Assessment of Changes in Water Demand on Reservoir Operation

Karamouz, M., Prof., Amir Kabir University
Torabi Palat - Kale, S., Jamab Consulting Engineers

Abstract

Lack of clear policies for control of population as well as urban, agricultural and industrial developments have caused not only tremendous need for water but also created soil and water contamination which in turn limits the effective use of water resources. Dynamic programming techniques for development of reservoir operating policies have been used whith the objective of maximizing the allocation of resources to different demands, satisfying the physical, enviornmental, operational and other constraints.

In this study, the uncertainty associated with not only water supply and inflow to the reservoir, but also short and long term changes in water demands are considered. The demand uncertainties are due to natural, social - economic factors and parameters estimation in assessing water needs. Attempts have been made to incorporate these factors that could be quanified at present time with application to Zayandeh - rud river - reservoir system. The results showed the significant value of the techniques applied in increasing the reliability of meeting the current demand. For incorporating the proposed algorithm to meet the future demands, elaborate study of development strategies with social and economic implications is needed. Nevertheless, long term planning based on our current understanding of the future demands using algorithm has also been effective.

اثر تغییرات نیاز روی عملکرد مدل‌های بهره‌برداری از مخازن

محمدکارآموز* صدیقه ترابی پلت کله**

چکیده

نیازهای آبی را می‌توان به چهار دسته نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و حقابه‌های محیط زیست تقسیم‌بندی نمود. عدم اعمال سیاست‌های کنترل بر رشد روزافزون جمعیت و گسترش شهرهای بزرگ، توسعه کشاورزی و واحدهای صنعتی، علاوه بر افزایش نیازهای آبی، آلودگی بسیاری از منابع آب و خاک و محدودیت‌های بهره‌برداری از این منابع را به دنبال داشته است.

تکنیک‌های برنامه‌ریزی پویا که برای تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن توسعه داده شده‌اند از پیشرفته‌ترین ابزارهای موجود برای تدوین سیاست‌های بهینه در برخورد با محدودیت‌های بهره‌برداری از منابع هستند. در این مطالعات علاوه بر در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از آب قابل تأمین حاصل از جریانات ورودی به سد، به اثرات عدم قطعیت‌های کوتاه مدت و بلند مدت نیاز در به‌کار بردن مدل‌های برنامه‌ریزی پویا توجه شده است. عدم قطعیت‌های ناشی از تغییرات نیاز عبارتنداز: عدم قطعیت‌های طبیعی، اقلیمی، اقتصادی - اجتماعی و عدم قطعیت‌های ناشی از پارامترهای به‌کار برده شده در مدل.

در این مقاله نتایج حاصل از در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های کوتاه مدت با استفاده از یک مطالعه موردی برای سیستم رودخانه - مخزن زاینده‌رود تشریح گردیده است. در این بررسی‌ها سعی شده به منظور بالا بردن اطمینان‌پذیری تأمین نیاز شرب، عدم قطعیت در نیاز نیز همانند عدم قطعیت در جریانات ورودی به سد در مدل‌های بهره‌برداری از مخزن در نظر گرفته شود.

نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات نیاز در سال‌های مختلف قابل توجه بوده و در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها (تغییرات در نیاز) می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای اطمینان‌پذیری سیستم در تأمین آب شرب را در شرایط فعلی (که نیازها واقعی می‌باشند) افزایش دهد. تغییر در اطمینان‌پذیری تأمین نیاز آب شرب در شرایط آتی، به ساختار مدل به‌کار برده شده، طول داده‌های مناسب برای کالیبره کردن مدل و عدم قطعیت در متغیرهای اقتصادی - اجتماعی بستگی دارد.

مقدمه

رشد جمعیت و گسترش شهرهای بزرگ، بحران منطقه‌ای آب را در بسیاری از مناطق به دنبال داشته است. چنین توسعه بی‌رویه‌ای علاوه بر افزایش نیازهای شهری، رشد چشمگیر نیازهای صنعتی و کشاورزی را نیز در پی داشته است. به جز سدهای برق آبی که تولید برق، یکی از اهداف اصلی احداث

* - استاد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر

** - مهندسین مشاور جاماب

آنها است، در اکثر سدهای مخزنی تأمین نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی هدف اصلی بهره‌برداری از منابع آب می‌باشد. علاوه بر این، حقابه‌های زیست محیطی نیز که برای حفظ شرایط طبیعی رودخانهٔ پایین‌دست سدها تعیین می‌گردند بایستی مورد توجه قرار گیرند.

بررسی عوامل مؤثر در تغییرات نیاز نشان می‌دهد که نیازهای شرب و صنعت در شرایط عادی و در حالتی که سیاست‌های خاص دولت برای ایجاد یک قطب سیاسی و یا اقتصادی - اجتماعی در یک منطقه مطرح نباشند، تغییرات قابل توجهی نداشته و تابعی از رشد جمعیت و بالارفتن سرانه مصرف و نیز طرح‌های توسعه صنعتی می‌باشند که این تغییرات در درازمدت (سالانه) مطرح می‌باشد. نیازهای کشاورزی نسبت به نیازهای شرب و صنعت، تغییرات قابل ملاحظه و کوتاه مدت‌تری (در مقیاس ماهانه) دارند و تابعی از پارامترهای اقلیمی، وضعیت بازار و سیاست‌گزاری‌های دولت می‌باشند. حقابه‌های زیست‌محیطی نیز در حالتی که تغییرات شدید در شرایط کمی و کیفی رودخانه ایجاد نگردد، تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته و تا حدود زیادی به میزان اعمال سیاست‌های کنترل بر کیفیت پساب‌های مختلف و جریانات برگشتی بستگی دارد.

در این مقاله، ابتدا مهم‌ترین عوامل ایجاد تغییر (عدم قطعیت‌ها) در نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی و نیز حقابه‌های زیست محیطی مورد بحث قرار گرفته و سپس ساختار مدل بهره‌برداری که بر مبنای برنامه‌ریزی پویای قطعی تدوین شده و برای در نظر گرفتن تغییرات نیاز کشاورزی توسعه داده شده، معرفی و همچنین چگونگی در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

به منظور بررسی کارایی سیاست‌هایی که با توجه به تغییرات نیاز تدوین می‌گردند، مطالعه موردی بر سیستم رودخانه - مخزن زاینده‌رود انجام گرفته است. برای این منظور عملکرد سد زاینده‌رود در یک دوره ۱۶ساله بر اساس این سیاست‌ها شبیه‌سازی شده است. نتایج این بررسی‌ها نشانگر افزایش اطمینان‌پذیری تأمین نیازهای شرب با در نظر گرفتن تغییرات نیازهای کشاورزی در شرایط فعلی بوده در حالی که به علت وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های نیاز آتی، این اطمینان‌پذیری با در نظر گرفتن نیاز متغیر در شرایط آتی بهبود قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد.

تغییرات نیاز

بهره‌برداری از منابع آب و خصوصاً سدهای مخزنی عمدتاً متأثر از نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی و تأمین حقابه محیط زیست می‌باشد. به جز سدهایی که تأمین برق آبی، یکی از هدف‌های اصلی احداث آنها می‌باشد، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از اکثر سدهای مخزنی با هدف تأمین نیازهای آبی صورت می‌گیرد. این نیازها متغیر بوده و در هر منطقه دارای اولویت‌های خاصی می‌باشند. بنابراین یکی از مهم‌ترین ارکان در تدوین مدل‌های بهره‌برداری از سدها، بررسی تغییرات نیاز می‌باشد. عوامل مؤثر بر تغییرات نیازهای آبی در زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

تغییرات نیاز شرب

یکی از عوامل مهمی که نیازهای شرب را دچار تغییر می‌سازد، تغییرات جمعیت است که معمولاً با استفاده از الگوی خاص پیش‌بینی جمعیت هر منطقه، برآورد می‌گردد. تعداد انشعابات از دیگر مواردی است که باعث تغییر نیاز شرب در هر منطقه می‌شود. بدین معنی که با گسترش شهرنشینی و توسعه مناطق شهری، جمعیت یا به عبارتی واحدهایی که از شبکه آب شهری استفاده می‌کنند تغییر می‌نماید.

از دیگر مواردی که موجب تغییر نیازهای شرب می‌گردد تغییر قیمت آب می‌باشد. تجربیات خشکسالی‌ها نشان می‌دهد که اعمال سیاست افزایش تصاعدی قیمت آب، باعث کاهش مصرف آب می‌گردد و در شرایط عادی، قیمت پایین آب می‌تواند مصرف را افزایش دهد. رشد سرانه مصرف یا به عبارت دیگر الگوی مصرف آب نیز متأثر از پارامترهای مختلفی نظیر سطح فرهنگ عمومی و بهداشت منطقه می‌باشد که تغییر این پارامترها می‌تواند الگوی مصرف آب را دچار تغییر نماید.

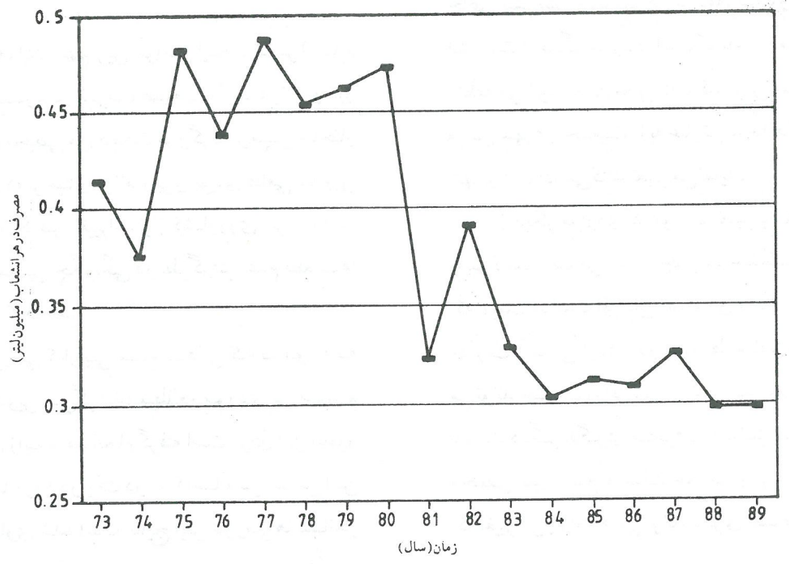
اجرای طرح‌های انتقال آب به شهرهای جدید و یا

حوزه‌های مجاور، باعث افزایش نیاز شرب در یک سیستم تأمین آب می‌گردد. علاوه بر این مواردکه توسط الگوهای مختلف قابل بررسی و پیش‌بینی هستند، تحولات خاص منطقه‌ای، نظیر ایجاد قطب‌های اقتصادی، سیاسی و یا اجتماعی می‌توانند نیازهای شرب را دستخوش تغییرات قابل توجهی نمایند. به طور مثال اجرای سیاست‌های خاص برای تبدیل یک ناحیه به یک منطقه استراتژیک می‌تواند روند مهاجرت به این مناطق را تحت تأثیر قرار داده و الگوهای رشد جمعیت را دستخوش تحول نماید. شکل ۱ تغییرات مصارف شرب را در استرالیا نشان می‌دهد. در این شکل تغییرات نیاز (مصرف) شرب در طی زمان‌های مختلف به ازای هر انشعاب تحت تأثیر بعضی از پارامترهای شرح داده شده در فوق نشان داده شده است. در بخش اول این شکل (تا سال ۱۹۸۱)، تأثیر عوامل مختلف بر نیاز قابل توجه نبوده است. در بخش دوم تغییرات قابل ملاحظه‌ای در نیاز شرب مشاهده می‌شودکه ناشی از بروز یک دوره خشکسالی است. پس از گذشت یک‌سال خشک، با تغییر سیاست‌های قیمت‌گذاری، نیاز شرب در منطقه مجدداً به حالت اولیه بازنگشته است. مشاهده این وضعیت بیان‌کننده تغییرات و اهمیت در نظرگرفتن این تغییرات در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از منابع آب می‌باشد.

یکی دیگر از دلایل عمده تغییرات نیاز شرب و به عبارت بهتر مصارف شرب، تغییرات فصلی نیاز به آب می‌باشد. تغییرات کیفی آب، فشار در شبکه و تأسیسات آبرسانی، جنس لوله‌ها و نحوه اجرای شبکه‌های آبرسانی، وجود یا عدم وجود سیستم جمع‌آوری فاضلاب و عرضه و تقاضای آب، تأثیرات عمده‌ای در تغییرات مصرف آب شرب دارند.

تغییرات نیاز صنعت

نیازهای بخش صنعت نیز با توجه به اهداف توسعه درازمدت مناطق مختلف قابل پیش‌بینی هستند. هرچند اتخاذ تصمیمات خاص در هر منطقه و یا حتی در سطح ملی می‌تواند تأثیر قابل توجهی در رشد ناگهانی نیازهای آبی این بخش داشته باشد. چنانچه این تحولات صورت نگیرد و به عبارت دیگر در سیاست‌گزاری‌های بخش صنعت ثبات ایجاد شود، نیازهای آبی این بخش دارای تغییرات غیر قابل پیش‌بینی نخواهند بود و بنابراین نیازی به در نظرگرفتن عدم قطعیت در برنامه‌ریزی برای تأمین این نیازها وجود نخواهد داشت.



شکل ۱- مصارف شرب سالانه در هر انشعاب از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۸۹ (نیوکاسل استرالیا) [۸].

تغییرات نیاز کشاورزی

نیازهای کشاورزی از عمده‌ترین عوامل تعیین‌کننده در بهره‌برداری بسیاری از سدهای مخزنی می‌باشند. بر خلاف نیازهای شرب و صنعت، نیازهای کشاورزی حتی بدون اعمال سیاست‌های خاص منطقه‌ای، دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای هستند و حتی بر پتانسیل تأمین نیازهای شرب و صنعت نیز تأثیر می‌گذارند. تغییر در شرایط اقتصادی - اجتماعی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تغییرات نیاز کشاورزی می‌باشند.

تغییر در الگوی کشت از مواردی است که باعث ایجاد تغییرات در نیاز آب کشاورزی می‌شود و به دلایل مختلف اتفاق می‌افتد. یکی از دلایل، تغییر ناگهانی قیمت محصولات خاصی (تغییر شاخص‌های اقتصادی منطقه) است که به علت ایجاد درآمد خالص بیشتر، موجب تشویق کشاورزان به کشت آن محصولات می‌شود، هرچند عوامل محیطی و شرایط خاک می‌تواند به عنوان یک عامل بازدارنده در انتخاب این محصول خاص مطرح شود. از دیگر مواردی‌که باعث تغییر الگوی کشت می‌گردد، منابع آب و خاک قابل دسترس می‌باشد. به طوری‌که ازدیاد منابع آب و یا محدودیت آن در سال‌های خاص می‌تواند موجب ترغیب کشاورزان درکشت نوع خاصی از محصولات باشد و یا تغییر قابلیت خاک در یک منطقه می‌تواند باعث افزایش یاکاهش سطح زیرکشت محصولاتی خاص شود.

تغییرات ناشی از سیاست‌گزاری‌های دولت نیز می‌تواند نیازهای کشاورزی را در سطح منطقه‌ای و یا حتی در سطح ملی دچار تحول نماید. به طور نمونه سیاست‌گزاری‌های دولت برای واردات محصولات مختلف و یا اجرای طرح‌هایی نظیر طرح محوری گندم، تغییراتی را در میزان سطوح زیرکشت محصولات مختلف در سطح ملی ایجاد خواهد نمود.

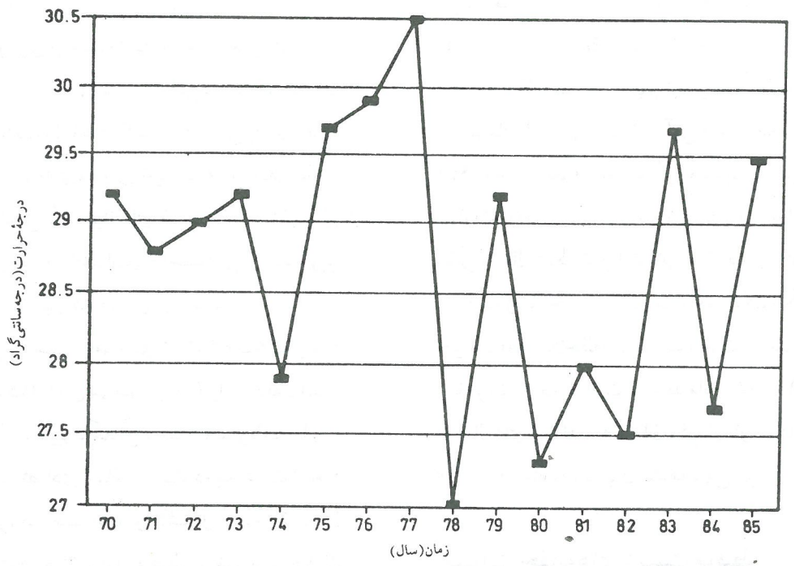
یکی دیگر از مواردی‌که سبب تغییر در نیاز آبی کشاورزی یک منطقه می‌گردد، تغییر زمان کاشت محصولات مختلف می‌باشد. امکان کشت بسیاری از محصولات، در یک دوره طولانی (گاهی تا چند ماه مانند گندم) وجود دارد. کشت یک محصول در زمان‌های مختلف سبب تغییر در طول دوره‌های رشد چهارگانه محصول شده و بنابراین میزان آب مورد نیاز گیاه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. روش‌های آبیاری مختلف نیز از طریق تغییر در راندمان آبیاری می‌توانند میزان آب مورد نیاز کشاورزی یک منطقه را دگرگون نمایند.

از دیگر عوامل مهم تغییر نیازهای کشاورزی، تغییر پارامترهای اقلیمی است. نیاز آبی گیاهان مختلف، یا به عبارت دیگر تبخیر و تعرق، تحت تأثیر مستقیم پارامترهایی نظیر درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد بوده و این پارامترها از سالی به سال دیگر تغییرات قابل ملاحظه‌ای دارند. بر این اساس نیاز کشاورزی حتی در صورت وجود یک الگوی کشت ثابت، تغییرات قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. به عنوان مثال در شکل ۲ تغییرات درجه حرارت متوسط ماه ژوئیه (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) در سال‌های مختلف به عنوان یکی از پارامترهای اقلیمی در طی ۱۶ سال در منطقه اصفهان مشاهده می‌شود.

تغییرات حقابه‌های زیست محیطی

علاوه بر موارد فوق‌الذکر، حقابه‌های زیست محیطی از مهم‌ترین مواردی هستندکه بایستی در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از سدها مورد توجه قرار گیرند. این حقابه‌ها بر اساس تحلیل شرایط زیست محیطی پایین‌دست سدها و برای حفظ شرایط اکولوژیکی رودخانه و سایر اکوسیستم‌های وابسته به آن تعیین می‌گردند. در مناطقی‌که به لحاظ اجرای طرح‌های توسعه به یک ثبات نسبی دست یافته‌اند، حقابه‌های زیست‌محیطی تغییرات قابل توجهی نداشته و می‌توان آنها را در فواصل زمانی طولانی تعیین نمود. در رودخانه‌هایی‌که پذیرنده پساب‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی هستند، تغییرات در روند رشد جمعیت شهرها، توسعه واحدهای صنعتی و یا سطح زیرکشت محصولات مختلف می‌تواند شرایط زیست محیطی و به دنبال آن، حقابه‌های زیست محیطی را دچار تغییر نماید، که لازم است در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از سدهای مخزنی مورد توجه قرار گیرند. به عبارت دیگر در برخی از رودخانه‌ها که شرایط مذکور بر آنها حاکم می‌باشد، نظیر رودخانه زاینده‌رود، عدم قطعیت‌های موجود در تخمین نیازهای شهری، صنعتی و کشاورزی به طور غیر مستقیم در تخمین حقابه‌های زیست محیطی نیز تأثیر خواهند گذاشت.

با عنایت به اهمیت در نظرگرفتن تغییرات نیاز، درکارایی



شکل ۲- تغییرات درجه حرارت متوسط ماه ژوئیه (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) در منطقه اصفهان (۱۹۸۵-۱۹۷۰ میلادی).

سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن، در ادامه این مقاله به ساختار مدل‌های بهره‌برداری که برای در نظرگرفتن تغییرات نیاز توسعه داده شده‌اند، پرداخته می‌شود و اجزای مختلف این مدل‌ها تشریح می‌گردد.

ساختار مدل‌های بهره‌برداری

مطالعات متعددی در مورد تدوین مدل‌های بهینه‌سازی برای بهره‌برداری از مخازن انجام گرفته که ساختار آنها بر استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی یا دینامیکی استوار بوده است. این مدل‌ها به صورت قطعی یا تصادفی، تدوین و برنامه‌ریزی می‌شوند. مدل‌هایی که بر اساس برنامه‌ریزی پویا[1] تدوین می‌شوند، به خصوص برای مواردی مناسب هستند که به تصمیم‌گیری‌های مرحله‌ای نیاز باشد. کاربردهای مختلف برنامه‌ریزی پویا در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب توسط یاکوویتز در سال ۱۹۸۲ تشریح شده است [۱۱].

ماهیت تصادفی و غیر قطعی جریان‌های ورودی به مخازن و نیازهای پایین‌دست سدها، لزوم استفاده از برنامه‌ریزی پویای احتمالی (تصادفی) را مشخص می‌نماید. مبدأ و منشأ برنامه‌ریزی پویای احتمالی[2] در حل مسائل کنترل، دارای سوابق علمی گسترده و جامعی است. اکثر روش‌های برنامه‌ریزی پویای احتمالی از اطلاعات آماری نظیر نیاز آبی ثابت برای تدوین فرایند تصادفی جریان‌های ورودی، استفاده می‌کنند و عدم قطعیت‌ها در پارامترهای ورودی و نیاز را مورد توجه قرار نمی‌دهند. مطالعاتی برای در نظرگرفتن ماهیت احتمالی جریانات ورودی به سد در برنامه‌ریزی پویا انجام گرفته و دو روش پیشنهاد شده است. روش اول بر اساس بررسی‌های کارآموز و هاک [۵] شامل روند تصادفی جریانات ساخته شده یا پیش‌بینی شده‌ای می‌باشد که به صورت ورودی در مدل بهینه‌سازی قطعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش دوم که توسط کارآموز و واسیلیادیس [۷] پیشنهاد شده، نیازمند تعیین احتمالات انتقالی حالت جریان ورودی است.

1- Dynamic Programming (DP)
2- Stochastic Dynamic Programming (SDP)

مدل بهره‌برداری قطعی[1] که توسط کارآموز و هاک [۵] بسط داده شده شامل تابع هدف به شکل زیر می‌باشد:

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{t=1}^{T} \text{loss } R_t$$

که در آن T افق زمانی مورد مطالعه و loss R_t هزینه به ازای خروجی R در زمان t می‌باشد. تابع هزینه به ازای خروجی‌های مختلف در هر زمان t در برنامه تعریف می‌گردد. تابع هدف فوق برای اصلاح خروجی و بهره‌برداری حداقل در خارج از محدوده مطلوب از خروجی‌ها استفاده می‌گردد.

معادله پیوستگی به عنوان یکی از محدودیت‌ها به صورت زیر در برنامه پویا استفاده می‌شود:

$$S_{t+1} - S_t + R_t = I_t \qquad t = 1,2,3,....T$$

که در آن R_t خروجی در فصل t، I_t ورودی به مخزن در فصل t و S_t و S_{t+1} حجم ذخیره به ترتیب در آغاز فصل t و t+1 می‌باشد. محدودیت‌های اضافی روی خروجی‌ها و ذخیره‌های حداقل و حداکثر در زمان t نیز در نظرگرفته شده و معادله برگشتی به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

$$f_{t+1}(S_{t+1}) = \text{Minimum } [\text{loss } R_t + f_t(S_t)] \qquad S_t \in \Omega_t$$

که در آن $f_t(S_t)$ مجموع حداقل هزینه‌های بهره‌برداری از آغاز فصل ۱ تا آغاز فصل t است، در صورتی که حجم ذخیره در آغاز فصل t در شرایط S_t باشد. Ω_t عبارت از مجموعه موقعیت حجم‌های ذخیره است که در آغاز فصل t برای S مورد انتظار است. پس از حل برنامه پویای فوق، برای به دست آوردن قوانین بهره‌برداری از خروجی‌ها و ذخیره‌های بهینه و همچنین با استفاده از ورودی‌ها، از یک رگرسیون چند متغیره استفاده می‌شود که در این مطالعه نیاز متغیر به عنوان یک متغیر به این معادله افزوده شد.

پس از سعی اول در اصلاح قوانین عملکرد و مخزن، این معادله به عنوان محدودیتی در خروجی‌ها به الگوریتم بهینه‌سازی طوری اعمال می‌گردد که تفاوت خروجی‌ها و نتایج حاصل از معادله فوق از درصد معینی تجاوز نکند. برنامه دینامیکی فوق شامل حل مسائل بهره‌برداری از مخازن به صورت قطعی است. در حالی که در عمل، پارامترهای جریان ورودی به مخزن و نیازهای پایین‌دست مخازن، پارامترهای غیرقطعی بوده که باعث تغییر کارایی سیستم از مقدار مورد انتظار و پیش‌بینی شده توسط برنامه‌ریزی پویای قطعی می‌شود.

به طور کلی دو روش برای وفق دادن طبیعت غیرقطعی جریان‌های ورودی در برنامه‌ریزی پویا وجود دارد. اولی نیازمند براورد احتمالات انتقال جریان ورودی است، در حالی که در روش دوم، جریان‌ها با استفاده از مدل‌های غیرقطعی، پیش‌بینی شده و سپس ورودی‌های پیش‌بینی شده به عنوان ورودی در مدل‌های قطعی برنامه‌ریزی پویا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پارامتر عدم قطعیت به وسیله براس و همکاران [۳] با ارائه پیش‌بینی جریان ورودی واقعی در بهره‌برداری مخازن مورد توجه قرار گرفت. آنها از یک الگوریتم باکنترل حلقه بسته به صورت بهینه‌سازی غیر قطعی در زمان واقعی برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن در خلال T دوره زمانی آتی، استفاده کردند. استدینجر و همکاران [۹] یک مدل غیرقطعی پویا را که شامل بهترین پیش‌بینی در زمان جاری جهت جریان ورودی برای تدوین یک سیاست خروجی با هدف محاسبه سود مورد انتظار ناشی از بهره‌برداری‌های آینده بوده را توسعه دادند.

کارآموز [۴] استفاده از تئوری تصمیم‌گیری بیزی[2] را در بهره‌برداری از مخزن پیشنهاد کرد. این تئوری باعث انعطاف‌پذیری مدل شده و بدین ترتیب با استفاده از اطلاعات جدید قادر خواهد بود تا با استفاده از درون‌یابی احتمالات، احتمالات جدیدتری را معرفی نماید. کارآموز با استفاده از این تئوری، اصلاح احتمالات انتقال جریان را در برنامه‌ریزی پویای غیر قطعی کلاسیک برای در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از پیش‌بینی جریان پیشنهاد نمود.

کارآموز و واسیلیادیس [۷] یک برنامه‌ریزی دینامیکی غیرقطعی بیزی[3] را توسعه دادند که شامل جریان ورودی، ذخیره و پیش‌بینی جریان ورودی در زمان بعدی به صورت متغیرهای وضعیت بوده است. جریان ورودی در زمان فعلی با یک تأخیر زمانی غیر پیوسته فرایند مارکو توصیف شده و BDT برای

1- DPR
2- Bayesian Decision Theory (BDT)
3- BSDP

تشکیل اطلاعات جدید با استفاده از به روز آوری پیوسته احتمالات قبلی، جهت ساختن قوانین بهینه بهره‌برداری به کار می‌رود.

سپس واسیلیادیس وکارآموز [۱۰] مدل DDSP را که نسخه توسعه یافته برنامه‌ریزی دینامیکی غیر قطعی (BSDP) است، به منظور در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های نیاز در بهره‌برداری از مخازن، بسط دادند. در DDSP نه تنها احتمالات انتقالی جریان‌های ورودی تاریخی یا پیش‌بینی شده بلکه احتمالات انتقالی بعدی برای یک ماه مشخص نیز پیوسته به روز در می‌آیند. همچنین در DDSP نیازهای غیر قطعی برای هر ماه، به صورت یک متغیر وضعیت اضافی در نظرگرفته می‌شود. در DDSP، متغیر تصمیم‌گیری (خروجی) بستگی به وضعیت سیستم دارد که به وسیله چهار متغیر زیر تعریف می‌شود: D_M نیاز در ماه M، S_M ذخیره مخزن در آغاز ماه M که حداکثر آن معادل حجم کل مخزن (CAP) در نظرگرفته شده است، I_M جریان ورودی به مخزن در ماه M و H_{M+1} پیش‌بینی برای جریان ماه بعد (ماه M + 1) می‌باشد.

در برنامه‌ریزی غیر قطعی تخصیص نیاز، معادله برگشتی در سال yدر ماه M به شکل زیر می‌باشد:

$$f_{Y,M}(D_M, S_M, I_M, H_{M+1}) = \text{Min}\{ED_{M+1}\times | CR_M + CS_{M+2} + (EI_{M+1} | H_{M+1,J_M}\times \{EH_{M+2} | I_{M+1}[f^*_{y,M+1}(D_{M+1}, S_{M+1}, I_{M+1}, H_{M+2})]\})]\}$$

که در آن yشاخص سال در هر تکرار، CR_M هزینه مربوط به خروجی در خلال ماه M، CS_{M+2} هزینه مربوط به ذخیره انتهایی مورد انتظار در ماه M+1 و E امید ریاضی می‌باشد.

عدم قطعیت‌ها

به علت طبیعت غیرقطعی اتفاقات و رخدادها، به خصوص در سری‌های زمانی و پارامترهای هیدرولوژیکی، کارایی سیستم‌های منابع آب در آینده فقط به وسیله تخمین کارایی احتمالی مورد انتظار می‌تواند تشریح گردد. عدم قطعیت‌ها در مدل‌های بهره‌برداری به طور مشخصی می‌تواند اعتمادپذیری مورد انتظار سیستم را دستخوش تغییر نماید. عدم قطعیت‌های جریان ورودی، ناشی از عدم قطعیت‌های طبیعی و عدم قطعیت‌های پارامترهای به‌کار برده شده در مدل می‌باشد و عدم قطعیت‌های ناشی از نیاز عبارت از عدم قطعیت‌های طبیعی، اقتصادی - اجتماعی و عدم قطعیت‌های ناشی از پارامترهای مدل مورد استفاده می‌باشد.

در مدل‌های موجود، در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های طبیعی جریان سطحی (همان‌گونه که در بخش مدل‌های بهره‌برداری تشریح گردید) متداول است ولی از عدم قطعیت‌های ناشی از پارامترهای مدل جریان ورودی و نیاز چشم‌پوشی می‌گردد. نتایج حاصل از مطالعات ان‌جی[1] و کاک‌زرا[2] [۸] نشان می‌دهد که چشم‌پوشی از عدم قطعیت‌های نیاز می‌تواند به طور مشخص همانند عدم قطعیت‌های پارامترهای مدل جریان ورودی به سد، اطمینان‌پذیری مورد انتظار سیستم را دستخوش تغییر نماید. این تغییر بسته به میزان عدم قطعیت ناشی از نیاز، ساختار مدل به‌کار برده شده، طول داده‌های مناسب برای کالیبره کردن مدل و عدم قطعیت در متغیرهای اقتصادی - اجتماعی در آینده بستگی دارد. به علاوه این تغییر باکاهش تغییرپذیری جریان ورودی افزایش می‌یابد.

برای مقابله با عدم قطعیت‌های ناشی از جریان ورودی و تغییرات نیاز می‌توان دو وضعیت عمده را در نظرگرفت، تغییرات و عدم قطعیت‌ها در درازمدت و تغییرات در کوتاه مدت.

برخورد با عدم قطعیت‌ها و تغییرات در درازمدت

● جریانات ورودی

به منظور در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از ورودی‌ها، دو دسته‌بندی عمده بر اساس طبیعت عدم قطعیت‌ها انجام می‌شود که شامل عدم قطعیت‌های طبیعی و عدم قطعیت‌های ناشی از پارامتر مدل به‌کاربرده شده جهت پیش‌بینی جریان ورودی می‌باشد. معمولاً برای پیش‌بینی جریان سطحی از یک مدل تصادفی یا بردار ورودی Z به صورت زیر استفاده می‌گردد (در نظرگرفتن عدم قطعیت طبیعی جریان سطحی):

$$Z_t = \begin{bmatrix} Q_i \\ C_i \end{bmatrix}$$

1- Wang Sing NG 2- Kuczera, G.

که در آن Q_i و C_i به ترتیب جریان سطحی و متغیرهای اقلیمی در زمان t می‌باشند. Z_t دارای تابع pdf (تابع چگالی احتمال) به صورت زیر می‌باشد:

$$f(Z) = f_z(Z_t \mid \theta, Z_{t-1})$$

که در آن θ پارامتر برداری ورودی به مدل و Z_{t-1} بردار ورودی در زمان t-1 می‌باشد. برای در نظرگرفتن عدم قطعیت ناشی از پارامتر مدل به‌کار برده شده برای جریان، از تابع چگالی (dpf) این پارامترها به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$f(\theta) = \varepsilon(\theta \mid Q_h, C_h)$$

که در آن Q_h مشاهدات تاریخی جریان ورودی و C_h متغیرهای اقلیمی تاریخی می‌باشد.

نیاز

برای مقابله با عدم قطعیت‌های نیاز نیز می‌توان تمهیدات ریاضی را به صورت زیر در نظر گرفت. به منظور در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های نیاز در مدل‌های بهره‌برداری از مخازن سدها، همان‌گونه که در جریات سطحی از مدل‌های تصادفی استفاده می‌گردد، می‌توان از مدل‌های پیش‌بینی استفاده نمود. برای پیش‌بینی نیاز D_t از تابع چگالی احتمال (pdf) به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$f(D) = f_D(D_t \mid \beta, E_t, C_t)$$

که در آن β بردار پارامترهای مدل نیاز و E_t بردار متغیرهای اقتصادی - اجتماعی برای زمان t است. یک روش عمومی برای تشریح مدل نیاز با استفاده از مدل رگرسیون به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$D_t = h(\beta, E_t, C_t) + \varepsilon_{d,t}$$

که در آن $\varepsilon_{d,t}$ یک متغیر تصادفی با میانگین صفر است. برای در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های پارامتر مدل به‌کار برده شده نیز از تابع چگالی احتمال پارامترهای مدل به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$f(\beta) = \varepsilon(\beta \mid D_h, E_h, C_h)$$

که در آن D_h، E_h و C_h به ترتیب داده‌های مشاهده شده برای نیاز، متغیرهای اقتصادی - اجتماعی و متغیرهای اقلیمی هستند. در مطالعات ان‌جی و کاک زرا [۸] برای در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های نیاز، از دو مدل ایستا و غیرایستا برای پیش‌بینی نیاز استفاده شد که در زیر نتایج استفاده از این مدل‌ها تشریح می‌گردد:

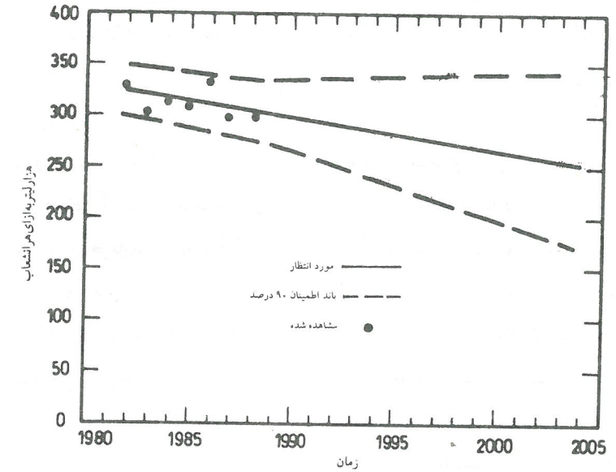
مدل ایستای نیاز

در مدل ایستا فرض شده که نیاز در طول زمان پایدار بوده اما ماهیت آن غیرقطعی است و دارای توزیع نرمال با میانگین D_p (نیاز سالانه مورد انتظار) و ضریب تغییرات $\frac{\sigma D}{D_p}$ می‌باشد. نتایج حاصل از استفاده از این مدل نشان می‌دهد که:

- با افزایش ضریب تغییرات نیاز، تأثیر عدم قطعیت نیاز به طور مشخص افزایش می‌یابد. بنابراین اعتمادپذیری مورد انتظار سیستم دستخوش تغییر می‌گردد.
- با افزایش نسبت ظرفیت ذخیره به متوسط جریان سالانه، تأثیر عدم قطعیت‌ها افزایش می‌یابد.
- اگر نسبت نیاز متوسط به جریان متوسط سالانه بالا باشد، حساسیت اعتمادپذیری مورد انتظار سیستم به تغییرات این نسبت افزایش می‌یابد. در این حالت، سیستم با مقادیر مشابه ضریب تغییرات نیاز، اغتشاش بیشتری را در طی شبیه‌سازی نشان می‌دهد.
- در سیستم‌هایی که تغییرات جریان ورودی در آنها کمتر است. برای حفظ اعتمادپذیری بالا در بهره‌برداری، لازم است نسبت نیاز متوسط به جریان متوسط سالانه در محدوده بالاتری قرار داشته باشد.
- تأثیر ذخیره اولیه در کمبودهای آب مورد انتظار به میزان ظرفیت ذخیره بستگی دارد.
- برای سیستم با ظرفیت ذخیره بزرگ، وقتی که شبیه‌سازی به حالت یکنواخت می‌رسد، تأثیر عدم قطعیت در پارامترهای مدل جریان و نیاز، بیشتر است.

مدل غیر ایستای نیاز

در مدل غیر ایستا درواقع از یک روند برون‌یابی استفاده می‌گردد. بدین شرح که با استفاده از اطلاعات موجود سعی می‌شود اطلاعات آتی پیش‌بینی شود. به عنوان مثال شکل ۳ یک مدل غیر ایستای نیاز را که از روش برون‌یابی استفاده



شکل ۳- نمونه‌ای از یک مدل غیرایستا برای نیازکه از روش برون‌یابی استفاده می‌شود [۸].

می‌نماید نشان می‌دهد. نتایج حاصل از استفاده از این مدل به شرح زیر است:

- عدم قطعیت در نیاز آتی به دلیل برون‌یابی افزایش می‌یابد.
- به دلیل عدم قطعیت در نیاز پیش‌بینی شده، احتمال بروز کمبود آب به عدم قطعیت‌های پارامترهای مدل نیاز حساس‌تر از عدم قطعیت‌های پارامتر جریان است.
- عدم قطعیت نیاز در سیستم‌هایی که تغییرپذیری جریان ورودی در آنها کمتر است، تأثیر بیشتری دارد.

برخورد با عدم قطعیت‌ها و تغییرات در کوتاه مدت

در بخش‌های قبلی، اثر تغییرات نیاز در سطح سالانه (تغییرات درازمدت) تشریح گردید. مطالعات انجام شده توسط ترابی [۱] نشان می‌دهد که نیازهای آبی علاوه بر تغییرات سالانه، دارای تغییرات کوتاه مدت‌تر (در مقیاس ماهانه) نیز می‌باشد که به نیازهای آبی کشاورزی مربوط می‌شود. بدین مفهوم که علاوه بر تغییرات ماهانه نیاز در طول سال، نیاز یک ماه در سال‌های مختلف نیز متغیر می‌باشد. بدین ترتیب این تغییرات می‌تواند پتانسیل تأمین سایر نیازهای آبی از جمله نیاز شرب را در هر منطقه دستخوش تغییر سازد.

برای بررسی این تغییرات و اثر آن روی مدل‌های بهره‌برداری، مطالعه موردی روی سیستم رودخانه - مخزن زاینده‌رود انجام گرفت که در زیر به بررسی این مطالعات پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که در این مطالعات در تخصیص منابع آب، کمبودها به نسبت نیازها تقسیم گردید، در حالی که در عمل به علت کمتر بودن نیاز شرب نسبت به سایر نیازها، اولویت تخصیص به نیاز شرب داده می‌شود.

مطالعه موردی: تدوین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از سد زاینده‌رود

سیستم رودخانه - مخزن زاینده‌رود به عنوان یک مطالعه موردی از کاربرد مدل بهره‌برداری که ساختار آن در بخش مدل‌های بهره‌برداری تشریح گردید، مورد توجه قرار گرفته است. نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی و حقابه زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات نیاز کشاورزی در یک دوره ۱۶ساله تحلیل شده است که در ادامه جزییات فرضیات مورد نظر در این ارتباط شرح داده می‌شود.

سیستم تأمین آب اصفهان بزرگ، آبرسانی به شهرهای اصفهان، نجف‌آباد، فلاورجان، شاهین‌شهر و چندین شهر دیگر در حومه اصفهان و حاشیه زاینده‌رود را شامل می‌شود.

قسمت اعظم آب مصرفی شهر اصفهان و سایر شهرهای حومه رودخانه زاینده‌رود، در حال حاضر توسط تصفیه‌خانه باباشیخ‌علی و نیزبخشی از نیاز این مناطق توسط ۷ چاه فلمن که در حاشیه رودخانه حفر شده‌اند، تأمین می‌شود. درصد کمی از نیازهای شهر اصفهان خصوصاً چند واحد صنعتی از چاه‌های متفرقه‌ای که در سطح شهر حفر شده‌اند، تأمین می‌گردد. سری زمانی آب مصرفی شهرهای تحت پوشش شبکه آبرسانی اصفهان بزرگ در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، کل آب مصرفی در سال ۱۳۷۴، ۱۸۶ میلیون مترمکعب بوده که در این بررسی‌ها به عنوان نیاز در شرایط فعلی مد نظر قرار گرفته است [۲].

برای نیازهای شرب در شرایط توسعه، بر اساس پیش‌بینی جمعیت برای سال ۱۳۹۰، ۳۰۰میلیون مترمکعب برای مصرف آب شهرهای تحت پوشش شبکه آبرسانی اصفهان در نظر گرفته شده است. همچنین در گزینه نیاز که برای شرایط توسعه مورد استفاده قرار گرفته، طرح‌های انتقال آب شرب برای شهرهای شهرکرد، یزد و کاشان به ترتیب به میزان ۰/۵، ۲/۵ و ۱مترمکعب در ثانیه منظور شده است. نیاز صنایع در شرایط فعلی ۱۱۰ میلیون مترمکعب و در شرایط توسعه ۲۵۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است.

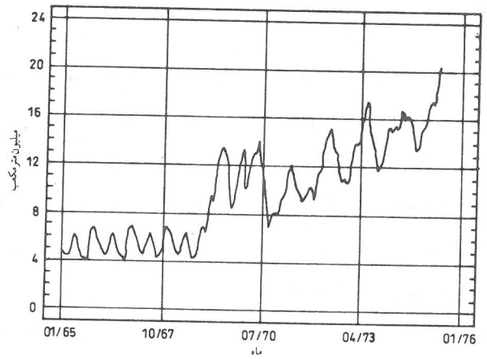
نیازهای کشاورزی در دشت‌های حاشیه زاینده‌رود، عمده‌ترین مصرف آب را شامل می‌شوند. این اراضی شامل شبکه‌های مدرن نکوآباد و آبشار به ترتیب در قبل و بعد از شهر اصفهان و شبکه‌های سنتی آشتیان، اصفهان و رودشتین می‌باشند. برای نیازهای فعلی علاوه بر نیازهای شرب و صنعت، از نیاز آبی الگوهای کشت در شبکه‌ها و اراضی سنتی موجود استفاده شده و در شرایط توسعه نیازهای آبی شرب و صنعت با در نظرگرفتن طرحهای آتی به این مقادیر اضافه شده است. گزینه نیاز کشاورزی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته، بر اساس ۱۳۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی و با در نظرگرفتن تغییرات نیاز کشاورزی در اثر پارامترهای اقلیمی در یک دوره ۱۶ ساله، تدوین گردیده است. شکل ۵ تغییرات سالانه نیاز خالص کشاورزی را در این دوره نشان می‌دهد [۲].

نتایج اعمال سیاست‌های بهینه در تأمین نیاز شرب

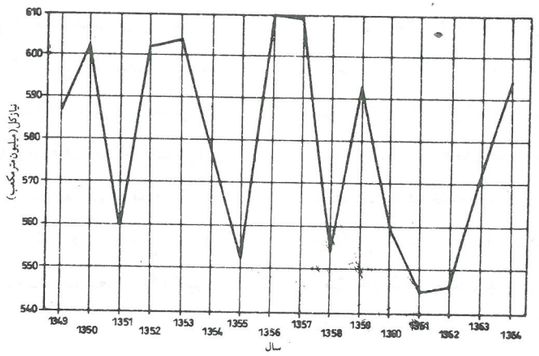
در بررسی عملکرد سیاست‌های بهینه که با در نظرگرفتن تغییرات نیاز کشاورزی تدوین شده‌اند و به منظور اعمال شرایط بحرانی، ورودی‌ها به سد زاینده‌رود در شرایط کم آبی با در نظر گرفتن جریان انتقالی از طریق تونل‌های کوهرنگ مورد استفاده قرار گرفته است. سیاست‌های بهینه بهره‌برداری با در نظرگرفتن نیاز ثابت و متغیر کشاورزی و با در نظرگرفتن نیازهای شرب و صنعت در شرایط فعلی و در سال ۱۳۹۰ (شرایط توسعه)، تدوین شده‌اند. برای این منظور سری تاریخی نیاز کشاورزی در یک دوره ۱۶ ساله بر اساس پارامترهای اقلیمی محاسبه شده و سیاست‌های بهینه با و بدون در نظرگرفتن تغییرات نیاز کشاورزی تدوین شده‌اند.

در شکل ۶ مقایسه توزیع آب تخصیص داده شده به منظور شرب با نیاز در شرایط فعلی، با استفاده از سیاست‌های بهینه تدوین شده بر اساس نیازهای ثابت و متغیر کشاورزی نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود، آب تخصیص داده شده به منظور شرب بر اساس سیاست‌های بهینه نیاز متغیر، نسبت به سیاست‌های بهینه تدوین شده بر اساس نیاز ثابت، در ۵ماه از سال بهبود یافته است. با در نظرگرفتن نیازهای متغیر، مدل قادر خواهد بود که تأمین نیاز شرب را در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب به اندازه ۲/۶، ۱۲/۴، ۱/۲ و ۱/۳ درصد بهبود بخشد. بهبود توزیع آب تخصیص داده شده به منظور شرب همان طور که در شکل دیده می‌شود در ماه‌های اوج مصرف قابل توجه می‌باشد.

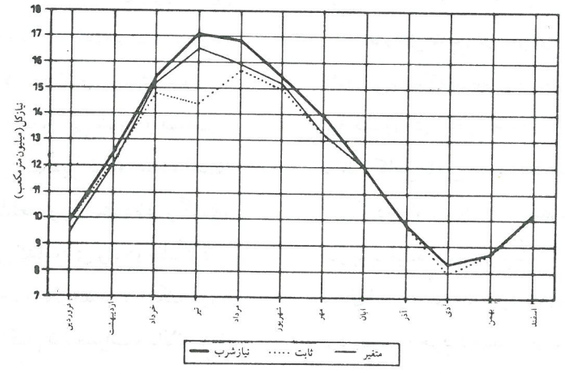
بررسی نتایج در نظرگرفتن نیاز متغیر برای شرایط توسعه نشان می‌دهد که با اعمال سیاست‌های بهینه که بر اساس تغییرات نیاز کشاورزی تدوین شده‌اند، نیاز شرب در ۵ ماه از سال تقریباً به طور کامل تأمین شده است. در صورتی که در گزینه نیاز ثابت تنها در دو ماه از سال آب تخصیص داده شده به مصرف شرب با نیاز برابر بوده است. همچنین با در نظرگرفتن نیازهای متغیر، مدل قادر خواهد بود که تأمین نیاز شرب را در ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر به ترتیب به اندازه ۲۷/۳، ۱۴/۵ و ۱۸/۲ درصد بهبود بخشد.



شکل ۴ - سری زمانی آب مصرفی شرب شهر اصفهان و شهرهای حومه (مجموع چاه‌های فلمن و تصفیه خانه) [۲].



شکل ۵ - تغییرات سالانه نیاز کشاورزی در اراضی حاشیه رودخانه زاینده رود [۲].



شکل ۶- مقایسه توزیع ماهانه آب تخصیص داده شده به شرب در شرایط فعلی با و بدون در نظر گرفتن تغییرات نیاز کشاورزی.

نتیجه گیری

در این مطالعات به بررسی نیازها و عدم قطعیت‌های ناشی از نیازهای آبی پرداخته شد و اثر عدم قطعیت‌های درازمدت و کوتاه مدت نیازهای آبی روی مدل‌های بهره‌برداری از مخازن سدها تشریح گردید. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که چشم‌پوشی از عدم قطعیت‌های ناشی از نیاز، همانند عدم قطعیت‌های ناشی از جریان سطحی به طور قابل ملاحظه‌ای کارایی سیستم در زمان واقعی برای تأمین نیاز را نسبت به کارایی مورد انتظار سیستم تغییر می‌دهد. این اختلاف به مقدار عدم قطعیت در نیاز، ساختار مدل، طول داده‌های مناسب برای کالیبره کردن و عدم قطعیت در پارامترهای اقتصادی - اجتماعی در آینده بستگی دارد.

همچنین علاوه بر اثرات درازمدت تغییرات نیاز، اثر تغییرات کوتاه مدت نیازهای آبی کشاورزی در مدل‌های بهره‌برداری مد نظر قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده در این مطالعات نشان می‌دهد که در نظر گرفتن تغییرات ماهانه نیاز کشاورزی در شرایط فعلی در ماه‌های اوج مصرف توانسته است اعتمادپذیری سیستم را در تأمین نیاز شرب تا ۱۲/۴ درصد بهبود بخشد. در شرایط توسعه، هر چند به دلیل برون‌یابی و عدم قطعیت‌های ناشی از پیش‌بینی، نیازها با نیازهای واقعی منطبق نیستند، اما در نظر گرفتن تغییرات نیاز در مدل‌های بهره‌برداری توانسته است تعداد ماه‌هایی از سال راکه تأمین کامل نیاز در آنها از اعتمادپذیری بالایی برخوردار است، افزایش دهد.

منابع و مراجع

۱- ترابی پلت کله، ص.، ۱۳۷۵، اثر تغییرات نیاز روی مدل‌های بهره‌برداری از مخازن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲- مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۵، مدل ریاضی بهره‌برداری از سد زاینده‌رود - فصل دوم: بهره‌برداری.

3- BARAS, R. L., BUCHANAN, R, B., and CURRY, K. C. (1983). " *Real Time Adaptive Closed Loop Control of Reservoirs with the High Aswan Dam as a Case Study* ", Water Resources Research, Vol. 19, No. 1, PP. 33-52.

4- KARAMOUZ, M. (1990). " *Bayesian Decision Theory and Fuzzy Sets Theory in Systems Operation* ", Critical Water Issues and Computer Application, Proceedings 17th Annual Water Resources Conference, ASCE, June.

5- KARMOUZ, M., and HOUCK, M. H. (1987). " *Comparison of Stochastic and Deterministic Dynamic Programming for Reservoir Operating Rule Generation* ", Water Resources Bull., 23, PP. 1-9.

6- KARAMOUZ, M., MOOSAVI, S. J., and SABZIVAND, SH. (1997). " *Operation of Zayandeh - Rud River - Reservoir System, Using Uncertain and Variable Demand* ", Proceedings of the 8th International Conference on Rainwater Catechment Systems, Tehran, Iran.

7- KARAMOUZ, M., and VASILIADIS, H. V. (1992). " *Bayesian Stochastic Optimization of Reservoir Operation Using Uncertain Forecasts* ", Water Resources Research, Vol. 28, No. 5, PP. 1221 - 1232.

8- NG, W. S., and KUCZERA, G. (1993). " *Incorporating Demand Uncertainty in Water Supply Headworks Simulation*", Water Resources Research, Vol. 29, No. 2, PP. 469 - 477.

9- STEDINGER, J. R., SULE, B. F., and LOUCKS, D. P. (1984). " *Stochastic Dynamic Programming Models for Reservoir Operation Optimization* ", Water Resources Research, Vol. 20, No. 11, PP. 1499 - 1505.

10- VASILIADIS, H. V., and KARAMOUZ, M. (1994). " *Demand - Driven Operation of Reservoir Using Uncertainty - Based Optimal Operting Policies* ", Water Resources Planning and Management, Vol. 120, No.1.

11- YAKOWITZ, S. (1982). " *Dynamic Programming Application in Water Resources* ", Water Resources Research, Vol. 18, No. 4, PP. 637 - 696.