نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۰۸۲-۱۰۷۲

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1072-1082

بهره‌برداری بهینه مخزن در شرایط آلودگی ناگهانی با رویکرد مصالحه کمی- کیفی

سهیلا بیگی[1*] - امید بزرگ‌حداد[2] - مجید خیاط‌خلقی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۱۸

چکیده

در سال‌های اخیر، محدودیت منابع آبی و رشد روزافزون جمعیت، سبب توجه به مسائل کمی بهره‌برداری از منابع آب موجود شده است. از سوی دیگر، آلودگی‌های دائمی و ناگهانی آبها به‌عنوان تهدید زیستی همواره مورد توجه بوده است به گونه‌ای که با وقوع آلودگی زیستی در سامانه‌های آبی یک بحران ملی می‌تواند تولید می‌شود. اما از آنجا که در سامانه مخزن اهداف و مطلوبیت‌های گوناگون و متضادی در کنار هم‌دیگر وجود دارند؛ اتخاذ تصمیم مناسب با در نظرگیری کلیه جوانب، کاری مشکل و پیچیده می‌باشد. به همین منظور در چنین شرایطی برای ایجاد سازش و مصالحه بین اهداف و مطلوبیت‌های متعارض، استفاده از روش رفع اختلاف می‌تواند راهکار مناسبی باشد. جهت انجام مطالعه، تخصیص‌های شرب و کشاورزی سد کرج که یکی از راهبردی‌ترین سدهای کشور از نظر تهدیدات کیفی می‌باشد، درنظر گرفته شده است. در این تحقیق، ابتدا مدل رفع اختلاف نش به‌عنوان مدل رفع اختلاف بکار برده شده است. با توجه به نتایج حاصل، مدل نش در زمان کاهش مطلوبیت‌های کیفی، مطلوبیت‌های کمی را افزایش می‌دهد و در نتیجه، آب با کیفیت نامناسب را به مصرف‌کننده تخصیص می‌دهد. بنابراین در این تحقیق مدل رفع اختلاف جدیدی توسعه داده شده است تا تخصیص‌های کمی با توجه به مطلوبیت‌های کیفی اصلاح شوند. بدین صورت که در شرایط بحران کیفی، تخصیص آب با کیفیت نامناسب، کمتر و با افزایش مطلوبیت کیفی افزایش تخصیص وجود خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تهدیدات کیفی در مخازن، تخصیص بهینه، رفع اختلاف

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز به آب سالم آشامیدنی، بررسی کیفیت آب مصرفی و همچنین کنترل فرآیندهای کیفی آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از طرفی ورود آلودگی‌های ناگهانی به پیکره‌های آبی امری اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر وجود تصمیم‌گیرندگان، تصمیم‌پذیرندگان و به تبع آن مطلوبیت‌های متعدد، اغلب منجر به بروز اختلاف نظرها و تنش‌های قابل توجه در سطح مدیریت و تصمیم‌گیری سامانه‌های منابع آب و محیط‌زیست می‌شود. لذا برنامه‌ریزی بهینه کمی و کیفی سامانه‌های منابع آب و استفاده از مدل‌های رفع اختلاف برای تامین نتایج مطلوب مورد نظر تصمیم‌گیران و تاثیرپذیران بسیار ضروری می‌باشد.

در نظر گرفتن جنبه‌های کیفی در بهره‌برداری از مخازن در دهه ۷۰ میلادی مورد توجه قرار گرفت. همزمان با رشد مدل‌های شبیه‌سازی کیفی مخزن، لاکس و همکاران (۱۰) طراحی و بهره-برداری از مخازن برای دست‌یابی به غلظت‌های مناسبی از اکسیژن محلول[4] (DO) و اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی[5] (BOD) در پایین دست را مورد مطالعه قرار دادند. گلدا و همکاران (۵) مدل دوبعدی CE-QUAL-W2 را برای مخزن سد کانونس ویل[6] ایجاد نمودند. مدل مذکور با شبیه‌سازی پیوسته رژیم دمایی مخزن و کنترل آن با لایه‌بندی حرارتی مشاهده شده در یک دوره اقلیمی متفاوت انجام گرفت. کارآموز و همکاران (۳) یک مدل بهره برداری کمی-کیفی را برای بهره برداری از مخازن دارای آب شور پیشنهاد کردند. نتایج این مدل نشان دهنده کارآیی مدل‌های بهره‌برداری کمی-کیفی در بهبود کیفیت آب خروجی از مخازن می‌باشد. ساموئل و همکاران (۱۴) مدل سرریز رودخانه[7] را ایجاد نمودند. این مدل ابزاری مبتنی بر سامانه

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب کارشناس ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
(*-نویسنده مسئول: Email:Beygi@ut.ac.ir)

4- Dissolved Oxygen
5- Biological Oxygen Demand
6- Cannonsville
7- River Spill

اطلاعات جغرافیایی[1] (GIS) بود، که با استفاده از داده‌های ورودی جریان، زمان انتقال و غلظت ماده سمی ورودی، غلظت آن ماده در رودخانه‌های تأمین آب را مشخص می‌نمود. رستم افشار و همکاران (۱) یک مدل کمی- کیفی برای سامانه رودخانه- مخزن سد کرخه توسط نرم‌افزار CE-QUAL-W2 ایجاد نمودند. هدف اصلی از انجام این طرح، تهیهٔ برنامهٔ پاسخ به ورودی تصادفی آلاینده‌ها به پیکرهٔ آبی و هشدار به مدیران بهره‌برداری در مورد کیفیت آب آشامیدنی بوده است. مارسه و همکاران (۱۲) در یک طرح تحقیقاتی به بررسی انتخاب محل مخزن، کنترل حوضه آبریز سیل‌خیز با پوشش جنگلی و طراحی سازه‌ها و تاسیسات وابسته پرداختند که بر اهمیت حفظ کیفیت آب و راهکارهای مدیریت تغییرات نیز تاکید می‌کرد.

تئوری بازی‌ها، یک تکنیک ریاضی به منظور تجزیه و تحلیل مسائلی است که در برگیرنده اختلاف‌نظر بین طرف‌های درگیر می‌باشد. به عبارتی‌دیگر تئوری بازی‌ها، علمی است که به مطالعه تصمیم‌گیری افراد در شرایط تعامل با دیگران می‌پردازد. با توجه به اهمیت موضوع، توسعه و کاربرد مدل‌های رفع اختلاف اخیراً مورد توجه محققان مختلف به ویژه در شاخه‌های علوم ریاضی و اقتصاد قرار گرفته است. لند و پالمر (۱۱) به تشریح اختلاف‌های موجود در سامانه‌های منابع آب پرداختند. ایشان استفاده از دیدگاه‌های رفع اختلاف و گفتگو بین ذی‌نفعان در مدل‌ها را توصیه نمودند. سالازار و همکاران (۱۳) با استفاده از نظریه بازی‌ها به رفع اختلاف در بهره‌برداری از آب زیرزمینی در مکزیک پرداختند. در این مساله، منافع اقتصادی حاصل از افزایش محصولات کشاورزی نیازمند افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌ها است. از طرفی افزایش محصول نیز نیازمند استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی است که نتیجه آن افزایش بار آلودگی شیمیایی و در نتیجه اثرات نامطلوب زیست‌محیطی قابل ملاحظه می‌باشد. کراچیان و کارآموز (۷) مدل‌هایی را برای بهینه‌سازی قطعی و تصادفی قوانین بهره‌برداری از مخازن جهت بهبود کیفیت آب ذخیره شده و خروجی، با تمرکز بر روی فرآیند طبیعی لایه بندی کیفی توسعه داده و با استفاده از تئوری چانه زنی نش[2]، حل اختلاف تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان سامانه را مورد ارزیابی قرار دادند. شیرنگی و همکاران (۱۵)، از مدل چانه‌زنی یانگ[3] جهت بهره‌برداری بهینه از مخزن با توجه به خصوصیات کیفی آن استفاده کردند.

از آنجا که هیچ کشوری نمی‌تواند ادعا کند که به طور کامل نسبت به تهدیدات زیستی، مصون و آسیب ناپذیر است، کنترل بحران‌های ناشی از این حوادث اهمیت به سزایی دارد. به طور کلی تهدیدات توسط عوامل زیستی، غافلگیرانه بوده و معمولاً به صورت نامحسوس انجام می‌شود. با توجه به امکان بروز ناگهانی بحران کیفی در مخازن آب، تاکنون تحقیقی با در نظرگرفتن اهداف متفاوت و مطلوبیت‌های متعدد ذی‌نفعان درگیر در زمان بروز بحران کیفی صورت نگرفته است؛ به همین دلیل، در این تحقیق سعی می‌شود یک مدل جدید تخصیص بهینه کمی- کیفی با تمرکز بر مسأله رفع اختلاف بین ذی‌نفعان و با توجه به مطلوبیت تصمیم‌گیران و تاثیرپذیران ارائه شود که گامی درجهت توسعه مدل‌های قبل و بهبود کارآیی آنها محسوب می‌شود.

پارامتر کیفی شاخص

وجود میکروارگانیسم‌ها در آب آشامیدنی نه تنها از نقطه نظر بهداشتی و ایجاد بیماری اهمیت دارند، بلکه در بعضی از موارد آنها با تولید سموم مختلف در آب و یا با ایجاد مزاحمت‌هایی در سامانه‌های آبرسانی و همچنین با ایجاد طعم و بو در آب سبب مشکلاتی می‌گردند. تجزیه و تحلیل آب برای شناسایی تمامی عوامل بیماری‌زا وقت‌گیر و پر هزینه است. بنابراین عموماً کیفیت آب با استفاده از ارگانیسم‌های شاخص ارزیابی می‌شود. یک ارگارنیسم شاخص، ارگانیسمی است که حضورش بیانگر آن است که آلودگی وجود دارد و علاوه بر آن تا حدودی ماهیت و میزان آلاینده‌ها را نیز روشن می‌سازد. لذا ارگانیسم‌های شاخص کاملاً در محیط غالب هستند. اشرشیا کلیفرم[4] (کلیفرم روده‌ای) از باکتری‌های شاخص برای تعیین آلودگی آب به فاضلاب‌های انسانی است. از دلایل اصلی مدل‌سازی کلیفرم، تعیین غلظت مدفوعی و آلودگی بالقوه پاتوژن است. بطور معمول کلیفرم فقط براساس نرخ نابودی و براساس یک سینتیک ساده مرتبهٔ اول مدل‌سازی می‌شود، کول و ولز (۲۰۰۸):

$$\frac{dc}{dt} = -Kc \qquad (۱)$$

که در آن c= غلظت کلیفرم (MPN)، t= مدت زمانی که کلیفرم در معرض عامل نابود کننده قرار می‌گیرد (روز یا ساعت) و K= نرخ نابودی کلیفرم (1/day یا 1/hr) می‌باشد. ولی استفاده از یک رابطه سادهٔ نابودی مانند معادله (۱)، تنها تقریبی از فرآیند واقعی نابودی است. چنین روشی به عنوان تابعی از زمان تا حدی نسبت dc به dt را بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند.

به همین دلیل زیسون و همکاران (۱۶) این معادله را برای شبیه‌سازی همگام‌تر با واقعیت به صورت زیر اصلاح نمودند:

$$S_{col} = \underbrace{-k_{col}\,\theta^{(T-20)}\Phi_{col}}_{\text{سینتیک ساده مرتبه اول}} \underbrace{-\omega_{col}\frac{\partial \Phi_{col}}{\partial z}}_{\text{ته نشینی}} \qquad (۲)$$

1- Geographic Information System
2- Nash
3- Young
4- Eshershia Coliform

که در آن θ = فاکتور دما (از دو برابر کردن نرخ واکنش برای هر ده درجه سانتیگراد افزایش دما بدست می‌آید)، T = دمای آب (^oC)، k_{col} = نرخ نابودی باکتری در ۲۰ درجه سانتیگراد ($1/Sec$)، Φ_{col} = غلظت کلیفرم، S_{col} = غلظت کلیفرم بر زمان و ω_{col} = سرعت ته‌نشینی (m/s) می‌باشند. از طرفی انتخاب مدل یکی از گام‌های اصلی در هر برنامه مدل‌سازی است. مدل‌های مختلف قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های مختلفی دارند. در این تحقیق مدل CE-QUAL-W2 به عنوان مدل شبیه‌سازی کیفی کلیفرم استفاده شده است.

مدل‌های رفع اختلاف

در یک فرآیند تصمیم‌گیری، چنانچه تعداد تصمیم‌گیرندگان بیش از یک نفر باشد، تصمیم‌گیری با مشکلاتی همراه خواهد بود. چرا که افراد مختلف اهداف، دیدگاه‌ها و اولویت‌های متفاوتی دارند و تصمیم‌ها باید بگونه‌ای باشند که کلیه این اختلاف نظرات در آن لحاظ شده باشد. روشی که بتواند بین ذی‌نفعان و تصمیم‌گیران سازش و مصالحه ایجاد کند به مدل رفع اختلاف معروف است. نش (۹) مدلی را مورد بررسی قرار داد که به مدل متقارن نش معروف است و برای همه تصمیم‌گیران اهمیت یکسانی در نظر می‌گیرد. این درحالی است که در مسائل واقعی بازیکن‌ها دارای قدرت‌ها و اهمیت‌های نسبی مختلفی هستند. برای رفع این مشکل، مدل اصلاح شده نش که به مدل غیر متقارن معروف است، توسط هارسنی و سلتن (۶) پیشنهاد گردید. تابع g در این حالت به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

(۳)
$$g(s) = [u_1(s) - d_1]^{w_1} [u_2(s) - d_2]^{w_2} \dots [u_n(s) - d_n]^{w_n}$$

در رابطه فوق، n = تعداد تصمیم گیرندگان، u_i = مقدار مطلوبیت iام، d_i = نقطه عدم توافقiام ، s = مجموعه کلیه انتخاب‌های ممکن و w_i = نشان‌دهنده قدرت نسبی تصمیم‌گیرنده iام است و با افزایش آن، سهم تخصیص یافته به هر تصمیم‌گیرنده افزایش می‌یابد. می‌توان ثابت کرد که این مدل نیز تمامی خواص اولیه نش را داراست و در این مدل هم جواب واحد برای مسأله وجود دارد و این جواب از حل مساله بهینه‌سازی زیر به‌دست می‌آید:

$$Maximize \qquad g = \prod_{i=1}^{n} (u_i - d_i)^{w_i} \tag{۴}$$

$$u_i \geq d_i \quad i = 1, \dots, n \tag{۵}$$

$$u = (u_1, \cdots, u_n) \in U \tag{۶}$$

مطالعه موردی

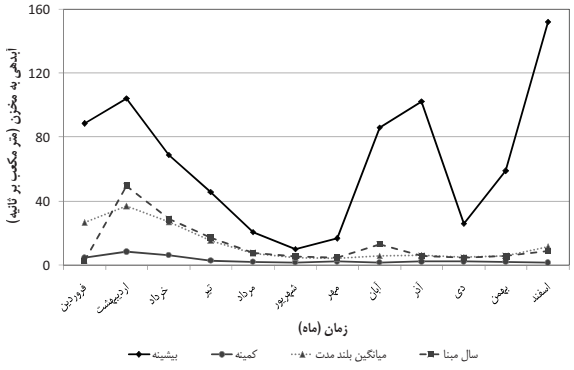
در این تحقیق از اطلاعات مربوط به سد کرج (امیر کبیر) که وظیفه تامین بخشی از آب شرب شهر بزرگی چون تهران و بخشی از نیازهای کشاورزی استان البرز را عهده داراست، استفاده شده است. از طرفی با توجه به دسترسی داده‌های موجود اعم از داده‌های آب‌سنجی و هواشناسی در سال ۱۳۸۵و نیز تطابق داده‌های مورد نظر با آمار متوسط بلندمدت، در این تحقیق دوره مدل‌سازی در سال ۱۳۸۵ به‌صورت سال کامل ۳۶۵ روزه از اول فروردین تا ۲۹ اسفند شبیه-سازی شده است. شروع بازه زمانی دوره مدل‌سازی در ابتدای هر ماه شمسی و گام شبیه‌سازی به صورت روزانه در نظر گرفته شده است. شکل (۱) مقادیر آبدهی، بارش، تخصیص شرب و کشاورزی سال مبنا را در مقایسه با دوره آماری و شکل ۲ مقادیر آبدهی، بارش، تخصیص شرب و کشاورزی را در چهار ماه شاخص سال مبنا نمایش می‌دهد.

طبق گزارشات، سد کرج وظیفه تأمین آب شرب سالانه به میزان ۳۴۰ میلیون مترمکب و تنظیم آب برای مصارف آبیاری و کشاورزی اراضی حومه کرج به میزان ۱۳۰ میلیون مترمکعب در سال را عهده‌دار می‌باشد. حجم تخصیص آب شرب و کشاورزی پایین‌دست به‌صورت ماهیانه و با توجه به حجم ذخیره مخزن و نیاز آبی تعیین می‌شود. بنابراین بیشینه داده‌های ماهانه تخصیص داده شده به مصارف شرب و کشاورزی به عنوان بیشینه نیاز (مطلوبیت) استفاده شده است. جدول ۱، بیشینه مفروض نیاز شرب و کشاورزی سد کرج را نمایش می‌دهد.

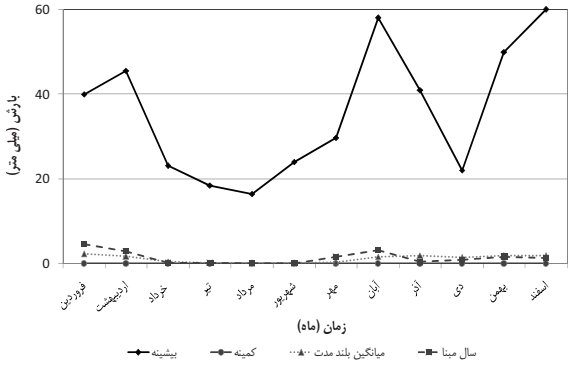
حدود مجاز کلیفرم قبل از ورود به مرحله تصفیه‌خانه شرب بر اساس درجه آلودگی آب در انواع تصفیه تعیین می‌گردد. از آنجائی‌که در این تحقیق تصفیه‌خانه شرب آب تهران تصفیه‌خانه‌ای با روش‌های تصفیه متوالی به‌مراه گندزدایی می‌باشد و شرایط ویژه در آن پیش‌بینی نگردیده است، بنابراین حدود مجاز آب مصرف شرب در ورودی تصفیه‌خانه در این تحقیق بین ۲۰ تا ۲،۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر مدنظر قرار گرفته است. ولی با توجه به فاصله‌ای که طی می‌شود تا آب از سد به تصفیه‌خانه برسد غلظت کلیفرم آب در سد کرج ۵۰،۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر فرض می‌گردد تا پس از زوال در طی مسیر با غلظت ۲،۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر به تصفیه‌خانه برسد و تصفیه‌خانه کن قادر به تصفیه آن باشد. همچنین حدود مجاز کلیفرم در مصرف کشاورزی نیز حدود مجاز کلیفرم در آبهای سطحی که ۱،۰۰۰ MPN در استانداردهای زیست محیطی تعیین گردیده است، در نظر گرفته شده است.

توسعه مدل کیفی

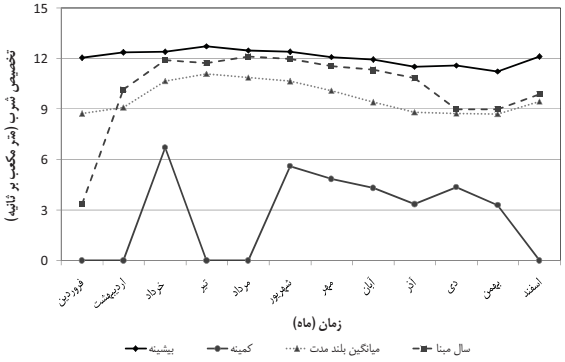
حمزه (۲) نحوه و میزان برداشت آب از مخزن و تراز آب برداشتی در دوره بروز آلاینده کلیفرم را با شدت 10^{13} MPN در یک متر مکعب آب مد نظر قرار داده و نشان داد تغییرات رهاسازی از مخزن تاثیر قابل توجهی در میزان آلودگی خروجی ندارد و فرآیند پخش و زوال کلیفرم مستقل از میزان رهاسازی می‌باشد.



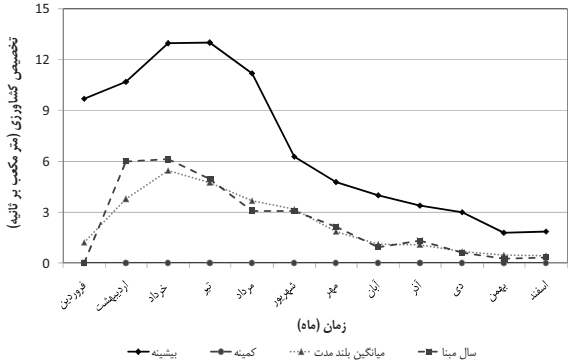
(الف) مقایسه آبدهی با دوره آماری



(ب) مقایسه بارش با دوره آماری

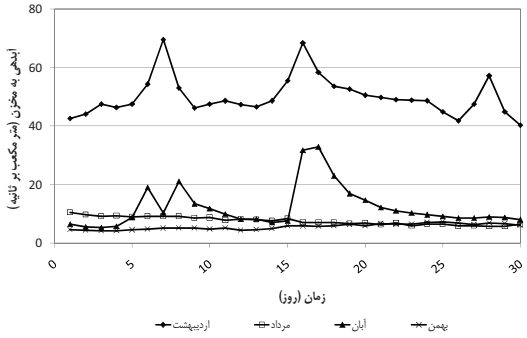


(پ) مقایسه تخصیص شرب با دوره آماری

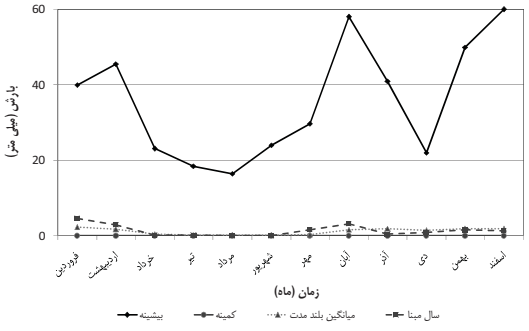


(ت) مقایسه تخصیص کشاورزی با دوره آماری

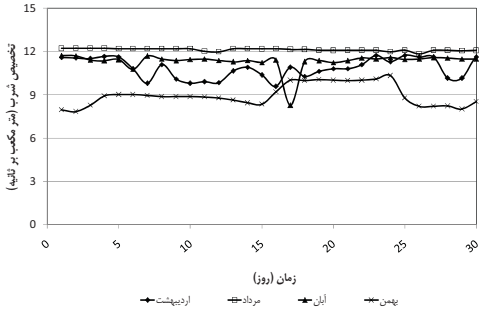
شکل ۱ - مقایسه مقادیر آبدهی، بارش، تخصیص شرب و کشاورزی با دوره آماری



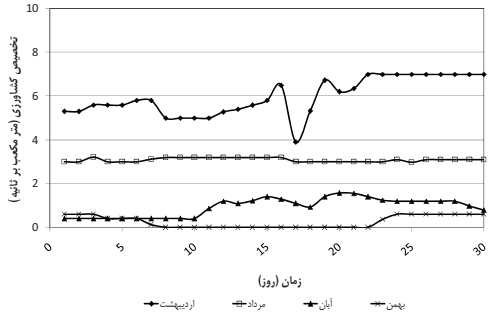
(الف) آبدهی در چهار ماه شاخص



(ب) بارش در چهار ماه شاخص



(پ) تخصیص شرب چهار ماه شاخص



(ت) تخصیص کشاورزی چهار ماه شاخص

شکل ۲- مقادیر آبدهی، بارش، تخصیص شرب و کشاورزی در چهار ماه شاخص

جدول ۱- بیشینه نیاز شرب و کشاورزی سد کرج (متر مکعب بر ثانیه)

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
بیشینه نیاز شرب	۱۲/۰۴	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۲/۷	۱۲/۵	۱۲/۴	۱۲/۱	۱۱/۹	۱۱/۶	۱۱/۵	۱۱/۲	۱۲/۱۱
بیشینه نیاز کشاورزی	۹/۷	۱۰/۷	۱۲/۹۷	۱۳	۱۱/۲	۶/۳	۴/۸	۴	۳/۴	۳	۱/۸	۱/۹

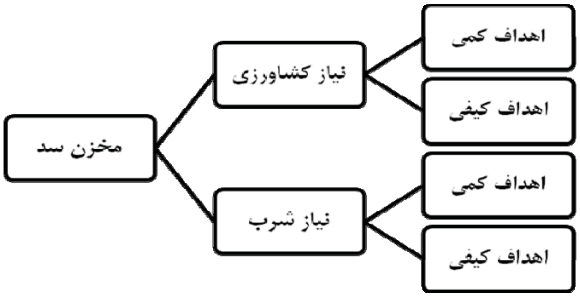
در نهایت حمزه (۲) مستقل بودن دو عامل رهاسازی و خروج بار آلودگی ناگهانی کلیفرم را اثبات نمود. او تنها راهکار مدیریتی در خصوص کنترل آلودگی را بسته شدن دریچه‌ها تا زمان زوال آلودگی اعلام نمود. بنابراین با نتایج حاصل شده، برای بهره‌برداری بهینه مخزن در شرایط بحرانی نمی‌توان بهینه‌سازی قبل از رهاسازی انجام داد. از طرفی با توجه به آنکه سد کرج دارای ذی‌نفعان بهره‌بردار آب شرب و کشاورزی می‌باشد و هر دو ذینفع خواستار بیشینه میزان قابل تخصیص با شرایط ایده‌آل کیفی می‌باشند، مناسبترین راهکار در زمان وقوع چنین بحرانی، بهینه‌سازی تخصیص نیازهای سد به همراه در نظر گیری شرایط کیفی می‌باشد. در شکل ۳ شماتیک مصارف و اهداف مسئله قابل مشاهده است.

کاربرد مدل رفع اختلاف

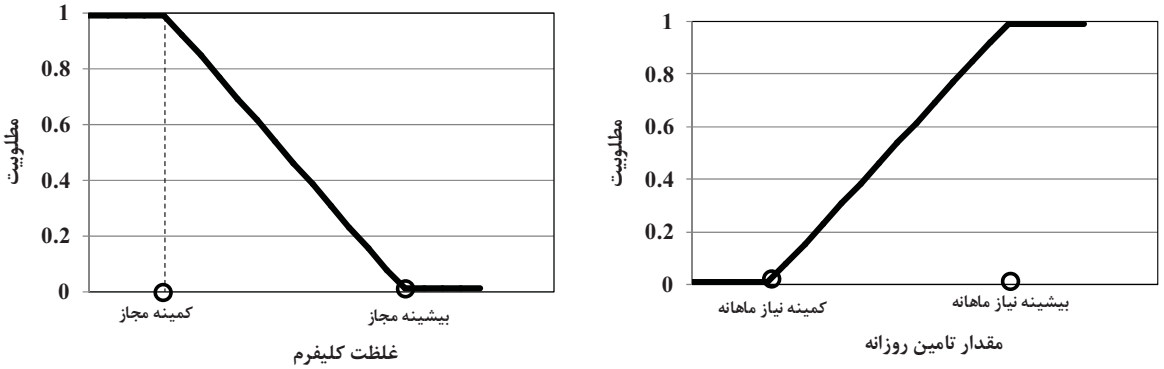
در صورتی‌که تعداد تصمیم‌گیران بیش از یکی باشد، به دلیل متفاوت بودن نظرات و اهداف هر کدام از تصمیم‌گیران، معمولاً نتیجه‌ای که کاملاً مورد نظر همه باشد حاصل نمی‌گردد. از طرفی جهت برقرای مصالحه و سازش بین اهداف باید ابتدا به هر هدف مطلوبیت خاص خود را اختصاص داده و سپس با استفاده از مدل رفع اختلاف، بهترین شرایط بهره‌برداری را حاصل نمود. در شکل (۴) شماتیک توابع مطلوبیت کمی و کیفی مدل، ارائه شده است.

روابط (۷ و ۸) تابع مطلوبیت کمی را برای مصارف شرب و کشاورزی نمایش می‌دهد.

که در آن $f_D(RD_d)$ = تابع مطلوبیت کمی برای مصرف شرب، $f_A(RA_d)$ = تابع مطلوبیت کمی برای مصرف کشاورزی، RD_d = مقدار تخصیص به آب شرب در روز d، DD_d = مقدار نیاز شرب در روز d، RA_d = مقدار تخصیص به آب کشاورزی در روز d، DA_d = مقدار نیاز کشاورزی در روز d، $DD_{\min}$ = کمینه نیاز شرب در روز d، $DD_{\max}$ = بیشینه نیاز شرب در روز d، $DA_{\min}$ = کمینه نیاز کشاورزی در روز d، $DD_{\max}$ = بیشینه نیاز شرب در روز d، a = ضریب تابع مطلوبیت کمی شرب، b = ضریب تابع مطلوبیت کمی کشاورزی می‌باشد.



شکل ۳- شماتیک مسئله



(الف) تابع مطلوبیت کمی (ب) تابع مطلوبیت کیفی

شکل ٤- شماتیک توابع مطلوبیت مدل الف) کمی، ب) کیفی

$$f_D(RD_d)=\begin{cases}0 & RD_d < DD_{\min}\\ \dfrac{RD_d}{DD_d}=aRD_d & DD_{\min} < RD_d < DD_{\max}\\ 1 & RD_d > DD_{\max}\end{cases} \quad (۷)$$

$$f_A(RA_d)=\begin{cases}0 & RA_d < DA_{\min}\\ \dfrac{RA_d}{DA_d}=bRA_d & DA_{\min} < RA_d < DA_{\max}\\ 1 & RA_d > DA_{\max}\end{cases} \quad (۸)$$

$$f_D^*=\begin{cases}0 & c_d > c_{\max D}\\ \dfrac{c_d - c_{\min D}}{c_{\min D} - c_{\max D}} & c_{\min D} < c_d < c_{\max D}\\ 1 & c_{\min D} > c_d\end{cases} \quad (۹)$$

$$f_A^*=\begin{cases}0 & c_d > c_{\max A}\\ \dfrac{c_d - c_{\min A}}{c_{\min A} - c_{\max A}} & c_{\min A} < c_d < c_{\max A}\\ 1 & c_{\min A} > c_d\end{cases} \quad (۱۰)$$

روابط (۹ و ۱۰) توابع مطلوبیت کیفی را برای مصارف شرب و کشاورزی نمایش می‌دهد.

که در آن، f_D^* = تابع مطلوبیت کیفی شرب در روزd، f_A^* = تابع مطلوبیت کیفی کشاورزی در روزd، c_d = میزان غلظت کلیفرم خروجی در روز d، $c_{\min D}$ = کمینه مجاز کلیفرم برای مصرف شرب، $c_{\min A}$ = کمینه مجاز کلیفرم برای مصرف کشاورزی، $c_{\max D}$ = بیشینه مجاز کلیفرم برای مصرف شرب و $c_{\max A}$ = بیشینه مجاز کلیفرم برای مصرف کشاورزی می‌باشد.

کراچیان و کارآموز (۸) با تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی و با تاکید بر رفع اختلاف بین تصمیم‌گیران و استفاده-کنندگان، ساختار جدیدی برای بهره‌برداری بهینه کمی وکیفی بلند مدت از مخازن و سامانه‌های رودخانه–مخزن ارائه نمودند. همچنین برای رفع اختلاف در مساله بهره‌برداری بهینه کمی–کیفی مخزن سدها از تئوری نش استفاده شده است. تابع رفع اختلاف در نظر گرفته شده مطابق رابطه (۱۱) بوده است. که در آن، $f_{r,m}(\ )$ = تابع مطلوبیت مربوط به میزان خروجی از مخزن در ماه m، $f_{s,m}(\ )$ = تابع مطلوبیت مربوط به میزان حجم مخزن در انتهای ماه m، $f_{c,m}(\ )$ = تابع مطلوبیت مربوط به میزان غلظت متوسط متغیر کیفی شاخص در ماه m، w_c ، w_s و w_r = به ترتیب وزن یا قدرت نسبی تصمیم‌گیران مرتبط با میزان جریان ماهانه خروجی، حجم ذخیره مخزن و کیفیت جریان خروجی، $d_{c,m}$ ، $d_{s,m}$ و $d_{r,m}$ = به ترتیب نقطه عدم توافق متناظر با تابع مطلوبیت مربوط به میزان خروجی از مخزن، حجم مخزن و کیفیت جریان خروجی در ماه mام، $\overline{S}_m$ = متوسط حجم مخزن در ماه mام (میلیون متر مکعب)، $\overline{R}_m$ = متوسط خروجی مخزن در ماه mام در دوره بهره‌برداری (میلیون متر مکعب) و $\overline{C}_m$ = متوسط متغیر کیفی شاخص در ماه mام می‌باشند.

$$Maximize \prod_{m=1}^{12}(f_{r,m}(\overline{R}_m)-d_{r,m})^{w_r}\ (f_{s,m}(\overline{S}_{m+1})-d_{s,m})^{w_s}(f_{c,m}(\overline{C}_{m+1})-d_{c,m})^{w_c} \quad (۱۱)$$

$$Maximize \sum_d (f_D(RD_d)-d_{r_D,d})^{w_{RD}}(f_A(RA_d)-d_{r_A,d})^{w_{RA}}(f_D^*-d_{c_D,d})^{w_{CD}}(f_A^*-d_{c_A,d})^{w_{CA}} \quad (۱۲)$$

در صورتی که در این تحقیق نیز همانند مدل رفع اختلاف کراچیان و کارآموز (۸) از تئوری نش برای تخصیص بهینه آب در شرایط بحرانی و با دیدگاه رفع اختلاف بین ذینفعان مدل‌سازی صورت گیرد، رابطه (۱۲) حاصل می‌شود. البته با توجه به اینکه در این تحقیق در روزهای اولیه بروز آلودگی ناگهانی مطلوبیت کیفی صفر است، نمی‌توان تابع ضربی را استفاده نمود. زیرا با ضرب مطلوبیت صفر در کل ماه تابع هدف در کل صفر خواهد شد به همین دلیل به جای حاصل‌ضرب از حاصل‌جمع استفاده شده است.

تابع رفع اختلاف توسعه یافته مذکور مشروط به قید کلی، مصارف می‌باشد، با این قید آب خروجی از مخزن محدود بـه مـصارف شـرب، کشاورزی و زیست‌محیطی می‌باشد.

$$R_d = RD_d + RA_d + RN_d \qquad (۱۳)$$

کـه در آن $f_A^*(\ )$ ، $f_D^*(\ )$ ، $f_A(\ )$ و $f_D(\ )$ = بـه ترتیب نقطه تابع مطلوبیت مربوط به میزان خروجی شرب و کشاورزی و کیفیت جریان خروجی شرب و کشاورزی، R_d = مقدار کل خروجی آب از مخزن در روز d، RN_d = تخصیص آب زیست محیطی (کـه مقداری ثابت فرض گردیـده اسـت)، $d_{c_A,d}$ ، $d_{c_D,d}$ ، $d_{r_A,d}$ و $d_{r_D,d}$ = به ترتیب نقطه عدم توافـق متنـاظر بـا تـابع مطلوبیـت مربوط به میزان خروجی شرب و کشاورزی و کیفیت جریـان خروجـی شرب و کشاورزی، w_{RD} = اولویت تخصیص کمیـت شـرب، w_{RA} = اولویت تخصیص کمیـت کـشاورزی، w_{CD} = اولویـت تخـصیص بـا اهمیت در نظر گرفتن کیفیت شـرب و w_{CA} = اولویـت تخـصیص بـا اهمیت در نظرگرفتن کیفیت کشاورزی می‌باشند.

$$Maximize \sum_d \left(\left[\frac{(1+(f_D(RD_d)-d_{rD,d}))^{w_{RD}} + (1+(f_D^*-d_{cD,d}))^{w_{CD}}}{(1+\left|(1+(f_D(RD_d)-d_{rD,d}))^{w_{rd}} - (1+(f_D^*-d_{cD,d}))^{w_{cd}}\right|)^{w_{RCD}}} \right] + \left[\frac{(1+(f_A(RA_d)-d_{rA,d}))^{w_{RA}} + (1+(f_A^*-d_{cA,d}))^{w_{CA}}}{(1+\left|(1+(f_A(RA_d)-d_{rA,d}))^{w_{RA}} - (1+(f_A^*-d_{cA,d}))^{w_{CA}}\right|)^{w_{RCA}}} \right] \right) \qquad (۱۴)$$

$$Subject\ \ to:$$

$$R_d = RD_d + RA_d + RN_d \qquad (۱۵)$$

در روابـط فـوق، w_{RCD} = قـدرت تـصمیم‌گیـری کمینـه‌سـازی اخـتلاف کمیـت و کیفیـت شـرب و w_{RCA} = قـدرت تـصمیم‌گیـری کمینه‌سازی اختلاف کمیت و کیفیت کشاورزی می‌باشند. لازم به ذکر است که در مدل مذکور کلیه نقاط عدم توافق برابر صفر درنظر گرفته شده است.

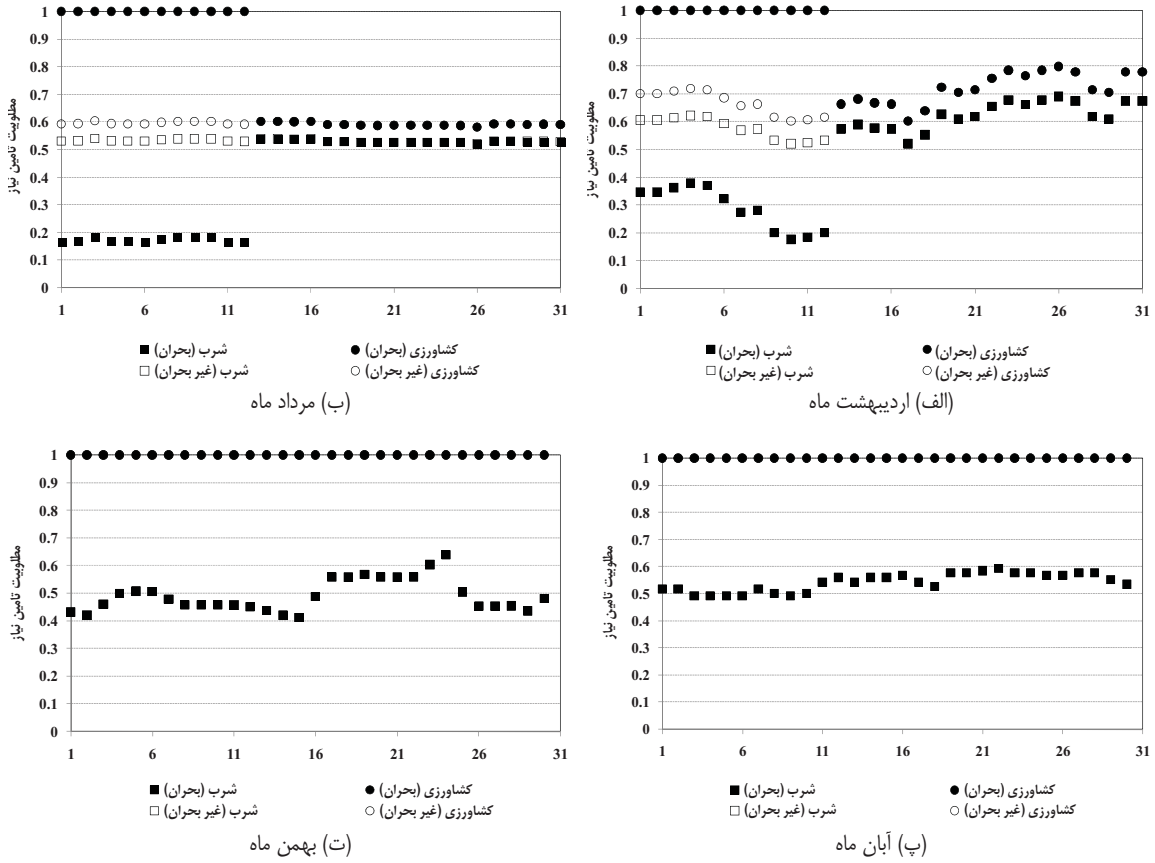
نتایج و بحث

همانگونه در قسمتهای پیشین توضیح داده شد، ابتدا سعی گردیـد که مدل رفع اخـتلاف کراچیـان و کـارآموز (۸) از تئـوری نـش بـرای تخصیص بهینه آب در شرایط بحرانی و با دیدگاه رفـع اخـتلاف بـین ذینفعان براساس رابطه (۱۲) مدلسازی گردد که در شکل ۵ مطلوبیت-های حاصل شده از نتایج مدل رفـع اخـتلاف نـش بـرای چهـار مـاه شاخص مشاهده می‌شود.

همانطور که در نتایج شکل ۵ مشاهده می‌شـود، رونـد تـابع رفـع اختلاف نـش در نیمـه اول سـال در شـرایط بحـران در روز دوازدهـم جهش دارد که البته دلیل آن در جهشی است که در آن روز در مقـادیر خروجی وجود دارد. همچنین از آنجا که مدل سـعی در بیـشینه‌سـازی تخصیص دارد، مناسب است ولـی از ایـن جهـت کـه آب بـا کیفیـت نامطلوب را نیز تخصیص می‌دهد، نامناسب خواهد بـود. البتـه از آنجـا که در تحقیق حاضر آب در روزهای بحران بـه دلیـل عـدم مطلوبیـت کیفی قابل تخصیص نیست پس باید تابع رفع اختلافی را استفاده کرد که ضمن سوق به بیشینه‌سازی کمی خروجی مخزن، مقدار رهاسـازی و تخصیص را متناسب با کیفیت نتیجه دهد لذا با توجه به دلایل ذکـر شده مدل روابط (۱۴ و ۱۵) توسعه یافتند.

مدل رفع اختلاف توسعه یافته

همانطور که در قسمت نتایج مشهود است تابع رفع اخـتلاف نـش قابلیت استفاده در مدل کمـی-کیفـی ایـن مـسئله را نـدارد و شـرایط بحران کیفی در آن تاثیر گـذار نمـی‌باشـند، چـرا کـه بـا وجـود عـدم مطلوبیت کیفی مدل فقط به بیشینه‌سازی تخصیص توجه می‌کند. بـه همین دلیل تابع رفع اختلافی با شرایط مسئله توسعه داده شده اسـت. ساختار مدل تخصیص بهینه مخـزن در شـرایط آلـودگی ناگهـانی بـا رویکرد مصالحه کمی- کیفی به صورت زیر مد نظر قرار گرفتـه شـده است. در این مدل سعی شده است علاوه بر حداکثرسـازی تخـصیص، مطلوبیت کمی و کیفی نیـز بـه هـم نزدیـک شـوند تـا هنگـامی‌کـه مطلوبیت کیفی نامناسب وجود دارد به تناسب آن، تخـصیص کـاهش یافته تا فرصتی برای سامانه ایجاد شود کـه بتوانـد بـه شـرایط پایـدار بازگردد.



شکل ۵- نتایج تابع رفع اختلاف نش در شرایط بحران و غیر بحران

مدل توسعه یافته روابط (۱۴و۱۵) با تمام موارد ذکر شده از جمله شرایط کمی-کیفی مخزن، حدود نیازهای کمی، حدود مجاز کیفی و توابع مطلوبیت در چهار ماه شاخص اجرا شده و نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است.

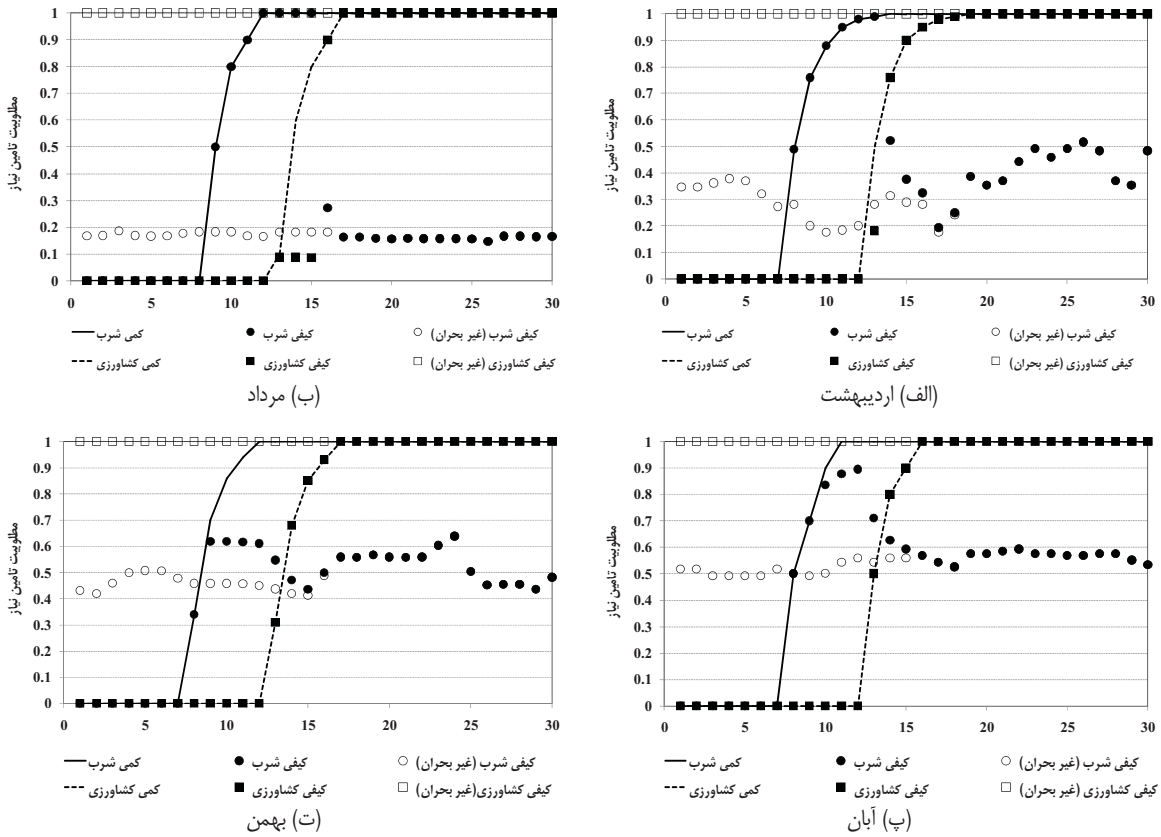
همانطور که در شکل ۶ نیز مشاهده می‌گردد با توجه به مطلوبیت‌های کیفی هر دوره ماهانه را می‌توان به سه دوره بحران حاد، غیرحاد و غیربحران تقسیم‌بندی کرد: (۱) دوره بحران حاد: دوره زمانی که مطلوبیت کیفی صفر بوده و امکان تخصیص آب به مصارف وجود ندارد. (۲) دوره بحران غیرحاد: دوره زمانی که مطلوبیت کیفی بین صفر و یک بوده و امکان تخصیص آب وجود دارد و (۳) دوره غیر بحران: دروه زمانی که مطلوبیت کیفی یک شده و شرایط کیفی سامانه پایدار می‌شود.

همچنین با مقایسه بین مدل توسعه یافته در شرایط بحران و غیربحران مطلوبیت کمی مدل در دوره بحران بالاتر از مطلوبیت کمی مدل در شرایط غیر بحران می‌باشد. همچنین جهت مقایسه مجموع تخصیص مدل و خروجی از مخزن شکل ۷ ارائه می‌گردد.

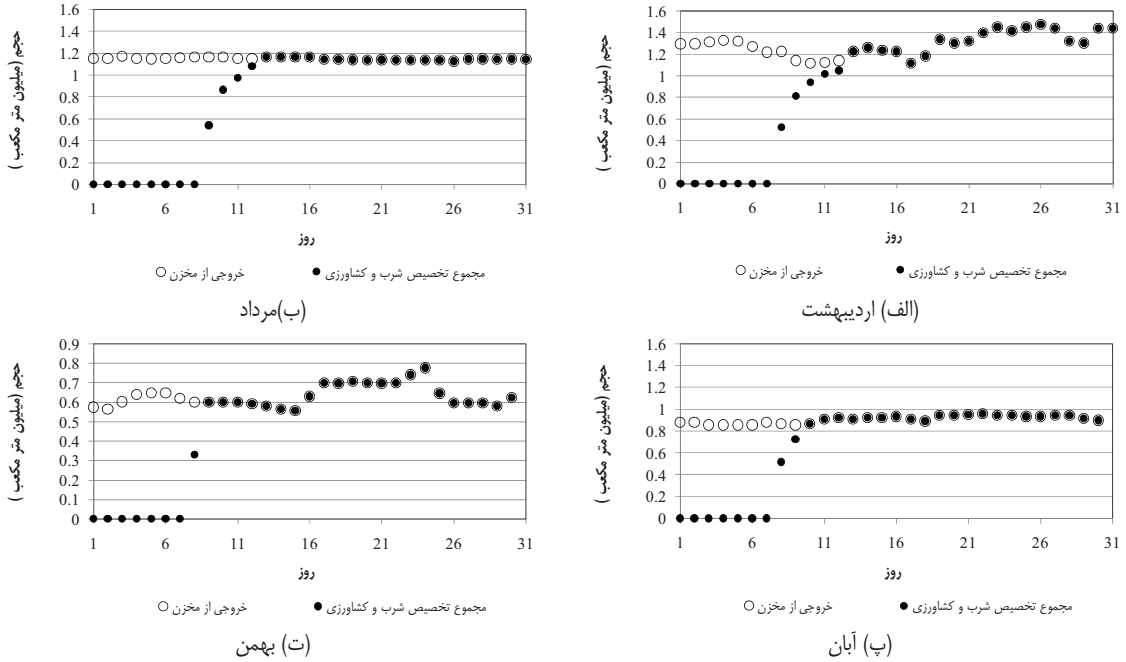
همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، مجموع آب تخصیص یافته از روز دوازدهم با حجم آب خروجی از مخزن برابر می‌شود. زیرا که از آن روز به بعد کیفیت آب برای مصرف شرب در محدوده مجاز قرار می‌گیرد و مدل کل آب قابل مصرف را تخصیص می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تهدید بیولوژیکی مخازن سدها به‌عنوان تهدید انسان ساخت انتخاب گردیده است. از میان تهدیدات بیولوژیک، کلیفرم به عنوان شاخص کیفی در نظر گرفته شد. همچنین جهت شبیه‌سازی کیفی مخزن- رودخانه، از مدل شبیه‌سازی CE-QUAL-W2، استفاده شده است. همچنین در شرایط بحران به ارائه راهکار مدیریتی تخصیص بهینه مخزن با وجود چهار هدف کمی شرب و کشاورزی و کیفی شرب و کشاورزی خلاصه گردید. با توجه به اینکه در تخصیص آب مخزن سدها، علاوه بر اهداف مختلف، تصمیم‌گیرندگان مختلفی نیز با مطلوبیتهای متفاوت و اغلب متضاد وجود دارند، استفاده از مدل‌های رفع اختلاف می‌تواند در بهبود و افزایش مقبولیت سیاست‌های تخصیص از نظر تصمیم‌گیران و استفاده‌کنندگان از سامانه موثر باشد.



شکل٦- نتایج مدل رفع اختلاف توسعه یافته در ماه‌های شاخص



شکل ۷- مقایسه خروجی از مخزن و مجموع تخصیص مدل توسعه‌یافته در چهار ماه شاخص

لذا ابتدا تصمیم‌گیران و تاثیرپذیران سامانه در ارتباط با تخصیص به مصارف و مدیریت کیفیت آب شناسایی شدند و سپس توابع مطلوبیتی با درنظرگیری اهداف و شرایط به آنها اختصاص داده شد و در مدل رفع اختلاف نش استفاده گردید. اما مدل نش با بیشینه‌سازی تخصیص‌های کمی شرب و کشاورزی، تطابق کیفیت و کمیت آب را در نظر نمی‌گیرد که نتیجه آن تخصیص آب با کیفیت نامناسب آب می‌باشد. به همین دلیل مدل رفع اختلاف جدیدی برای نزدیک‌تر کردن مطلوبیت‌های کمی و کیفی توسعه داده شد.

مدل در ماه‌های مختلف اجرا و نتایج آن با نتایج شرایط غیر بحران مقایسه گردید.

با بررسی مدل توسعه یافته در شرایط بحران و غیربحران در تمامی ماه‌ها مطلوبیت کمی شرب مدل در دوره بحران بالاتر از مطلوبیت کمی مدل در شرایط غیر بحران می‌باشد، زیرا دوره بحران شرب منطبق بر دوره بحران حاد کشاورزی می‌باشد که امکان تامین آب کشاورزی در این دوره وجود ندارد. به همین دلیل کلیه آب موجود به شرب تخصیص می‌یابد. نتایج حاصل نشان از قابلیت مدل توسعه یافته در حل اختلاف بین نیازها در شرایط بحران دارد.

منابع

۱- رستم افشار. ن.، افشار ع. و جلیلی ن. ۱۳۸۵. پیش بینی رفتاری مدل تهیه عکس‌العمل سیستم رودخانه در مورد بار تصادفی آلاینده ورودی- مطالعه موردی رودخانه کرخه. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، شهریور، ۱۴و۱۵، ۱۸۱-۱۹۰.

۲- علی حمزه م. ۱۳۸۹. مدیریت بهره‌برداری از مخازن در شرایط بحران کیفی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز. دانشکده فنی و مهندسی. گروه مهندسی عمران.

۳- کارآموز م.، عراقی نژاد ش.، کراچیان ر. و جهاندیده ف. ۱۳۷۹. بهره‌برداری بهینه کمی-کیفی از مخازن سدها. چهارمین کنفرانس سدسازی کشور.کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، تهران، دی،۱۱و ۱۲، ۱۶۶-۱۷۷.

4- Cole T.M., and Wells S. A. 2008. CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.6. Department of civil and environmental engineering, Portland state university, Portland.

5- Gelda R.K., Owen E.M., and Effler S.W. 1996. Calibration, verification and an application of two-dimentional hydrothermal model (CE-QUAL-W2) for connonsville reservoir. Journal of Lake and Reservoir Mangement, 14(2-3), 186-196.

6- Harsanyi J.C., and Selten R. 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. Management Science, 18(5), 80–106.

7- Kerachian R., and Karamouz M. 2006. Optimal reservoir operation considering the water quality issues: A deterministic and stochastic conflict resolution approach. Water Resources Research, 42, W12401, pp17.

8- Kerachian R., and Karamouz M. 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. Advances in Water Resources, 30(4), 866-882.

9- Nash J.F. 1950. The bargaining problem, Econometrica, 18(2), 155–162.

10- Loucks D.P., and Jacoby H.D. 1972. Flow regulation for water quality management. in models for managing regional water quality, ed. R. Dorfman, H. D. Jacoby, and H. A. Thomas. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.

11- Lund J.R., and Palmer R.N. 1997. Water resources system modeling for conflict resolution. Water Resources Research, 3(108), 70–82.

12- Marce R., Moreno-Ostos E., Garcia-Barcina, J.M., and Armengol, J. 2010. Tailoring dam structures to water quality prediction in new reservoir projects. Journal of Environmental Management, 91(6), 1256- 1267.

13- Salazar R., Szidarouszky F., Coppola E., and Rojana A. 2007. Application of game theory for groundwater conflict in mexico. Journal of Environmental Management, 84(4), 560-571.

14- Samuel W.B., Bahadur R., Picklus J., Amstutz D., and McGromach K. 2003. River spill: A real- time emergency response and planning tool. Repoort of Science Application International Corporation, American Water Works Association.

15- Shirangi E., Kerachian R., and Shafai Bajestan M. 2007. A simplified model for optimal reservoir operation considering the water quality issues: Application of the young conflict resolution theory. Environmental Monitoring Assessment, 146(1-3), 77-89.

16- Zison S.W., Mills W.B., Deimer B., and Chen C.W. 1978. Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. United States Environmental Protection Agency. EPA-600/3-68-105.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1072-1082

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۰۸۲-۱۰۷۲

Reservoir optimum operation in sudden pollution condition using quality-quantity compromising approach

S. Beygi[1]*- O. Bozorghaddad [2]- M. Khayatkholghi [3]

Received: 30-05-2011
Accepted: 08-07-2012

Abstract

In recent years, limitation of water resources and the increasing trend of population growth cause the quantity issues on water supply. On the other hand, permanent and sudden pollution of waters as a biological threat has always been of high importance, because occurrence of biological pollution in water systems produces national crisis. However, since there are various and contradictory goals and utilities in reservoir systems, making proper decisions considering all aspects is a complex issue. A good strategy to compromise between the contradictory goals and utilities would be conflict resolution methods. To perform this study the allocations of drinking and agricultural waters of the Karaj dam, as one of the most strategic dams in Iran in the case of quality attacks, has been used. In this study, Nash model has been used as the conflict resolution method. According to the results, when there is a decrease in the quality aspects of water, Nash model assigns the priority to the quantity ones and allocates low-quality water to the consumers. Thus, a new conflict resolution method has been developed so that the allocations are modified according to the quality aspects. Thus, low-quality water is less allocated while more allocation is made along with an increase in the quality utility.

Keywords: Quality attacks in reservoirs, optimal allocation, Conflict resolution

1,2,3- M.Sc., Assistant Professor and Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, respectively
(*-Corresponding Author Email: Beygi@ut.ac.ir)