولیدات بخشی اعمال می‌شود که به دلیل رابطه مستقیم تولیدات بخشی با شوری اثرات آن بیشتر است. برای مثال در بخش کشاورزی افزایش اشتغال بخش خود را در افزایش تقاضای آب بخش کشاورزی نشان می‌دهد. این افزایش تقاضا با اعمال ضرایبی بر تولید کالری تاثیرگذار است که این ضرائب ماهیتی کاهنده دارند. لذا اثرپذیری مؤلفه‌های ارزش افزوده و اشتغال بر شوری غیرمستقیم بوده و در مقایسه با اثرگذاری مستقیم کالری بر شوری تاثیر کمتری بر شوری می‌گذارد. همچنین در ارزیابی میزان برهم‌نهی تک‌سیاست‌ها مشخص شد که

www.SID.ir

برهم‌کنش تک‌سیاست‌های توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی، ضریب بازچرخش آب و کاهش آستانه‌ی شوری در مقایسه با برهم‌کنش تک‌سیاست‌های دیگر و بسته‌ی سناریویی چشم‌انداز اثر نامطلوبی بر شوری رودخانه کارون دارد. این موضوع تایید این مطلب است که برای افزایش سازگاری سیستم منابع آب کارون بزرگ و بهبود بقای سیستم، شناسایی سیاست‌ها و اعمال توأمان آنها مهم می‌باشد. لذا تشخیص برهم‌کنش سیاست‌ها برای بهبود حالت سیستم حائز اهمیت می‌باشد.

پی نوشت‌ها

1- Linear Programming
2- Non-Linear Programming
3- Dynamic Programming
4- Conflict Resolution
5- Multiple Criteria Decision Making
6- Causal Loop Diagrams
7- Crop Per Drop

۶- مراجع

دریجانی م (۱۳۸۷) استفاده از رویکرد مکانیزم سیستم‌ها در مدل‌سازی مدیریت سیستم آب شهری پس از بلایای طبیعی مبتنی بر توسعه پایدار، مطالعه موردی: شهر بم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و محیطزیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

حسینی س ا (۱۳۸۸) استفاده از رویکرد دینامیک سیستم‌ها در استخراج استراتژی‌های توسعه پایدار منابع آب (مطالعه موردی: دشت مشهد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج.

سازمان آب و برق خوزستان (۱۳۸۸) گزارش بررسی و تحلیل خشکسالی ۸۷ در حوضهٔآبریز کارون‌بزرگ. معاونت مطالعات پایه منابع آب.

سازمان آب و برق خوزستان (۱۳۸۷) گزارش مستندات خشکسالی، پایش کیفی منابع آب. معاونت مطالعات پایه و طرح‌های جامع منابع آب، امور آزمایشگاههای منابع آب و خاک و رسوب.

سازمان آب و برق خوزستان (۱۳۸۶) گزارش نهایی طرح بررسی نحوه حمایت از نیروگاه‌های برق‌آبی در بازار برق کشور. فصل اول.

سالنامه آماری خوزستان (۱۳۸۶) استانداری خوزستان، فصل هفتم: آب و برق.

شرکت مهندسین مشاور جاماب (۱۳۸۴) مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم (تعادل بخشی بین منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز)، وضعیت موجود و آینده منابع آب در حوضه آبریز کارون بزرگ، جلد اول.

مینایی س، مادح خاکسار آ، مادح خاکسار س (۱۳۸۸) بررسی سناریوهای حذف محصولات پر مصرف از الگوهای کشت در شرایط خشکسالی. همایش ملی خشکسالی شیراز .

Adger WN (2006) Vulnerability. Global Environmental Change. 16: 268–281.

Barnett A, Blaikie P (1994) AIDS as a long wave disaster. In: Varley, A. (Ed.). Disasters, Development and Environment. Wiley Chichester: 139-162.

Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B (1994) At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge London.

Bagheri A, Hjorth P (2007) A framework for process indicators to monitor for sustainable development: practice to an urban water system. Environment, Development and Sustainability 9:143-161.

Bessler FT, Savic DA, Waters GA (2003) Water Reservoir control with data mining. Journal of Water Resources Planning and Management. 129 (1): 26-34.

Elmahdi A, Malano H, Teri E (2008) Using system dynamics to water-reallocation. Environmentalist 27: 3-12.

Cutter SL (1996) Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography 20 (4): 529-539.

Fussel HM (2007) Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change 17 (2) 155–167.

Gastelum JR, Valdes JB, Stewart S (2010) A system dynamics model to evaluate temporary water transfers in the Mexican Conchos Basin. Water Resources Management, DOI 10.1007/s11269-009-9497-z, 24(7): 1258-1311.

Guo H C, Liu L, Huang GH, Fuller GA, Zou R, Yin YY (2001) A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for the lake Erhai basin. Journal of Environmental management 6: 93-111.

Archive of SID

www.SID.ir

in Las Vegas, Nevada. International Journal of Environmental Management, 67: 303-313.

Sterman JD (2000) Business dynamics: Systems thinking and modelling for a complex world. New York, McGraw-Hill Higher Education.

Timmerman P (1981) Vulnerability, resilience and the collapse of society. Environmental monograph, Institute for Environmental Studies. University of Toronto, Canada.

Turner II BL, Kasperson RE, Matson PA, McCarthy JJ, Corell RW, Christensen L, Eckley N, Kasperson JX, Luers A, Martello ML, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A (2003) A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 100: 8074-8079.

Yeh W W-G (1985) Reservoir management and operations models: A state-of-the-art reviow. Water Resources Reserarch 21(12): 1797-1818

Hewitt K (1994) When the great planes came and made ashes of our city: towards an oral geography of the disasters of war. Antipode 26: 1-34.

Hewitt K (1997) Regions of risk. A geographical introduction to disasters. Addison Wesley Longman, Essex, UK.

O'Brien K, Leichenko R, Kelkar U, Venema H, Aandahl G, Tompkins H, Javed A, Bhadwal S, Barg S, Nygaard L, West J (2004) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. Global Environmental Change 14 (4): 303-313.

Saysel AK, Yaman B, Yenigun O (2002) Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. Journal of Environmental Management 64:247-260.

Simonovic SP (1997) Application of water resources systems concept to the formulation of a water master plan, Water International 14 (1): 37–50.

Stave KA (2003) A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options

Archive of SID

www.SID.ir