ارزیابی تاثیر هماهنگ‌سازی بهره‌برداری توامان از سامانه‌ی چند مخزنی حوضه آبخیز کرخه در مراحل مختلف توسعه بر تامین بلند مدت آب

امیر ایازی*[۱]، اکبر کریمی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۹/۱۶

چکیده

با انجام طرح‌های جدید تامین آب، برنامه‌های آبیاری، صنعتی و توسعه‌ی شهرها، ساختار حوضه آبخیز و به تبع آن شرایط سامانه‌ی آبی حوضه دچار تغییر می‌گردد. در چنین شرایطی، استفاده از شیوه‌ی بهره‌برداری موجود علاوه بر آن که بهینه نبوده، منجر به صرف هزینه‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی نیز می‌گردد. بنابراین، نیاز بسیار به هماهنگ‌سازی بهره‌برداری با شرایط جدید و به‌روزرسانی قواعد بهره‌برداری و منحنی‌های فرمان سدها، می‌شود. در این تحقیق به موضوع هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی و به‌روزرسانی قواعد بهره‌برداری از آبگیر سدها در مراحل مختلف توسعه‌ی حوضه آبخیز پرداخته شده است. برای این منظور، یک شبیه بهینه‌سازی بهره‌برداری بلند مدت از سامانه‌ی آبی ساخته شده که اثرات بالادست بر پایین‌دست و اثرات بلند مدت بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی را در نظر گرفته و به نحوی عملکرد سامانه‌ی آبی را هماهنگ می‌نماید که تا حد ممکن اهداف بهره‌وران در افق بلند مدت برنامه‌ریزی تامین گردد. کاربرد مدل در ارزیابی تاثیر هماهنگ‌سازی و به‌روزرسانی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی کرخه نشان می‌دهد که در شرایط ساختن سدهای کرخه، سیمره و سازبن، چنان‌چه از منحنی‌های فرمان معمول سدها که به‌صورت مجزا برای هر سدی تهیه می‌گردد، استفاده شود ۶۰٪ از نیازهای آبی تامین نمی‌شود، درحالی که در شرایط هماهنگ‌شده تمامی نیازها تامین می‌گردد. افزون بر آن، عدم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه آبی کرخه و به روزرسانی قواعد بهره‌برداری از مخازن سدها، ۵۰٪ قابلیت اطمینان تامین تقاضاهای آبی را در یک افق ۲۰ ساله در مقایسه با عملکرد هماهنگ شده کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، سامانه‌ی منابع آب، بهره‌برداری از مخزن، حوضه آبخیز کرخه.

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس.

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، گروه مهندسی عمران، واحد تهران شرق.

* نویسنده‌ی مسوول: a.ayazi86@gmail.com

مقدمه

با انجام طرح‌های جدید شامل: سدها، برنامه‌های کشاورزی، صنعتی و توسعه شهری، ساختار سامانه‌ی آبی حوضه آبخیز تغییر می‌کند. تغییر در ساختار سامانه‌ی آبی حوضه آبخیز(به‌علت تغییر در سامانه‌ی تامین آب و یا تقاضاهای آبی)، تغییر در شرایط زمانی و مکانی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی را به‌همراه دارد(لاکس و ونبیک،۲۰۰۵). بنابراین، کاربرد شیوه‌ی کنونی بهره‌برداری از اجزا سامانه‌ی آبی(سدها، رودها و سفره‌ی زیرزمینی) در شرایط جدید، الزاماً بهینه نبوده و منجر به ناکارآمدی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی در شرایط جدید می‌گردد. عدم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از بخش جدید و موجود سامانه‌ی آبی، منجر به کاهش ظرفیت تامین آب و قابلیت اطمینان تامین آب در یک افق بلندمدت برنامه‌ریزی می‌شود(پررا و همکاران،۲۰۰۵). کاهش آوردها به آبگیر و جریان رود به‌علت بهره‌برداری ناهماهنگ اجزای سامانه‌ی آبی منجر به به‌روز مسائل اقتصادی- اجتماعی مانند: هدر رفتن سرمایه‌گذاری‌ها، تغییر کاربری آب و مهاجرت کشاورزان می‌گردد(کراچیان و کارآموز،۲۰۰۶؛ کارآموز و همکاران،۲۰۱۰؛ لچر و همکاران،۲۰۰۶؛ راجاسکرام و ناندالال،۲۰۰۵؛کرول و برنسترت،۲۰۰۷).

لابادیه(۲۰۰۴) نیز در مروری که بر بهره‌برداری از سامانه‌های چند-آبگیری نموده است، بر اهمیت هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از آبگیرها در یک سامانه‌ی آبی برای تامین بهینه‌ی آب و در عین حال کاهش اثرات منفی بهره‌برداری از سامانه‌های آبی تاکید می‌کند. یکی از مشخصات بارز هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌های آبی، به‌روزرسانی منحنی‌های فرمان و قواعد بهره‌برداری از سدها در مراحل مختلف توسعه‌ی سامانه می‌باشد. مسأله‌ی به‌روزرسانی قواعد بهره‌برداری از آبگیرها در سامانه‌های چند-آبگیری در مراحل مختلف توسعه و تاثیر آن بر عملکرد سامانه‌ی آبی از منظر ظرفیت و قابلیت اطمینان تامین تقاضاهای آبی در ادبیات بهره‌برداری از سامانه‌های آبی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین، در این تحقیق به بررسی تاثیر به‌روزرسانی و هماهنگ‌سازی منحنی‌های فرمان بهره‌برداری از آبگیرها در یک سامانه‌ی آبی پرداخته می‌شود. برای این منظور، با ساختن یک شبیه بهینه‌سازی که قادر است تأثیر بهره‌برداری بالادست را بر پایین‌دست در تحلیل بلندمدت سامانه‌ی آبی لحاظ کند، بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی در دوره‌ی کنونی به نحوی بهینه می‌گردد که تا آخر افق برنامه‌ریزی مطلوبیت‌های بهره‌وران بیشینه گردد. از خصوصیات بارز این شبیه چند- دوره‌ای بودن آن می‌باشد، بدین معنی که رهاسازی از آبگیرها در ماه کنونی به نحوی تعیین می‌شود که تا آخرین ماه دوره‌ی برنامه‌ریزی، باتوجه به آوردها، تقاضاها و تغییرات آنها، حجم ذخیره‌ی مخزن در محدوده‌ی مجاز بهره‌برداری قرار گرفته و رهاسازی در دوره‌های بعدی به‌گونه‌ای صورت پذیرد که مطلوبیت بهره‌وران شرب، کشاورزی، صنعت، محیط‌زیست و بهره‌بردار از سامانه‌ی آبی نیز در افق برنامه‌ریزی بیشینه گردد. این خصوصیت که هماهنگ‌سازی زمانی بهره‌برداری از مخازن می‌باشد، در کنار هماهنگ‌سازی بهره‌برداری بالادست و پایین‌دست حوضه‌ی آبخیز، توان بیشتری را برای ارتقاء ظرفیت و قابلیت اطمینان تامین آب در سطح حوضه در اختیار تصمیم‌گیران بخش آب قرار می‌دهد. در ادامه، نحوه‌ی بیان ریاضی این شبیه و حل مسأله در بخش بیان ریاضی مسأله تشریح می‌شود. پس از آن نتایج کاربرد شبیه ساخته شده در یک مورد واقعی، یعنی سامانه‌ی آبی حوضه آبخیز کرخه ارائه می‌گردد. در نهایت نیز جمع‌بندی تحقیق و پیشنهاد برای کارهای آتی ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

بهره‌برداری از سامانه‌های آبی به‌وسیله دو رویکرد شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مزیت روش بهینه‌سازی امکان جهت‌دهی به شیوه بهره‌برداری در سمت مطلوب بهره‌وران می‌باشد. علاوه بر این، رویکرد بهینه‌سازی قابلیت حداقل نمودن اثرات بلند مدت نامطلوب بهره‌برداری کنونی بر حجم ذخیره، رهاسازی و تامین نیازهای آتی را دارد. در این تحقیق با توجه به مزیت‌های روش بهینه‌سازی و قابلیت انطباق آن با مطلوبیت‌های بهره‌وران از روش بهینه‌سازی برای ارزیابی بهره‌برداری از سامانه‌های آبی استفاده می‌شود.

شیوه بررسی اثرات هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز

در این تحقیق به بررسی اثرات به‌روزرسانی و هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌های آبی در مراحل مختلف توسعه بر ظرفیت تامین آب، قابلیت اطمینان تأمین آب و بیشینه‌سازی مطلوبیت‌های بهره‌وران پرداخته می‌شود. بنابراین، چگونگی این بررسی یکی از بخش‌های مهم در بیان ریاضی مسأله می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است. برای تعیین میزان اثرات به‌روزرسانی و هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی در تامین آب مطابق شکل ۱ به صورت زیر عمل می‌شود:

۱- نخست سامانه‌ی آبی در شرایط موجود تحلیل شده و منحنی فرمان بهینه‌ی ماهانه‌ی آبگیر در سامانه‌ی موجود تعیین می‌گردد.

۲- سپس سامانه در شرایط جدید توسعه، مثلا اضافه شدن یک یا چند آبگیر جدید، با مقید نمودن شبیه به پیروی از منحنی‌های فرمان تعیین شده در مرحله ۱ برای آبگیرهای موجود، تحلیل می‌گردد. تحلیل سامانه‌ی آبی در این شرایط نشان می‌دهد که اگر آبگیرهای موجود مطابق با برنامه قبلی خود از مرحله ۱ عمل کند و آبگیرهای جدید نیز در تعامل با آنها، عملکرد بهینه‌ی خود را بدون تغییر در برنامه‌ی بخش موجود تعیین نمایند، میزان پاسخ‌گویی به نیازهای آبی و تامین شرایط بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی با هدف بیشینه‌سازی مطلوبیت‌های بهره‌وران چگونه تغییر می‌کنند. در حال حاضر، در بسیاری از سامانه‌های منابع آب بدین صورت عمل می‌شود که برنامه بهره‌برداری سامانه‌ی موجود تغییر ننموده و بخش توسعه داده شده عملکرد خود را به نحوی تعیین می‌کند که با لحاظ شرایط موجود اهداف موردنظر توسعه تا حد ممکن تامین گردد.

۳- در مرحله‌ی بعدی، سامانه مجدداً در شرایط جدید توسعه، بدون مقید نمودن شبیه به پیروی از منحنی‌های فرمان تعیین شده در مرحله‌ی ۱ برای آبگیرهای موجود قبل از توسعه، تحلیل می‌گردد. در این شرایط جدید برای سامانه آبی، شبیه آزاد است که عملکرد بخش موجود سامانه را با بخش توسعه یافته هماهنگ نموده و بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی را به نحوی که مطلوبیت‌های بهره‌وران بیشینه گردد، بهینه نماید.

۴- با مقایسه نتایج تحلیل شبیه، سامانه‌ی منابع آب در دو حالت مختلف برای برنامه‌ریزی بهینه بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی در شرایط توسعه، امکان ارزیابی تأثیر هماهنگ‌سازی و به‌روزرسانی برنامه بهره‌برداری از آبگیر سدها در پاسخ‌گویی بهتر به نیازهای آبی در بلند مدت، قابلیت اطمینان تأمین آب در سطح حوضه‌ی آبخیز و بیشینه‌سازی مطلوبیت‌های بهره‌وران تخصیص آب در سطح حوضه آبخیز فراهم می‌گردد.

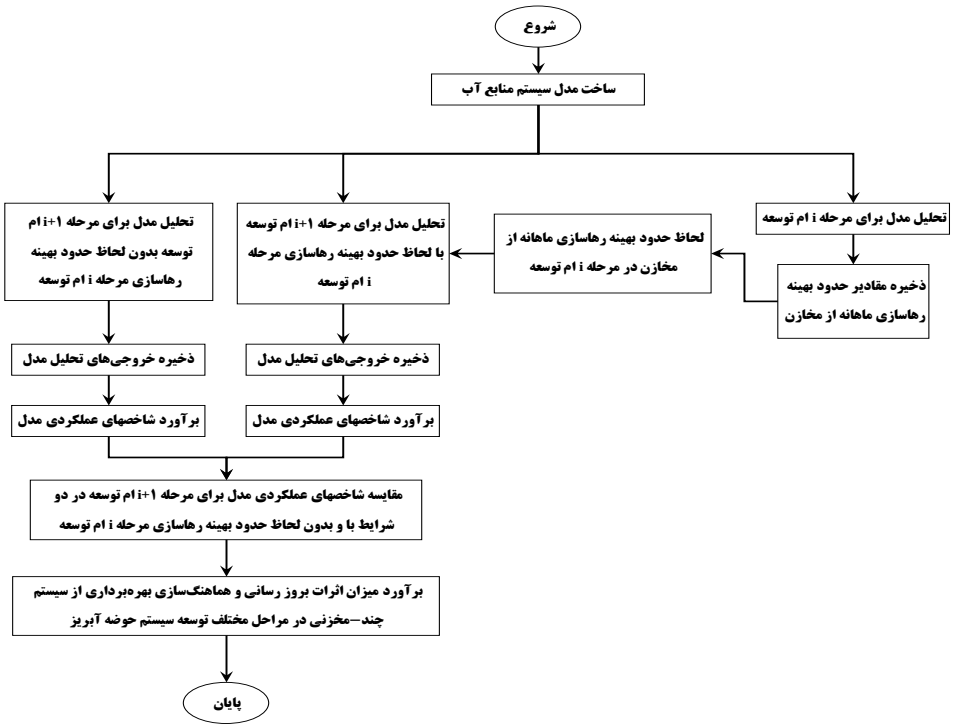
بدین ترتیب، با مقایسه‌ی نتایج تحلیل‌های شبیه در شرایط توسعه برای دو حالت مختلف که در بندهای ۲ و ۳ توضیح داده شدند، امکان ارزیابی اثرات به‌روزرسانی و هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌های آبی در مراحل مختلف توسعه فراهم می‌گردد.

خصوصیات ابزار تحلیل سیستم آبی

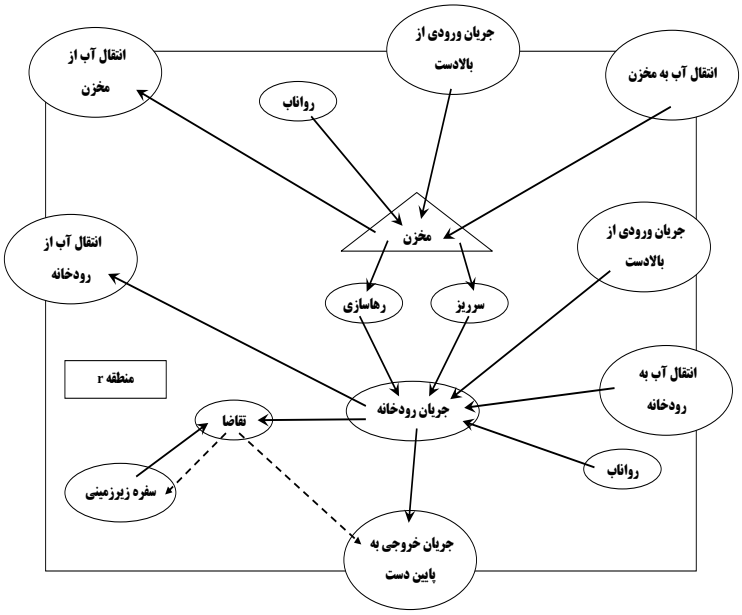
ابزار لازم برای انجام تحلیل سامانه‌ی آبی به نحوی که قادر به لحاظ و تحلیل اثرات توسعه در حوضه آبخیز باشد بایستی از مشخصات زیر بهره‌مند گردد:

- لحاظ توامان تاثیر بهره‌برداری بالادست بر پایین‌دست، به‌علاوه‌ی تاثیر رهاسازی کنونی آبگیرها بر ذخیره و رهاسازی از آبگیرها در دوره‌های بعدی.
- لحاظ توامان مطلوبیت‌های بهره‌وران، شرب، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست در تعیین مقادیر بهینه‌ی تخصیص آب به تقاضاهای گوناگون.

مدل سامانه منابع آب معمولا در قالب گره- نهر مشابه شکل ۲ نمایش داده می‌شود. در شکل ۲ سامانه آبی در یک منطقه یا بخش از حوضه‌ی آبخیز شامل: آبگیر، رود و سفره‌ی زیرزمینی که برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای آبی بهره‌برداری می‌شوند، نشان داده شده است.



شکل ۱- روند نمای تعیین میزان اثرات به‌روزرسانی و هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز در مراحل مختلف توسعه



شکل ۲- طرحواره‌ی سامانه‌ی منابع آب برای یک بخش از حوضه‌ی آبخیز

بیان ریاضی مساله

به منظور بیان ریاضی مساله‌ی بهره‌برداری از سامانه آبی در قالب ریاضی، ابتدا شبیه مفهومی بهره‌برداری از سامانه آبی در شکل ۲ نشان داده شده است. در یک منطقه‌ی r اجزای سامانه آبی و ارتباط آنها با یکدیگر نشان داده شده‌اند. در شکل ۲، ارتباط یک منطقه‌ی r با مناطق دیگر (بالادست و یا پایین‌دست) از طریق انتقال آب و جریان ورودی و خروجی از منطقه‌ی r به آنها و بالعکس، صورت می‌گیرد. بدین ترتیب، حوضه آبخیز قابل تقسیم به مناطق مختلفی می‌باشد که شامل آبگیر، رود، سفره‌ی زیرزمینی، انتقال آب و تقاضاهای آبی بوده و از طریق انتقال آب و جریان ورودی و خروجی با مناطق دیگر در ارتباط می‌باشند. بدین ترتیب شبیه‌سازی سامانه آبی حوضه آبخیز با لحاظ اثرات بالادست بر پایین‌دست شبیه‌سازی می‌گردد. علاوه بر این، با لحاظ خصوصیت ذخیره آبگیر سدها در سامانه‌ی آبی اثر بهره‌برداری از یک ماه به ماه‌های بعد در سال کنونی و سال‌های بعدی نیز به‌وسیله معادله تراز جرم شبیه‌سازی می‌گردد. بدین شکل، علاوه بر این که تاثیر بهره‌برداری کنونی از سامانه در دوره‌های بعدی شبیه‌سازی می‌گردد، به نحوی نیز بهینه می‌شود که بیشترین اثر مثبت را بر مطلوبیت بهره‌وران داشته باشد. بیان ریاضی بهره‌برداری از آبگیر، رود و سفره‌ی زیرزمینی در معادلات ۱ تا ۵ نمایش داده شده است.

$$S_r^{y,m} + I_r^{y,m} + \sum_{r'(r)} O_{r'}^{y,m} + \sum_{r'(r)} WT_{r',r}^{y,m} - SP_r^{y,m} - PF_r^{y,m} - EV_r^{y,m} - RL_r^{y,m} - \sum_{r(r')} WT_{r,r'}^{y,m} = S_r^{y,m+1} \quad (۱-۲)$$

$$HE_r^{y,m} = EF_{r,m} \cdot PF_r^{y,m} \cdot \left(H_r^{y,m} - TWL_r^{y,m} - HL_r\right) \quad (۲-۲)$$

$$AA_r^{y,m} + AI_r^{y,m} + AD_r^{y,m} + \sum_{r(r')} WT_{r,r'}^{y,m} + UARF_r^{y,m} = SRF_r^{y,m} + \sum_{r'(r)} O_{r'}^{y,m} + \sum_{r'(r)} WT_{r',r}^{y,m} + SP_r^{y,m} + PF_r^{y,m} + RL_r^{y,m} \quad (۳-۲)$$

$$UARF_r^{y,m} + RFA_r^{y,m} + RFI_r^{y,m} + RFD_r^{y,m} = O_r^{y,m} \quad (۴-۲)$$

$$GWV_r^{y,m} \geq GAA_r^{y,m} + GAI_r^{y,m} + GAD_r^{y,m} \quad (۵-۲)$$

در معادلات ۲-۱ تا ۲-۵ متغیرها و فراسنج‌ها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$GWV_r^{y,m}$	حجم مجاز برداشت آب از سفره‌ی زیرزمینی (میلیون متر مکعب)
$GAA_r^{y,m}$	حجم آب برداشتی برای مصرف کشاورزی از سفره‌ی آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)
$GAI_r^{y,m}$	حجم آب برداشتی برای مصرف صنعت از سفره‌ی آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)
$GAD_r^{y,m}$	حجم آب برداشتی برای مصرف شرب از سفره‌ی آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)
$S_r^{y,m}$	حجم ذخیره در آبگیر سد (میلیون متر مکعب)
$I_r^{y,m}$	حجم رواناب سطحی ورودی به آبگیر سد(میلیون متر مکعب)
$O_r^{y,m}$	حجم جریان خروجی از منطقه‌ی r (میلیون متر مکعب)
$WT_{r,r'}^{y,m}$	حجم آب انتقالی از منطقه‌ی r به منطقه‌ی r' (میلیون متر مکعب)
$SP_r^{y,m}$	حجم سرریز از آبگیر سد(میلیون متر مکعب)
$PF_r^{y,m}$	حجم جریان عبوری از مولد برق برای تولید کارمایه (میلیون متر مکعب)
$RL_r^{y,m}$	حجم رهاسازی از آبگیر(میلیون متر مکعب)
$EV_r^{y,m}$	حجم تبخیر ماهانه از آبگیر(میلیون متر مکعب)
$HE_r^{y,m}$	تولید ماهانه‌ی کارمایه‌ی برق‌آبی(مگاوات ساعت)
EF_r^m	ضریب سازگاری در معادله‌ی تولید کارمایه حاصل‌ضرب؛ بازده تولید، تعداد ساعات در ماه و وزن مخصوص آب
$H_r^{y,m}$	ارتفاع سطح آب آبگیر(متر)
$TWL_r^{y,m}$	ارتفاع پایاب نیروگاه(متر)
HL_r	افت بار آبی آب در مسیر مولدبرق(متر)
$RFA_r^{y,m}$	حجم آب بازگشتی از مصرف کشاورزی به رود (میلیون مترمکعب)
$RFI_r^{y,m}$	حجم آب بازگشتی از مصرف صنعت به رود(میلیون مترمکعب)
$RFD_r^{y,m}$	حجم آب بازگشتی از مصرف شرب به رود (میلیون مترمکعب)
$AA_r^{y,m}$	حجم آب برداشتی برای مصرف کشاورزی از رود (میلیون مترمکعب)
$AI_r^{y,m}$	حجم آب برداشتی برای مصرف صنعت از رود (میلیون مترمکعب)
$AD_r^{y,m}$	حجم آب برداشتی برای مصرف شرب از رود (میلیون متر مکعب)
$UARF_r^{y,m}$	جریان باقی مانده در رود پس از برداشتها (میلیون متر مکعب)
$SRF_r^{y,m}$	رواناب سطحی در منطقه r

معادله‌ی ۲-۱ بیلان آبی آبگیر سد را با لحاظ مـؤلفـه‌هـای مختلف تـراز نشـان مـی‌دهـد. معادلـه‌ی ۲-۲ تـابع تولیـد کارمایه برق‌آبی به‌وسیله‌ی سد را نشان مـی‌دهـد کـه یـک معادله غیرخطی و غیرمحدب وابسته به رقوم آب سـراب و پایاب، افت بار آبی و جریان عبوری از مولـدبرق مـی‌باشـد. معادله‌ی ۲-۳، تراز آبی رود و معادله‌ی ۲-۴، آب خروجـی از یک منطقه و ورودی بـه منطقـه پـایین‌دسـت را نشـان مـی‌دهـد. معادلـه‌ی ۲-۴ آب بـاقی مانـده در رود پـس از برداشـت‌هـا مـی‌باشـد کـه بایسـتی قیـد حـداقل نیـاز زیست‌محیطی را تامین نماید. معادله‌ی۲-۵ نیز برداشت از آب سفره را نشان می‌دهد که مقید بـه حـداکثر آب قابـل استحصال در هر ماه می‌باشد.

معادلات اصلی شبیه‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبـی در معادلات ۲-۱ تا ۲-۵ ارائه گردیده‌اند. در ادامه شبیه‌سـازی مطلوبیت بهره‌وران و تابع هدف مسأله شرح داده می‌شـود. بهره‌وران مساله‌ی بهره‌برداری از سامانه‌های آبی در سـطح حوضه آبخیز شـامل ۵ بهـره‌بردار(سـامانه‌ی آبـی)، شـرب، صنعت، کشـاورزی و محـیط‌زیسـت مـی‌شـوند. مطلوبیـت بهره‌وران از سامانه‌ی آبی با توجه به نیـاز آبـی آنهـا، قابـل تعریف بـر حسـب آب تـامین شـده بـرای هـر بهـره‌بـردار می‌باشد. البته، منبع تأمین آب نیز برای بهره‌وران اهمیـت دارد، زیرا هزینه و محدودیت‌های استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی متفاوت است. با توجه به این نکات، مطلوبیـت بهره‌وران به صورت زیر تعریف و بیان می‌گردد.

مطلوبیت بهره بردار بهره‌بـردار از سـامانه‌ی آبـی(مثلا؛ آب منطقه‌ای در ایران)، WSU_r^y، در بهـره‌بـرداری از آبگیـر سـد، حفـظ ارتفـاع آب آبگیـر بـرای تولیـد کارمایـه، استفاده‌های تفریحی، رهاسازی برای نیازهای پـایین‌دسـت آبگیر و انتقال آب می‌باشند. عـلاوه بـر ایـن، بهـره‌بـردار از برداشت آب به وسیله متقاضیان از رود نسبت بـه سـفره‌ی زیرزمینی به واسطه‌ی قیمت بیشتر آب رود نفـع بیشـتری می‌برد. با توجه بـه ایـن مطالـب، مطلوبیـت بهـره‌بـردار از سـامانه‌ی آبی(سـازمان‌هـا و نهادهـای آبـی) بـه صـورت معادله‌ی ۲-۶ بیان ریاضی می‌گردد:

$$WSU_r^y = \sum_m \begin{bmatrix} W1_r^m \cdot S_r^{y,m} + \\ W2_r^m \cdot \sum_{r'(r)} WT_{r,r'}^{y,m} + \\ W3_r^m \cdot SP_r^{y,m} + \\ W4_r^m \cdot PF_r^{y,m} + \\ W5_r^m \cdot RL_r^{y,m} + \\ W6_r^m \cdot AA_r^{y,m} + \\ W7_r^m \cdot AI_r^{y,m} + \\ W8_r^m \cdot AD_r^{y,m} + \\ W9_r^m \cdot GAA_r^{y,m} + \\ W10_r^m \cdot GAI_r^{y,m} + \\ W11_r^m \cdot GAD_r^{y,m} + \\ W12_r^m \cdot HE_r^{y,m} \end{bmatrix} \qquad (۶-۲)$$

مطلوبیت بهره‌بردار شرب، DDU_r^y، بر حسب کمبـود در تامین آب و آب مصرفی با رعایت اولویت برداشت از منـابع سـطحی و زیرزمینـی بـه صـورت معادلـه‌ی ۲-۷ تعریـف می‌شود:

$$DDU_r^y = \sum_m \begin{bmatrix} \left(W13_r^m \cdot DDSL_r^{y,m}\right) + \\ \left(W14_r^m \cdot RAD_r^{y,m}\right) + \\ \left(W15_r^m \cdot GAD_r^{y,m}\right) \end{bmatrix} \qquad (۷-۲)$$

مطلوبیت بهره‌بردار کشاورزی، ADU_r^y، بر حسب کمبود در تامین آب مصرفی و اولویت برداشت از منابع سـطحی و زیرزمینی به صورت معادله‌ی ۲-۸ تعریف می‌شود:

$$ADU_r^y = \sum_m \begin{bmatrix} \left(W16_r^m \cdot ADSL_r^{y,m}\right) + \\ \left(W17_r^m \cdot RAA_r^{y,m}\right) + \\ \left(W18_r^m \cdot GAA_r^{y,m}\right) \end{bmatrix} \qquad (۸-۲)$$

مطلوبیت بهره‌بردار صنعت، IDU_r^y، بر حسب کمبـود در تـامین آب مصـرفی و رعایـت اولویـت برداشـت از منـابع سطحی و زیرزمینی به صورت معادله‌ی ۲-۹ قابـل تعریـف است:

$$IDU_r^y = \sum_m \begin{bmatrix} \left(W19_r^m \cdot IDSL_r^{y,m}\right) + \\ \left(W20_r^m \cdot RAI_r^{y,m}\right) + \\ \left(W21_r^m \cdot GAI_r^{y,m}\right) \end{bmatrix} \qquad (۹-۲)$$

در نهایت نیز مطلوبیت بهره بردار محیطزیست، $ENVU_r^y$، بر حسب مقدار کمبود در آب تامین شده به صورت نشان داده شده در معادله ۲-۱۰ بیان ریاضی می‌گردد.

$$ENVU_r^y = \sum_m W22_r^m \cdot ENVDSL_r^{y,m} \qquad (۲-۱۰)$$

شایان ذکر است که W ها در معادلات ۲-۶ تا ۲-۱۰ مبین مطلوبیت بهره‌برداران در رابطه با متغیرهای متناظر آنها می‌باشد که بین ۱۰۰ تا ۱۰۰- تغییر می‌کنند. مثبت بودن اعداد نشان دهنده‌ی مطلوبیت و منفی بودن وزن نشان‌دهنده نامطلوب بودن متغیر متناظر از دید ذینفع مربوطه می‌باشد. بدین ترتیب، مطلوبیت بهره‌بردارن مختلف مساله در قالب معادلات ۲-۶ تا ۲-۱۰ تعریف گردیده که اجزا تابع هدف می‌باشند. بیشینه‌سازی مطلوبیت تمام بهره‌بردارن در افق برنامه‌ریزی تابع هدف این مسأله را تشکیل می‌دهد که بدین وسیله بهره‌برداری از سامانه آبی به سمتی جهت داده می‌شود تا مطلوبیت تمام بهره‌بردارن تا حدممکن بیشینه گردد.

$$TU = \sum_{r,y} \begin{bmatrix} ENVU_r^y + WSU_r^y + \\ DDU_r^y + IDU_r^y + ADU_r^y \end{bmatrix} \qquad (۲-۱۱)$$

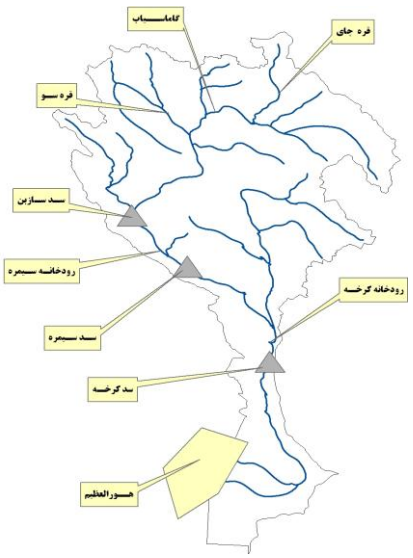
شبیه حاصل از معادلات ۲-۱ تا ۲-۱۱ از نوع مقید شده مربعاتی[۱] می‌باشد. شبیه ۲-۱۲ شکل کلی شبیه مقید شده مربعاتی با تابع هدف خطی را نشان می‌دهد. این شبیه باکاربرد روش‌های حل خطی ترتیبی و یا غیرخطی به‌وسیله نرم‌افزار GAMS حل می‌شوند(روزنتال، ۲۰۰۶).

$$\begin{aligned} &Max. \quad Z = B^T X \\ &s.t. \\ &\qquad X^T AX = D \\ &\qquad X \geq 0 \end{aligned} \qquad (۲-۱۲)$$

در معادله‌ی۲-۱۲، Xها متغیرهای مسأله، B بردار شامل ضرایب تابع هدف، A ماتریس ضرایب قیود و D نیز بردار حاوی مقادیر سمت راست قیود می‌باشد. در مساله‌ی بیان ریاضی شده در این تحقیق، B معادل وزن‌های W در معادلات ۲-۶ تا ۲-۱۰ می‌باشد.

مورد مطالعاتی

حوضه‌ی آبخیز کرخه با مساحت ۵۰۷۶۴ کیلومتر مربع، دربرگیرنده بخش‌هایی از ۶ استان در غرب و جنوب غرب ایران می‌باشد. در این حوضه آبخیز رود مشهور و پرآب کرخه جاری است که به هورالعظیم در مرز ایران و عراق می‌ریزد. علاوه بر این، حوضه‌ی آبخیز کرخه با وسعتی در حدود ۳/۴٪ از مساحت کشور ۳۴۵۶۰۰۰ نفر، معادل ۵٪ جمعیت کشور را در خود جای داده است(مهندسین مشاور جاماب ۱۳۸۴). ۳۵ سد مخزنی و انحرافی در این حوضه‌ی آبخیز علاوه بر سد کرخه، در افق برنامه‌ریزی ساخته و بهره‌برداری خواهند شد(بانک طرح‌های توسعه منابع آب ۱۳۸۸).



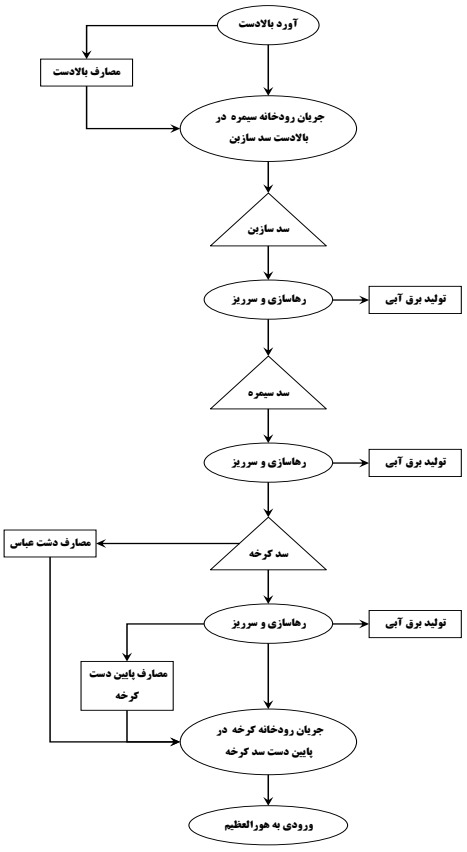
شکل ۳- نقشه‌ی حوضه‌ی آبخیز کرخه و سامانه‌ی آبی آن

شرایط سامانه‌ی آبی کرخه در این تحلیل

شکل ۳ موقعیت حوضه آبخیز کرخه، رودها، طرح‌های کشاورزی و سدهای کرخه، سیمره و سازبن را نشان می‌دهد. در این تحقیق بهره‌برداری از سامانه آبی حوضه، در شرایط ساخت و بهره‌برداری از سدهای کرخه، سیمره و سازبن بررسی می‌گردد. در شکل ۴ سامانه‌ی حوضه آبخیز کرخه در مرحله‌ی نهایی مورد نظر این مطالعه موردی، یعنی ساخت و بهره‌برداری از سدهای کرخه، سیمره و سازبن نشان داده شده است. در شکل ۴، منظور از مصارف

[۱] Quadratic Constraint Programming

بالادست، نیاز آبی طرح‌های کشاورزی گلوم‌بحری، چمچمال و تپه‌یزدان می‌باشد که در شرایط کنونی، یعنی سال ۱۳۸۹، در حال بهره‌برداری هستند. سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه طی سه مرحله در این تحقیق بررسی می‌گردد: در مرحله ی اول فرض بر این است که فقط سد کرخه و مصارف بالادست مطابق شکل ۴ وجود داشته و عملکرد آنها در یک افق ۲۰ ساله در بازه‌های زمانی ماهانه بهینه گردیده و وضعیت تأمین آب و منحنی فرمان سد کرخه به‌دست می‌آید. در مرحله‌ی بعد، فرض بر این است که سد سیمره نیز ساخته شده و بهره‌برداری از سامانه‌ی مذکور بهینه گردیده و منحنی‌های فرمان سدهای کرخه و سیمره در شرایط جدید و براساس میانگین بلند مدت حجم ذخیره ماهانه‌ی آبگیر محاسبه می‌شوند. در مرحله‌ی سوم فرض بر این است که سدهای کرخه، سیمره و سازبن ساخته شده و بهره‌برداری از آنها در یک افق بلند مدت ۲۰ ساله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. خصوصیات سامانه‌ی آبی کرخه در جداول ۱ و ۲ به‌طور خلاصه ارائه شده‌اند. در جدول ۱ نیاز آبی کشاورزی در افق طرح بر اساس سطح زیرکشت و الگوی کشت محاسبه شده است(بانک طرح‌های توسعه‌ی منابع آب،۱۳۸۸، مهندسین مشاور جاماب،۱۳۸۴). مشخصات بهره‌برداری از آبگیر شامل حجم بهنجار و حجم حداقل نیز براساس گزارش‌های مهندسین مشاور انتخاب و به‌کار برده شده است(بانک طرح‌های توسعه منابع آب،۱۳۸۸، مهندسین مشاور جاماب،۱۳۸۴).



شکل ۴: طرح واره‌ی سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه

ارزیابی عملکرد سامانه‌ی حوضه‌ی آبخیز کرخه در شرایط نشان داده شده در شکل ۴، در سه حالت بررسی می‌گردد؛ اول مقید نمودن سامانه‌ی به پیروی از منحنی‌های فرمان حاصل از تحلیل منفک هر یک از آبگیرها که به‌طور جداگانه و با توجه به اهداف و نیازهای مربوط به هر یک، به‌صورت مجزا بهینه‌سازی شده و منحنی فرمان مربوطه محاسبه شده است(این شرایط با عنوان بهره‌برداری هماهنگ نشده‌ی۱ در شکل‌های ۸ تا ۱۲ مشخص شده‌اند)، دوم مقید نمودن سامانه به پیروی از منحنی‌های فرمان حاصله برای عملکرد هماهنگ سدهای کرخه و سیمره در حالی که بهره‌برداری از سد سازبن با توجه منحنی فرمان حاصله از تحلیل منفک صورت می‌پذیرد (این شرایط مبین این واقعیت است که وقتی سدهای کرخه و سیمره ساخته شدند، چنان‌چه هماهنگ‌سازی در بهره‌برداری از آنها صورت پذیرد و منجر به منحنی‌های فرمان هماهنگ گردد، در شرایط ساخت سد سازبن اگر هماهنگ‌سازی با سد جدید صورت نپذیرد و سد سازبن طبق منحنی فرمان خود در حالت منفک عمل نماید،

عملکرد سامانه چگونه خواهد بود، این حالت با عنوان بهره‌برداری هماهنگ نشده‌ی ۲ در شکل‌های ۸ تا ۱۲ مشخص شده است) و سوم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از آبگیرها بدون مقید نمودن آنها به پیروی از منحنی‌های فرمان حاصل از تحلیل‌های قبلی و آزاد گذاشتن شبیه برای تعیین مقدار بهینه‌ی حجم ذخیره آبگیرها(این شرایط با عنوان بهره‌برداری هماهنگ شده در شکل‌های ۸ تا ۱۲ مشخص شده‌اند) در شرایط توسعه نشان داده شده در شکل ۴. شایان ذکر است که در شرایط معمول، منحنیهای فرمان آبگیرها و قواعد بهره‌برداری از سدها و سازه‌های آبی از تحلیل منفک آبگیرها با توجه به اهداف آبگیر و آوردها به مخزن صورت می‌پذیرد. در این تحقیق، اثرات کاربرد این منحنی‌های فرمان در عملکرد سامانه‌ی حوضه آبخیز، یعنی وقتی که عملکرد آبگیر تاثیرگذار و تاثیرپذیر از سامانه‌ی آبی می‌گردد، بررسی می‌شود.

جدول ۱- مشخصات سامانه‌ی حوضه‌ی آبخیز با توجه به شکل طرح‌واره‌ی ۴
(بانک طرحهای توسعه منابع آب ۱۳۸۸، مهندسین مشاور جاماب ۱۳۸۴)

نیاز شرب پایین دست سد کرخه	نیاز انرژی سد سازبن	نیاز انرژی سد سیمره	نیاز انرژی سد کرخه	نیاز آبی کشاورزی بالا دست کرخه	نیاز آبی کشاورزی دشت عباس	نیاز آبی کشاورزی پایین دست کرخه
۱/۹	۴۷۰۱۴	۴۸۹۱۲	۷۲۰۰۰	۱۶/۱۸	۱۸/۳۵	۴۷۱/۱
۱/۷	۴۷۰۱۴	۴۸۹۱۲	۷۲۰۰۰	۱/۹۲	۱۱/۳۴	۳۲۸/۸
۱/۴	۴۷۰۱۴	۴۸۹۱۲	۷۲۰۰۰	۰/۰۰	۳	۱۳۴/۶۸
۱/۴	۴۷۰۱۴	۴۸۹۱۲	۷۲۰۰۰	۰/۰۰	۲/۳۱	۱۶۳/۴
۱/۴	۴۷۰۱۴	۴۸۹۱۲	۷۲۰۰۰	۰/۰۰	۴/۰۱	۲۴۹/۴۲
۱/۵	۴۵۴۴۷	۴۷۲۸۲	۶۹۶۰۰	۰/۵۲	۱۴/۵۹	۴۰۲/۶۶
۱/۷	۴۸۵۸۱	۵۰۵۴۳	۷۴۴۰۰	۷/۵۰	۱۷/۹۸	۵۳۳/۷۸
۲/۰	۴۸۵۸۱	۵۰۵۴۳	۷۴۴۰۰	۲۰/۳۰	۱۹/۱۹	۴۹۲/۶۴
۲/۳	۴۸۵۸۱	۵۰۵۴۳	۷۴۴۰۰	۲۸/۸۷	۱۲/۹۷	۴۰۲/۶۳
۲/۶	۴۸۵۸۱	۵۰۵۴۳	۷۴۴۰۰	۲۴/۶۹	۱۸/۷۹	۳۹۶/۲۸
۲/۷	۴۸۵۸۱	۵۰۵۴۳	۷۴۴۰۰	۲۱/۶۷	۲۱/۶۹	۴۵۳/۰۷
۲/۳	۴۸۵۸۱	۵۰۵۴۳	۷۴۴۰۰	۱۹/۰۶	۲۹/۲۷	۵۷۴/۴۶

جدول ۲- مشخصات سدهای سامانه آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه
(بانک طرحهای توسعه منابع آب ۱۳۸۸، مهندسین مشاور جاماب ۱۳۸۴)

راندمان تولید انرژی	حداقل حجم بهره برداری از مخزن (MCM)	حجم نرمال مخزن (MCM)	نام سد
۰/۸	۱۴۴۳	۵۳۴۷	کرخه
۰/۹۵	۲۲۷۵	۳۲۱۵	سیمره
۰/۹۴	۶۵۸	۱۳۰۹/۳۹	سازبن

جدول ۳- ضرایب اهمیت متغیرهای مختلف تشکیل دهنده تابع هدف

ضریب اهمیت	متغیر تصمیم	ضریب اهمیت	متغیر تصمیم
۱۰۰	تامین نیاز شرب	۸۰	تخصیص از سفره زیرزمینی به نیاز کشاورزی
۹۰	تامین نیاز صنعت	۹۰	تخصیص از رودخانه به نیاز کشاورزی
۹۰	تامین نیاز کشاورزی	۱۰۰	تخصیص از رودخانه به نیاز شرب
۹۰	تامین نیاز انرژی	۱۰۰	تخصیص از رودخانه به نیاز صنعت
۷۵	تامین نیاز زیست محیطی	۹۰	تامین حجم مطلوب آخر ماه مخازن
		۵۰	تامین آب انتقالی از مخزن سد

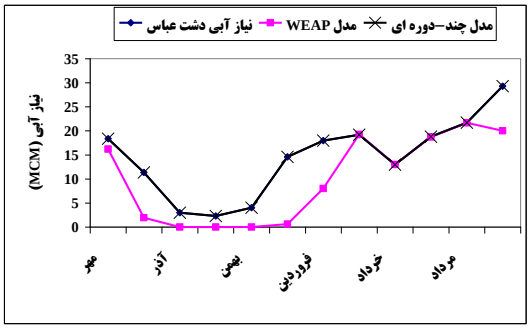
صحت‌سنجی عملکرد شبیه بهینه‌سازی

به منظور صحت‌سنجی شبیه چند- دوره‌ای ساخته شده در این تحقیق و قبل از کاربرد آن در تحلیل و ارزیابی سامانه‌ی آبی سد کرخه و پایین‌دست آن(شکل ۴ بدون لحاظ مصارف بالادست و سدهای سیمره و کرخه)، عملکرد این شبیه با شبیه WEAP در سامانه‌ی آبی کرخه مقایسه می‌شوند(موسسه زیست‌محیطی استکهلم، ۲۰۰۵). شبیه WEAP از رویکرد برنامه‌ریزی خطی برای بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی با لحاظ آبگیر سدها، رود، آب زیرزمینی، نقاط مصرف و آب بازگشتی با لحاظ اولویت‌های تامین آب از منابع و تخصیص آن به مصارف استفاده می‌کند. معادلات استفاده شده در این شبیه نیز معادلات تراز آبی(مشابه با معادلات ۲-۱ تا ۲-۵ بدون اندیس زمانی) می‌باشند. البته شبیه WEAP شبیه‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی را با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی تک- دوره‌ای با لحاظ شرایط اولیه‌ی هر دوره‌ی زمانی انجام می‌دهد. با توجه به کاربرد وسیع شبیه WEAP و تأیید صحت نتایج آن در مراجع متعدد، از نتایج تحلیل آن به‌عنوان معیار برای سنجش صحت شبیه ساخته شده در این تحقیق استفاده و نیاز به صحت‌سنجی شبیه WEAP نمی‌باشد. برای اطلاع از جزئیات بیشتر شبیه WEAP، نحوه‌ی کار و ساختار آن، کاربردهای عملی آن و نحوه‌ی واسنجی آن به مرجع موسسه زیست‌محیطی استکهلم مراجعه کنید. هر دو شبیه در شرایط یکسان از منظر ترجیحات و قیود برای سامانه‌ی آبی کرخه، شامل سد کرخه و پایین‌دست آن در یک افق یک ساله تحلیل شده و نتایج آن در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. در جدول ۳، ضرایب مبین ترجیحات برداشتن آب از منابع مختلف و تخصیص آن به متقاضیان بر اساس اولویت برداشت از منابع سطحی و تخصیص به نیاز شرب تعیین شده است. بر اساس این سیاست، آب سطحی نسبت به آب زیرزمینی اولویت داشته و تخصیص ابتدا به نیاز شرب، سپس صنعت و کشاورزی و تولید کارمایه و در نهایت به محیط‌زیست صورت می‌پذیرد. وزن‌ها در این تحقیق به‌صورت مقادیر تقریبی در جدول ۳ در نظر گرفته شده‌اند. شایان ذکر است که WEAP یک شبیه بوده و از بهینه‌سازی تک- دوره‌ای برای بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی استفاده می‌کند. در شبیه‌سازی سامانه‌ی آبی کرخه، بهره‌برداری از سامانه، به نحوی که برداشت زیادتری از آب سطحی صورت پذیرد، اهمیت بیشتری را در مقایسه با آب زیرزمینی به واسطه‌ی محدودیت و هزینه‌های برداشت دارد. بنابراین، ضریب اهمیت برداشت از آب سطحی بیشتر از آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، تأمین نیاز شرب در اولویت اول، نیاز صنعت، کشاورزی و کارمایه در اولویت دوم، نیاز زیست‌محیطی در اولویت سوم و تامین آب انتقالی در اولویت چهارم قرار دارد. علت یکسان گرفتن اولویت تامین نیازهای صنعت، کشاورزی و کارمایه آزاد گذاشتن شبیه برای ایجاد تعامل یکسان بین تأمین نیازهای مذکور و تامین بهره‌برداری می‌باشد. این در حالی است که معمولا نیاز شرب با توجه به اهمیت خاص آن بایستی کاملا تامین گردد و در تعامل قرار دادن آن با تامین دیگر نیازها مورد قبول نیست.

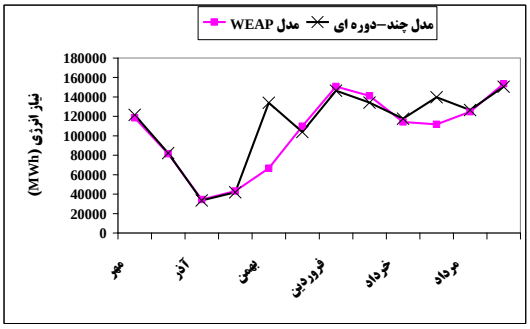
شبیه WEAP به علت تحلیل تک- دوره‌ای، آورد ماه کنونی را در تحلیل در نظر گرفته و آوردها در ماه‌های بعدی را منظور نمی کند، تا این که شبیه در ماه مورد نظر قرار گیرد. بنابراین، شبیه رهاسازی کنونی از آبگیر را به گونه‌ای تنظیم می‌نماید که اهداف ماه کنونی تامین شود، بدون آن که اثرات مثبت یا منفی این تصمیم بر بهره‌برداری در ماههای بعدی، با توجه به آورد در آن ماه‌ها در نظر گرفته شود. از آن‌جا که اهداف تولید کارمایه و حفظ ارتفاع سطح آبگیر هم‌سو می‌باشند، معمولا شبیه WEAP به نحوی عمل می‌کند که ارتفاع آب آبگیر تا حد ممکن بالا نگه داشته شود و رهاسازی برای نیازهای پایین‌دست نیز صورت گیرد. اما، از آنجا که شبیه WEAP آوردهای ماه‌های بعدی و اثرات آنها را در نظر نمی‌گیرد، عملکردی محافظه‌کارانه خواهد داشت که بعضا بدون این که نیاز باشد آب را در آبگیر نگه می‌دارد، در حالی که با خروج بیشتر آب و انتقال بخشی از آن به دشت عباس، افت سطح آب را می‌توان در حدی نگه داشت که اهداف تولید کارمایه و اهداف دیگر تا انتهای سال به نحوی بهینه و کامل تامین شود، همان‌طور که شبیه چند- دوره‌ای آن را در مقایسه‌ها در شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد.

شبیه بهینه‌سازی با توجه به لحاظ افزایش آوردها از دی تا اردیبهشت در بهره‌برداری، آب بیشتری از سد کرخه به دشت عباس انتقال داده است، بدون آن که کاهش آب آبگیر نگران باشد زیرا که در ماه‌های بعد این کاهش جبران می‌شود. درحالی که شبیه WEAP از آن‌جا که آوردهای آتی را در بهره‌برداری کنونی در نظر نمی‌گیرد، محافظه‌کارانه عمل نموده، به‌ویژه که در ماه‌های مهر تا دی با کاهش آورد نیز مواجه است و سعی در حفظ آب آبگیر داشته است. بنابراین، در شبیه WEAP نیاز آبی دشت عباس تامین نشده که این موضع در شکل ۵ نشان داده شده است. در شکل ۶ تولید کارمایه بیشتر به‌وسیله شبیه بهینه‌سازی در مقایسه با شبیه WEAP در شرایط یکسان با توجه به لحاظ شرایط آوردها در دوره‌های آتی در شبیه بهینه‌سازی نمایش داده شده است. با توجه به اینکه شبیه بهینه‌سازی چند- دوره‌ای می‌باشد و از مقدار آوردها تا انتهای دوران برنامه‌ریزی اطلاع دارد، میزان رهاسازی از آبگیر و حفظ ارتفاع آب آبگیر را به‌نحوی در تعامل با دیگر اهداف آبگیر تنظیم نموده است که حداکثر تولید حاصل گردد. این در حالی است که شبیه تک-دوره‌ای WEAP چون مقدار آوردهای آتی را در نظر نمی‌گیرد با محافظه‌کاری بیشتری آب را از آبگیر رها نموده و بنابراین با ظرفیت کمتری اهداف آبگیر را تامین می‌کند. بنابراین شبیه تک- دوره‌ای WEAP از منظر تامین آب و اهداف بهره‌برداری از آبگیر با قابلیت کمتری در مقایسه با شبیه بهینه‌سازی چند- دوره ای، در شرایط مساوی از منظر آوردها و قیود مساله، عمل نموده است.

شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که بهره‌برداری با استفاده از شبیه سازی چند- دوره‌ای امکان تامین بهتر نیازهای آبی را در مقایسه با یک شبیه تک- دوره‌ای، مانند WEAP، فراهم می‌کند. علت آن نیز لحاظ اثرات بهره‌برداری از آبگیر در دوره کنونی بر مقدار ذخیره آبگیر و رهاسازی از آبگیر در دوره‌های بعدی می‌باشد. با توجه به اینکه در شبیه چند- دوره‌ای، شبیه از میزان آورد تا انتهای شهریور پیش‌آگهی دارد، ذخیره آب در آبگیر را به گونه‌ای تنظیم می‌نماید که اهداف مختلف بهره‌برداری از آبگیر به صورت بهینه تا حد ممکن تامین گردد. این در حالی است که در یک شبیه تک- دوره‌ای، مانند WEAP، شبیه با توجه به شرایط ماه کنونی بهره‌برداری از آبگیر را به هدف تامین اهداف مختلف بهینه می‌نماید، بدون اینکه تاثیر شرایط انتهایی آبگیر در ماه کنونی بر بهره‌برداری در ماه‌های بعدی در نظر گرفته شود. بنابراین، شبیه WEAP، به منظور تامین کارمایه، سعی در حفظ و ذخیره آب در آبگیر می‌نماید و بدین ترتیب تامین نیاز دشت‌عباس در شبیه WEAP در مقایسه با شبیه چند-دوره‌ای، خوب صورت نگرفته است. بنابراین، همان طور که انتظار می‌رفت نحوه‌ی تامین آب در شبیه چند- دوره‌ای بهتر از یک شبیه تک- دوره‌ای صورت گرفته است و این موضوع در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۵- تامین نیاز آبی کشاورزی دشت‌عباس برای شبیه WEAP و شبیه چند- دوره‌ای



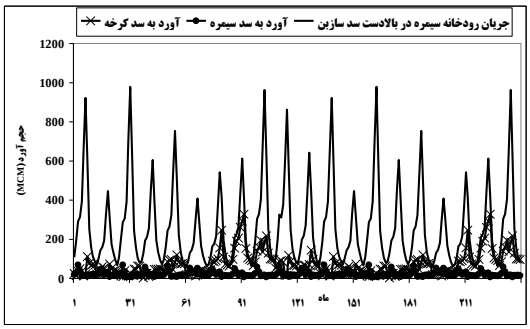
شکل ۶- مقایسه‌ی تولید کارمایه‌ی برق‌آبی به وسیله‌ی سد کرخه برای شبیه WEAP و شبیه چند- دوره‌ای

نتایج و بحث در زمینه کاربرد شبیه بهینه‌سازی در تحلیل سامانه آبی کرخه

در ادامه، ارزیابی تاثیر هماهنگ‌سازی بهره‌برداری توامان از آبگیر سدهای کرخه، سیمره و سازبن در مراحل مختلف ساخت و بهره‌برداری این سدها صورت گرفته و نتایج آن ارائه می‌گردند. در این ارزیابی تاثیر به‌روزرسانی و عدم به‌روزرسانی منحنی فرمان آبگیرها در مراحل مختلف

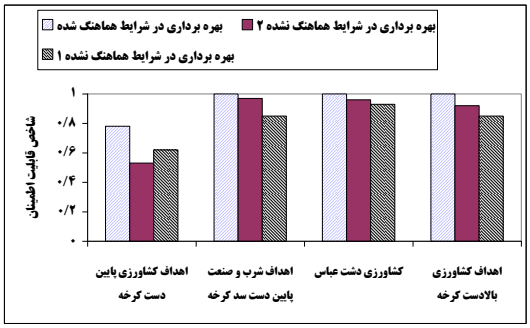
بهره‌برداری از آبگیرها، بر تامین نیازهای آبی در یک دوره‌ی ۲۰ ساله نیز ارزیابی می‌گردد. به طور معمول قوانین بهره‌برداری از آبگیر سد با توجه به اهداف مختلف بهره‌برداری مربوطه و حداکثر لحاظ اثرات برداشت بالادست در کاهش آب ورودی به آبگیر، در حالت منفک صورت می‌گیرد. منحنی فرمان به بهره‌بردار کمک می‌کند که از آبگیر سد در جهت تامین اهداف بهره‌برداری استفاده کند. منحنی فرمان در قالب حجم و یا ارتفاع آب آبگیر در هر ماه بیان می‌شود. بدین ترتیب، بهره‌بردار در هر ماه با رهاسازی آب از آبگیر و حفظ حجم و یا ارتفاع آب آبگیر در موقعیت مشخص شده به‌وسیله‌ی منحنی فرمان از عملکرد مناسب سد مطمئن می‌گردد. ساخت سدهای در بالادست و پایین‌دست یک طرح، ساختار سامانه آبی را تغییر داده و به همین علت، وضعیت بهینه‌ی بهره‌برداری در شرایط جدید الزاما با شرایط قبل از ساخت و بهره‌برداری یکسان نخواهد بود. در این قسمت، میزان تاثیر لحاظ این هماهنگ‌سازی و به روزرسانی در بهره‌برداری از سیستم آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه بررسی می‌گردد.

در شکل ۷، گروه زمانی آوردها برای بخش‌های مختلف سامانه‌ی آبی حوضه آبخیز کرخه در شرایط ساخت و بهره‌برداری سدهای کرخه، سیمره، سازبن و طرح‌های آبیاری گلوم‌بحری، چمچمال و تپه‌یزدان نشان می‌دهد. گروه زمانی مذکور، آمار مشاهداتی آورد در سامانه‌ی آبی کرخه برای سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۰ می‌باشد که شامل سال‌های مختلف کم‌آب، معمولی و پرآب است. بنابراین، امکان ارزیابی عملکرد سامانه‌ی آبی کرخه در یک افق بلند مدت ۲۰ ساله که شرایط مختلفی از نظر کم‌آبی رخ می‌دهد، فراهم می‌گردد. طرح‌های آبیاری نام برده شده تحت عنوان نیاز آبی بالادست کرخه در شبیه سازی لحاظ گردیده و در طرح واره سامانه‌ی کرخه نشان داده شده است.

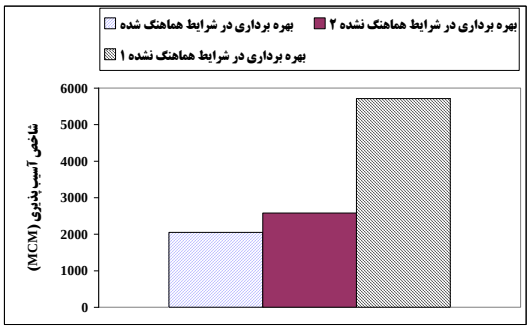


شکل ۷- آوردهای ۲۰ ساله در سیستم آبی حوضه آبریز کرخه

منحنی فرمان برای سدها در هر یک از تحلیل‌ها، میانگین بلندمدت حجم ذخیره در ماه‌های مختلف سال، در نظر گرفته شده و در شبیه‌ها از آن استفاده می‌شود. بنابراین، تمامی منحنی‌های فرمان از یک تحلیل بلند مدت به وسیله رویکرد بهینه‌سازی حاصل می‌شوند. اما تفاوت آنها در میزان هماهنگی عملکرد توامان آبگیر سدها در سامانه‌ی آبی کرخه می‌باشد. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که از دید تامین نیازهای آبی، به‌ویژه از منظر شاخص‌های بلندمدت که خلاصه‌کننده‌ی عدم‌قطعیت بهره‌برداری (نسبت تعداد دفعاتی که تقاضا تامین شده به کل بازه‌های افق برنامه‌ریزی) نیز می‌باشند، در سامانه‌ی آبی کرخه، چنان‌چه منحنی‌های فرمان به‌هنگام نشوند، قابلیت اطمینان تامین نیازهای آبی پایین‌دست کرخه ۵۳٪ و نیازهای بالادست کرخه ۸۵٪ می‌باشد(شکل ۸). شکل مزبور نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان تامین نیازهای آبی در پایین‌دست کرخه، وقتی هماهنگ‌سازی در بهره‌برداری از سدها صورت پذیرد، ۳۰٪ افزایش یافته و ۸۰٪ می‌شود، بقیه نیازها نیز به‌طور کامل تامین می‌گردند.



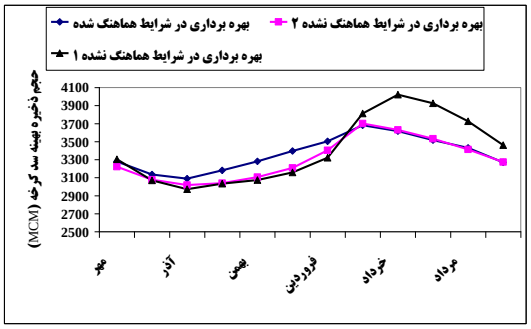
شکل ۸- شاخص قابلیت اطمینان بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه



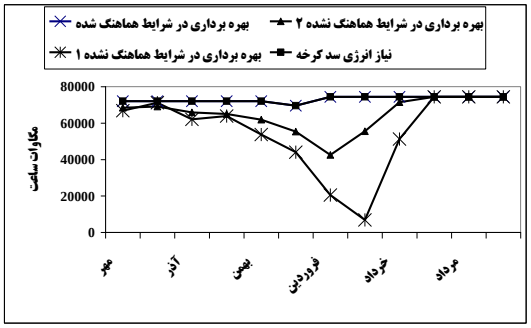
شکل ۹- شاخص آسیب‌پذیری بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی حوضه ی آبخیز کرخه در شرایط مختلف هماهنگ‌شده و هماهنگ نشده

شکل ۹ نشان می‌دهد که بزرگی شکست‌ها(شاخص آسیب‌پذیری) در تامین نیازهای آبی، وقتی بدون هماهنگ‌سازی و به‌روزرسانی منحنی‌های فرمان بهره‌برداری صورت پذیرد، ۲/۵ برابر بزرگی شکست‌ها در حالت هماهنگ شده، در یک تحلیل بلند مدت سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه می‌باشد. بنابراین، ملاحظه می‌گردد تا چه حد موضوع هماهنگ‌سازی بهره‌برداری توامان از سامانه‌ی آبی و به‌روزرسانی منحنی‌های فرمان سدها، می‌تواند بر تامین نیازهای آبی و عملکرد سامانه‌ی آبی تاثیرگذار باشد.

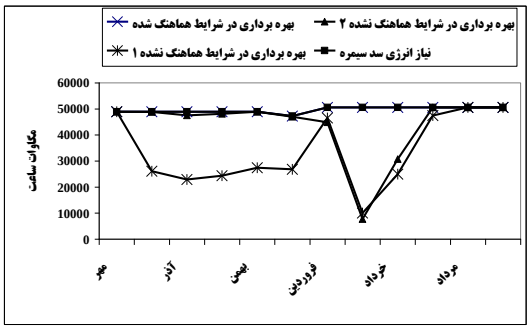
با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۲، ملاحظه می‌گردد که نتایج تحلیل نوع هماهنگ نشده ۲ بین نتایج تحلیل هماهنگ نشده ۱ و هماهنگ شده را دارد. این نکته مبین این موضوع است که با افزایش درجه‌ی هماهنگی بهره‌برداری و به روزرسانی منحنی‌های فرمان، عملکرد سامانه‌ی آبی بهتر و به مقدار بهینه نزدیک‌تر می‌شود. منتخب منحنی‌های فرمان بهینه سدها در هر یک از تحلیل‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در شرایط هماهنگ نشده، بهره‌برداری از آبگیر سد کرخه بدون لحاظ تاثیر بهره‌برداری از آبگیرهای بالادست صورت گرفته و جریان ورودی رود را به صورت تنظیم نشده در نظر می‌گیرد. بنابراین، منحنی فرمان آن با توجه به تغییرات فصلی دامنه تغییر زیادی دارد(شکل ۱۰ نمودارهای هماهنگ نشده‌ی ۱ و ۲). این در حالی است که در شرایط هماهنگ‌شده بهره‌برداری از سد کرخه، با توجه به جریان تنظیم شده بر حسب نیازهای پایین‌دست آن وارد سد شده و ذخیره‌ی آب در آبگیر سد نیز دستخوش تغییرات کمتری قرار می‌گیرد(شکل ۱۰ نمودار هماهنگ شده). شایان ذکر است برای به دست آوردن منحنی‌های فرمان آبگیر در سامانه‌ی آبی، بهره‌برداری بلندمدت از آنها را در شرایط تک آبگیری، دو آبگیری و سه آبگیری، بدون مقید نمودن حجم آخر ماه آبگیرها به یک مقدار پیش‌فرض بهینه گردیده و میانگین آن برای هر ماه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شیوه‌ی محاسبه منحنی فرمان، یعنی میانگین ۲۰ ساله‌ی حجم ذخیره آبگیر در هر ماه، با توجه به لحاظ شرایط مختلف آبشناسی، این مزیت را دارد که محافظه‌کارانه و یا خوش‌بینانه نیست، زیرا که فقط با توجه به کم‌آبی و یا پرآبی به دست نیامده است، بلکه هر دو مورد را در نظر گرفته است.



شکل ۱۰- منحنی فرمان بهره‌برداری از سد کرخه در شرایط مختلف هماهنگ‌شده و هماهنگ نشده



شکل ۱۱- تولید کارمایه‌ی سد کرخه در شرایط مختلف هماهنگ‌شده و هماهنگ نشده



شکل ۱۲- تولید کارمایه‌ی سد سیمره در شرایط مختلف هماهنگ‌شده و هماهنگ نشده

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهند که از منظر تولید کارمایه نیز شبیهی که هماهنگ‌سازی بهره‌برداری و به‌روزرسانی منحنی‌های فرمان را در شرایط جدید سامانه‌ی آبی در نظر می‌گیرد(تحلیل هماهنگ‌شده)، به مراتب عملکرد بهتر و مطمئن‌تری را از نظر تولید کارمایه، به‌ویژه در یک افق بلند مدت، خواهد داشت. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که هماهنگ‌سازی بهره‌برداری و به‌روزرسانی قواعد بهره‌برداری از آبگیرها می‌تواند تا ۲ برابر تامین نیازها و تولید کارمایه را در حوضه‌ی آبخیز در مقایسه با حالتی که این به روزرسانی صورت نگیرد، افزایش دهد. پیامد دیگر این تحلیل آن است که عدم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری و به روزرسانی قواعد بهره‌برداری از آبگیر سدها در مراحل مختلف توسعه‌ی حوضه‌ی آبخیز بیش از نیمی(تا ۶۰٪ طبق شکل ۹) از توان‌های بهره‌برداری بهینه از سامانه‌ی آبی را غیرقابل استفاده می‌نماید.

جمع‌بندی

در تحقیق حاضر به این پرسش مهم پاسخ داده شد که عدم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی در مراحل مختلف توسعه‌ی حوضه‌ی آبخیز تا چه حد می‌تواند بر استفاده از توان‌های سامانه‌ی آبی برای تامین نیازها، به‌ویژه در یک افق بلند مدت، تاثیرگذار باشد. برای این منظور، یک شبیه بهینه‌سازی بلند مدت چند- دوره‌ای ساخته شد که بتواند تاثیر بهره‌برداری کنونی از مخازن را بر ذخیره و رهاسازی آب در دوره‌های بعدی و تامین نیازها در نظر گیرد. به منظور صحت‌سنجی، عملکرد این شبیه با شبیه WEAP برای سامانه‌ی آبی سد کرخه و پایین‌دست آن مقایسه گردید و مشخص شد که شبیه چند- دوره‌ای بهتر پاسخگوی نیازهای آبی پایین‌دست سد کرخه می‌باشد. این شبیه در سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه در شرایط توسعه پس از ساختن سد کرخه تا سد سازبن بکار گرفته شد. تحلیل بلند مدت سامانه‌ی موردنظر برای یک دوره‌ی ۲۰ ساله نشان می‌دهد که عدم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری توامان از سامانه‌ی آبگیرها و عدم به روزرسانی قواعد بهره‌برداری از آنها در شرایط مورد بررسی، ۶۰٪ از توان‌های سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز را برای پاسخگویی به نیازهای آبی بدون استفاده می‌گذارد. علاوه بر آن، ۵۰٪ قابلیت اطمینان بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه از دید تامین نیازهای آبی بر اثر عدم هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سه آبگیر کرخه، سیمره و سازبن کاهش می‌یابد.

با توجه به این که در حوضه‌ی آبخیز کرخه سدها و طرح‌های زیادی در آینده ساخته خواهد شد، عدم توجه به موضوع هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از این سامانه در مراحل مختلف توسعه می‌تواند اثرات منفی معنی‌داری بر کارایی تخصیص آب در حوضه، با توجه به پیچیدگی اندرکنش‌ها داشته باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد از این شبیه برای بررسی تاثیر ساخته شدن بقیه‌ی سدها(۳۵ سد دیگر) بر عملکرد سامانه‌ی حوضه آبخیز کرخه استفاده شود. علاوه بر آن، پرسش‌های مهم دیگری نیز در بهره‌برداری از سامانه‌ی آبی حوضه‌ی آبخیز کرخه قابل طرح می‌باشد:

- حوضه‌ی آبخیز کرخه، با توجه به تمام طرح‌هایی که در آن ساخته خواهند شد و طرح‌های انتقال آب، حداکثر توانایی تأمین چه میزان آب را برای متقاضیان خواهد داشت؟

- در شرایط مختلف توسعه‌ی حوضه‌ی آبخیز کرخه، زمان رسیدن به این حد بالا در تامین آب چه وقت خواهد بود؟ بهبود بازده‌ها در حوضه‌ی آبخیز تا چه میزان در به تعویق افتادن این زمان موثر می‌باشد؟

پاسخ به پرسش‌های مذکور نیز قابل بررسی با کاربرد شبیه ساخته شده در این تحقیق می‌باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد این موضوع‌های مهم مدیریت منابع آب نیز با کاربرد این شبیه بررسی گردند.

قدردانی و تشکر

مولفین از حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس، در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

۱- بانک طرح‌های توسعه منابع آب، ۱۳۸۸. شرکت مدیریت منابع آب ایران. دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.

۲- مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۸۴. مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم (تعادل بخشی بین منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز) حوضه آبریز کرخه. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور آب کشاورزی و منابع طبیعی.

3- Karamouz M, Akhbari M and Moridi A, 2010. Resolving Disputes over Reservoir-River Operation: A Case Study. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000292.

4- Kerachian R and Karamouz M, 2006. A Stochastic conflict Resolution Model for water quality management in reservoir-river systems. Advances in Water Resources.doi:10.1016/j.advwatres.2006.07.005.

5- Krol, M and Bronstert, A, 2007. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. Environmental Modelling & Software. 22: 259-268.

6- Labadie JW, 2004. Optimal Operation of Multi-Reservoir Systems: State-of-the-Art Review. ASCE Journal of Water Resources Planning & Management. Vol. 130. No. 2.

7- Letcher RA, Croke, BFW, Jakeman, AJ and Merritt, WS, 2006. An Integrated Modeling Toolbox for water resources assessment and management in highland catchments: Model description. Agricultural Systems. 89: 106-131.

8- Loucks DP and van beek E, 2005. Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications. 1st edn. UNESCO.

9- Perera, BJC, James B. and Kularathna MDU, 2005. Computer software tool REALM for sustainable water allocation and management. Journal of Environmental Management. Elsevier. Vol. 77.

10- Rajasekaram V and Nandalal KDW, 2005. Decision Support System for Reservoir Water Management Conflict Resolution. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 131. No. 6.

11- Rosenthal RE, 2006. GAMS – A User's Guide. GAMS Development Corporation. Washington DC. USA.

12- Stockholm Environment Institute, 2005. WEAP21: Water Evaluation and Planning System. 11 Arlington Street. Boston. MA 02116. USA.