نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۶۸۴-۶۷۲

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 672-684

برآورد حجم بهینه مخزن سد بر اساس سطح اعتمادپذیری تأمین نیازها

مهرداد تقیان[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶

چکیده

یکی از مسائل کاربردی و کلاسیک در مطالعات منابع آب، تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد برای تامین نیازهای مختلف است. اما تامین کامل نیاز در همه زمان‌ها از جمله دوره‌های خشکسالی شدید، مستلزم طراحی یک سد با ارتفاع بسیار زیاد است. این رویکرد به مفهوم تخصیص بخش عمده‌ای از هزینه و ظرفیت مخزن برای دوره‌های زمانی بسیار کوچکی از عمر مفید سد است که ممکن است از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد. بنابراین ضروری است در روش و مدل پیشنهادی، تنها برای درصد زمانی مشخصی از دوره آماری مورد نظر، امکان تامین کامل نیازها فراهم گردد که معادل با اعمال قید اعتمادپذیری است. در روش‌های معمول، این مفهوم به ظاهر ساده، مستلزم افزودن متغیرهای باینری (دو مقداره) برای تامین و یا عدم تامین نیاز در ساختار مدل‌های برنامه‌ریزی خطی است که در حضور تعداد زیاد متغیرهای باینری، حل مساله فوق زمان‌بر یا مشکل خواهد بود. برای توسعه و بهبود روش‌های معمول، در تحقیق حاضر به جای مدل‌های مختلط برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح، از یک مدل شبیه‌سازی مجهز به فرآیند برنامه‌ریزی خطی شبکه جریان استفاده شده است. با پیاده‌سازی این مدل در سیستم منابع آب رودخانه خمین، ظرفیت بهینه سد مخزنی نیشهر معادل با ۴/۶ میلیون متر مکعب برآورد گردید که در این حالت قادر به حفظ اعتمادپذیری ۸۵ درصد در تامین نیازها است. نتایج حاکی از حساسیت ابعاد حجم مخزن نسبت به انتخاب اعتمادپذیری دارد که میزان این حساسیت ناشی از شدت و طول دوره‌های کمبود آب است.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی نیازها، برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، ظرفیت مخزن

مقدمه

یکی از اصول مدیریت و توسعه پایدار، نگاه ویژه به مسأله تامین آب و چگونگی توزیع آن بر اساس اولویت‌بندی نیازها است. وسعت زیاد مناطق خشک و نیمه خشک در کشور و در مقابل آن، سیلاب‌های شدید و فصلی، منجر به توسعه سدسازی شده است. در این راستا، حجم مخزن سد بایستی به گونه‌ای برآورد گردد تا با حداقل سرمایه، مقدار مطلوب آب را ذخیره نماید. این امر مستلزم بررسی واقعی و دقیق پتانسیل‌های موجود، همچنین مدیریت و تخصیص بهینه آب به هر یک از مصرف‌کنندگان است. با وجود آن‌که توسعه انواع مدل‌های بهینه‌سازی، بهترین ابزار برای دستیابی به موارد فوق است (۱۶)، اما حل مدل‌های توسعه داده شده با در نظر گرفتن شرایط واقعی و عملی پروژه از جمله عدم قطعیت ورودی‌های مدل، با دشواری‌ها و پیچیدگی‌های زیادی مواجه است. در حالت کلی، عدم قطعیت ناشی از ماهیت تصادفی فرآیندهای فیزیکی نمی‌تواند حذف شود و بایستی تجزیه و تحلیل گردد (۴). در این راستا، از شاخص اعتمادپذیری[2] استفاده می‌گردد. در حقیقت اعتمادپذیری یک چارچوب سیستماتیک و رسمی را فراهم می‌کند تا عدم قطعیت مربوط به خروجی سیستم را به صورت کمی درآورد (۲۱). در مساله پیش‌رو، اعتمادپذیری بیانگر عدم قطعیت تخصیص آب به کاربران مختلف است که آبدهی ورودی به مخزن و انتخاب حجم بهینه مخزن بر آن مؤثر است. معمولاً به دلیل محدودیت‌های اقتصادی، در طراحی ظرفیت سدهای مخزنی، تمایلی به تامین کامل نیازها نیست و پاسخ به تقاضاها با اعمال قید خاص اعتمادپذیری اجرا می‌گردد. بنابراین مدل فوق در شرایط اعمال کنترل بر قید اعتمادپذیری تامین نیازهای آبی، دیگر یک مدل برنامه‌ریزی خطی ساده نیست و به مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط[3] تبدیل می‌شود. این روش به‌طور گسترده در تجزیه و تحلیل عملکرد مخزن به کار رفته است (۱۵، ۱۹ و ۲۳)

شکل جامع و کلاسیک رویکرد فوق، مدل آبدهی[4] است که مفهوم اصلی آن توسط لاکس و همکاران (۲۰) مطرح شده است و

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، خوزستان
(*-نویسنده مسئول: Email: mehrdad.taghian@gmail.com)

2-Realiablity
3-Mix Integer Linear Programming (MILP)
4-Yield Model

این مفهوم با تلاش سایر محققان توسعه داده شده است (۸، ۹، ۱۷، ۱۸، ۲۵ و ۲۶).

مدل آبدهی، یک مدل استوکستیک مجازی[1] برای طراحی منطقی حجم مخزن و رها سازی آبدهی مطمئن (یلد) با اعتمادپذیری مطلوب است. در حقیقت هر نیاز آبی را می‌توان به مقدار نظیر آبدهی با احتمال معینی تبدیل نمود، لذا به نام مدل آبدهی معروف شده است. استفاده از مدل‌های آبدهی با تقریب و مشکلات فراوان همراه است: ۱- برای منظور نمودن آبدهی‌های میان حوضه‌ای، آب‌های برگشتی و توزیع مکانی نیازها، پیچیدگی‌های خاصی وجود دارد. ۲- از بعد زمانی نیز در آن‌ها به تغییرات سالانه آبدهی اکتفا گردیده است و توزیع ماهانه آبدهی به صورت محدود و تنها در سال بحرانی مد نظر قرار گرفته است. ۳- منطق باینری که اساس این مدل‌ها را تشکیل می‌دهد، تنها در مقیاس کوچک و متوسط قابل حل است و در مسائل با متغیرهای اعداد صحیح قابل ملاحظه، زمان حل به مقدار زیادی طولانی شده و احتمال عدم توانایی در همگرایی جواب بهینه افزایش می‌یابد (۵).

به منظور غلبه بر مشکلات فوق، ممکن است استفاده از سایر مدل‌های معمول در منابع آب نیز پیامد مطلوبی نداشته باشد. به عنوان مثال، استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا[2] با افزایش نمایی متغیرهای حالت مساله همراه است و محاسبات با مشکل کثرت بعد مواجه می‌گردد (۱۳). علاوه بر آن، استفاده از الگوریتم فراکاوشی نیز در حل مسائلی که دارای قیود و متغیرهای تصمیم زیاد باشد، نمی‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد و حل آن‌ها را پیچیده‌تر می‌کند (۲۲). در این راستا، گنجی و جوکارشوریجه (۱۰) برای پیاده‌سازی اعتمادپذیری، الگوریتمی را با توسعه یک مدل بهینه‌سازی استوکستیک و بر مبنای روش‌های گشتاور آماری مطرح نمودند. در مدل آن‌ها، آبدهی و حجم مخزن به عنوان متغیرهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است. علاوه بر آن، تلاش‌های دیگری برای در نظر گرفتن محدودیت و قیدها در الگوریتم‌های فراکاوشی انجام شده است که شامل در نظر گرفتن جریمه در تابع هدف برای تخطی از قیدها و حذف و بهبود جواب‌های غیر شدنی[3] (منحرف از قید) است (۱، ۶ و ۱۱). محدودیت و قید مطرح شده در مساله پیش رو همان اعتمادپذیری است. به منظور در نظر گرفتن جزئیات بیشتر سیستم‌های منابع آب و افزایش سرعت محاسبات در تحلیل مساله کلاسیک برآورد ظرفیت (ارتفاع) بهینه مخزن سد و تخصیص بهینه آب، در این پژوهش از اتصال مدل شبیه‌سازی ARSP[4] به یک برنامه واسطه کد نویسی شده در محیط متلب (تهیه شده در این پژوهش)، استفاده شده است. این مدل، مجهز به فرآیند برنامه‌ریزی شبکه جریان[5] با ساختار هزینه‌ای[6] و موتور برنامه‌ریزی خطی برای حداقل‌سازی هزینه نسبی جریان است. در حقیقت یک مدل شبیه‌سازی- بهینه سازی توسعه داده شده است که در آن مدل شبیه سازی قادر به بررسی وضعیت کمبودها با جزئیات است و برنامه واسطه به برآورد و حفظ اعتمادپذیری مطلوب با استفاده از نتایج شبیه‌سازی می‌پردازد و مدل برنامه‌ریزی خطی فرآیند تخصیص بهینه منابع آب را انجام می‌دهد. در این راستا سیستم منابع آب سد مخزنی نیشهر با هدف تامین نیازهای صنعت و کشاورزی و با اعتماد پذیری مطلوب و اولویت بندی مورد نظر، جهت بررسی قابلیت و کارایی مدل پیشنهادی انتخاب گردیده است.

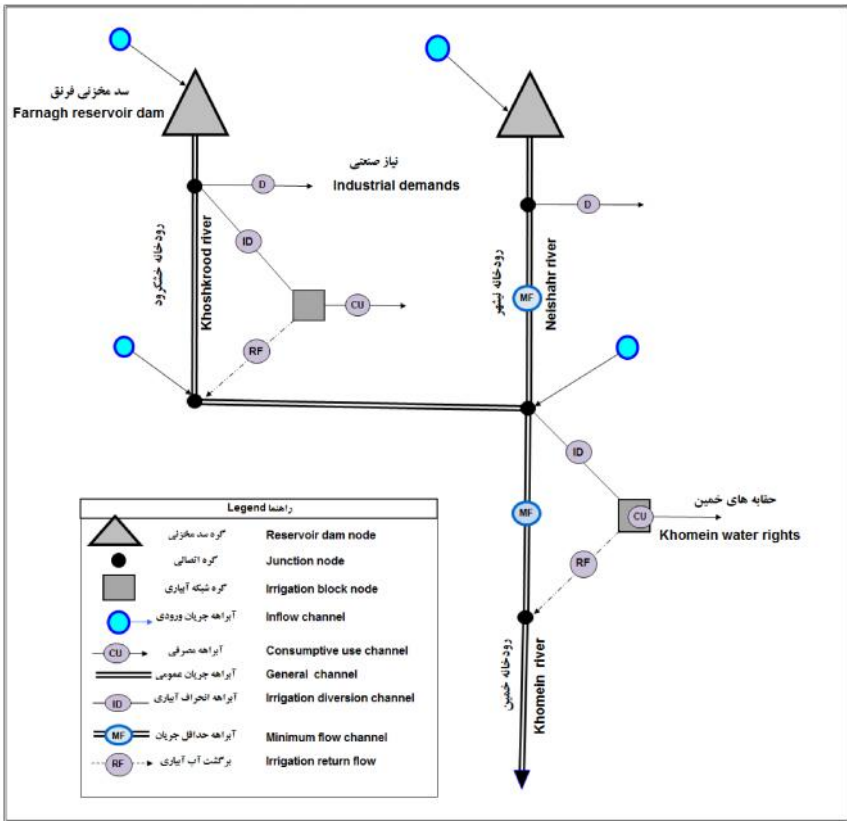
مواد و روش‌ها

سیستم منابع آب سد مخزنی نیشهر

در نخستین گام این تحقیق، با گردآوری داده‌ها و اطلاعات پایه و گزارشات موجود، مؤلفه‌ها و اجزاء اساسی سیستم منابع آب رودخانه نیشهر شناسایی و نسبت به تهیه پیکربندی سیستم منابع آب آن اقدامات لازم به‌عمل آمد (مطابق شکل ۱).

رودخانه نیشهر یکی از شاخه‌های رودخانه خمین (فشار رود) است که از دامنه‌های جنوبی کوه الوند سرچشمه گرفته و در روستای شاقو به رودخانه خمین ملحق می‌گردد. طول این رودخانه ۶۵ کیلومتر و سطح حوزه آبریز آن حدود ۷۲۰ کیلومتر مربع است. در حال حاضر، سد مخزنی نیشهر به منظور ذخیره‌سازی و تنظیم آب این رودخانه و استفاده از آن برای تامین آب حقابه‌های کشاورزی پایین دست (دشت ریحان) و توسعه اهداف صنعتی، در حال مطالعه است. رودخانه خشک‌رود، شاخه‌ای دیگر از رودخانه خمین است که از دامنه‌های کوه بلند ویلو در شمال شرقی شهرستان الیگودرز سرچشمه می گیرد. طول این رودخانه حدود ۳۳ کیلومتر و مساحت حوزه آبریز آن حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع است و سد مخزنی فرنق بر روی آن، در حال بهره برداری است. در ادامه مسیر، دو شاخه نیشهر وخشک‌رود در ورودی شهر خمین به یکدیگر پیوسته و رودخانه خمین را تشکیل می‌دهند. این رودخانه در نهایت با دریافت شاخه‌های متعدد به قمرود ملحق می‌گردد. اطلاعات مورد استفاده به طور کلی مبتنی بر داده‌های هواشناسی شامل تبخیر از سطح آزاد آب دریاچه مخازن، داده‌های هیدرولوژیکی شامل آبدهی‌های ورودی به سدها و نهایتاً حجم رسوبات در محل سدها است. علاوه بر آن از اطلاعات مربوط به نیازهای کشاورزی (حقابه‌ها) و صنعت، مشخصات هندسی مخزن مانند منحنی‌های سطح-حجم- ارتفاع و ... استفاده شده است (۲). چون آب مازاد سیستم منابع آب رودخانه خشک‌رود و سد فرنق نیز در تامین حقابه‌های رودخانه خمین نقش دارند، مدل‌سازی سد مخزنی نیشهر به صورت سیستم دو سدی انجام شده است.

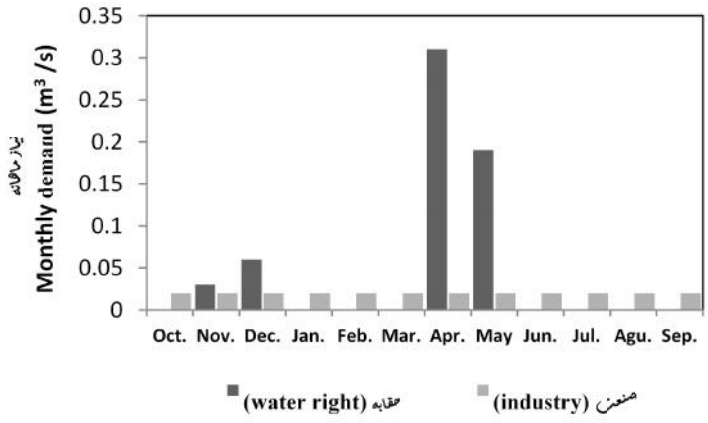
1-Implicit Stochastic
2-Dynamic Programming
3-Infeasible
4-Acres Reservoir Simulation Program
5-Flow Network Programming
6-Penalty Structure



شکل ۱- پیکربندی شماتیک سیستم منابع آب رودخانه خمین

Figure 1- Schematic configuration of Khomein river water resource system

همانگونه که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود، مقادیر نیاز ماهانه صنعت به میزان ۰/۰۲ متر مکعب در ثانیه و در تمامی ماه‌های سال ثابت است اما حقابه‌های کشاورزی فقط در چهار ماه پر آب سال برداشت می‌گردد و مقدار آن متغیر است.

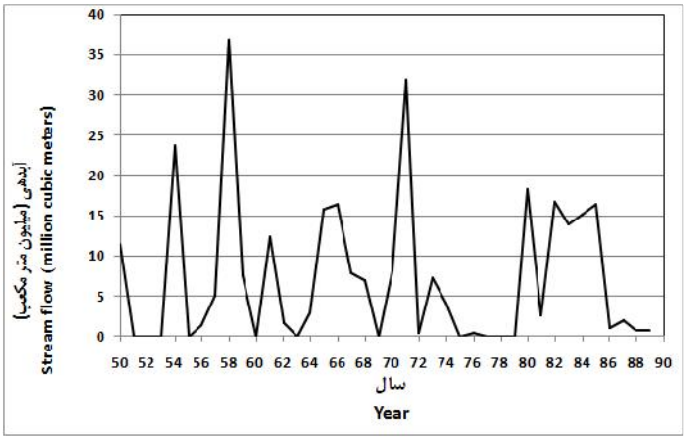


شکل ۲- مقادیر نیازهای صنعت و کشاورزی در پایاب سد نیشهر

Figure 2- Agricultural and industrial demands values in downstream of Neishahr dam

مقادیر آبدهی سالانه ورودی به سد نیشـهر در شـکل (۳) نشـان داده شده است. این شکل بیانگر دوره‌های خشکسالی بسیار شـدید در طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۵۳، ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ است.

با توجه به وجود اراضی حقابـه بـر در بالادسـت سـد مخزنـی نیشـهر، آبدهی‌های ورودی به سد پس از کسر ایـن حقابـه‌هـا بـرآورد گردیـده است.



شکل ۳- مقادیر آبدهی‌های سالانه ورودی به سد نیشهر پس از کسر حقابه های بالادست- متر مکعب در ثانیه
Figure 3- Annual inflow to Neishahr dam after reducing upstream water rights-CMS

مدل مورد استفاده

نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق، ARSP است (۳) کـه یـک مدل شبیه‌سازی برای سیستم‌های چند مخزنه و چند هدفـه اسـت. در این مدل، سیاست بهره‌برداری از طریق ساختار هزینه‌ای و به صـورت اطلاعات ورودی داده می‌شود. بدین صورت که هر هدف بهره‌بـرداری در برنامه، دارای هزینه‌ای نسبی خواهد بود که در صورت عـدم تـأمین هدف، هزینه مزبور اعمال خواهد شد. برنامه بهترین راه حل تخصیص آب در شبکه را با رعایت شرایط و محدودیت‌های مفروض بـه نحـوی ارائه می‌دهد که تابع هزینه نسبی جریان در کل شـبکه حـداقل شـود. سیاست به کار رفته برای حل مسائل شبکه جریان، برنامه‌ریزی خطـی است و در این مورد از الگوریتمی به نام OKA[1] استفاده می‌شـود کـه تجربه نشان داده در حل مسائل شبکه، مؤثرتر، ساده‌تـر و سـریع‌تـر از روش استاندارد سیمپلکس[2] است (۳). این الگوریتم برای حـل مسـائل شبکه‌های بسته در برنامه‌ریزی خطـی بکـار مـی‌رود. بـرای مشـخص کردن شبکه جریان لازم است سه ویژگی امکـان پـذیر بـودن، اصـل تداوم و حداقل کردن تابع هزینه نسبی جریان به شرح زیر تعیین گردد (۳و ۲۴):

$$L_{ij} \le X_{ij} \le U_{ij} \qquad (۱)$$

رابطه (۱) شرط امکان پذیر بودن جریان به را بیان می‌کند کـه در آن:

X_{ij} جریان در هر کمان، U_{ij} کرانه بـالای جریـان در کمـان و L_{ij} کرانه پایین جریان در کمان است. در این حالت، کمـان[3] مجـرای واقعی یا ریاضی عبور جریان است که دو گـره را بـه یکـدیگر متصـل می‌سازد، گره[4] نیز محل تقاطع کمان‌هاست که به طور کلی با حـروف نشـان داده مـی‌شـود، مـثلاً i، j و غیـره. در حقیقـت گـره‌هـا، بـرای محل‌های اتصال آبراهه‌ها، مخازن و مصارف کـاربرد دارد و کمـان‌هـا برای نشان دادن آبراهـه‌هـای مختلـف ماننـد آبراهـه جریـان ورودی، آبراهه عمومی، آبراهه مصرفی و سایر آبراهـه‌هـای شـکل (۱) کـاربرد دارند. علاوه بر آن ظرفیت مخزن نیـز بـا اسـتفاده از کمـان‌هـا بیـان می‌گردد.

اصل تداوم جریان با رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\sum X_{ij} - \sum X_{ji} = 0 \qquad (۲)$$

حداقل کردن تابع هزینه نسبی جریان به صورت زیر است:

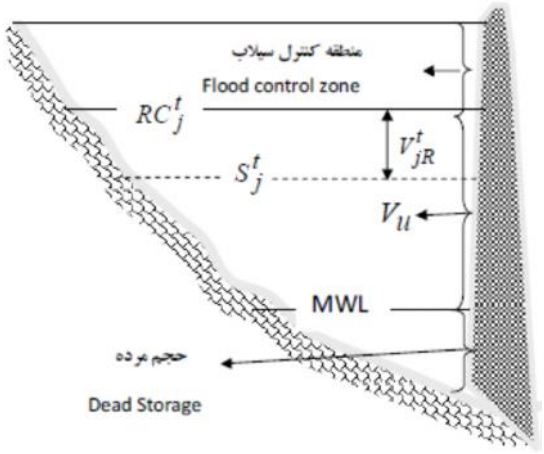
$$Min \sum \left(C_{ij} \times X_{ij} \right) \qquad (۳)$$

که در آن C_{ij} هزینه نسبی یـک واحـد جریـان در هـر کمـان و X_{ij} میزان جریان است. معادله (۳) یک حالت کلی از حـداقل کـردن هزینه‌ها در سیستم است که در تحقیق حاضر برای هر گره نیاز i و هر گره مخزن j می‌تواند به صورت رابطه (۴) بیان گردد:

1-Out of Kilter Algorithm
2-Simplex
3-Arc
4-Node

$$Min\left[\sum_i C_{iD}\,V_{iD}^t+\sum_j C_{jR}\,V_{jR}^t\right] \qquad (۴)$$

که در آن V_{iD}^t میزان انحراف ماهانه جریان[1] از آبدهی مطلوب یا همان کمبود جریان ماهانه D در ماه t، V_{jR}^t میزان انحراف ذخیره مخزن(S_j^t) در انتهای هر ماه از منحنی فرمان بهره برداری[2] ماهانه (RC_j^t)، C_{iD} هزینه نسبی به ازای یک واحد کمبود جریان و C_{jR} هزینه نسبی به ازای یک واحد کمبود ذخیره مخزن از منحنی فرمان است. لازم به توضیح است در این مطالعات، منحنی فرمان معادل با رقوم نرمال بهره برداری[3] یا رقوم عادی بهره برداری در نظر گرفته شده است و ذخیره مفید مخزن (V_u) معادل حجم بین رقوم نرمال و رقوم حداقل بهره برداری (MWL) است. در شکل (۴) تقسیم‌بندی حجم مخزن و متغیرهای مهم تامین نیاز نشان داده شده است.



شکل ٤- پارامترهای اساسی مخزن در مدل برنامه‌ریزی خطی
Figure 4- Basic parameters of reservoir in linear programming model

بنابراین، در حقیقت معادله (۴) بیان می‌کند که بین سیاست ذخیره‌سازی آب در مخزن یا رهاسازی آب برای تامین نیازهای پایاب، یک رابطه تبادلی[4] برقرار است، بدین مفهوم که افزایش یکی باعث کاهش دیگری می‌شود. بر این اساس برنامه ریزی خطی در تعیین ذخیره مخزن در انتهای هر ماه و تامین نیاز به گونه‌ای عمل می‌نماید که هزینه نسبی انحراف از مقادیر مطلوب را به حداقل خود برساند.

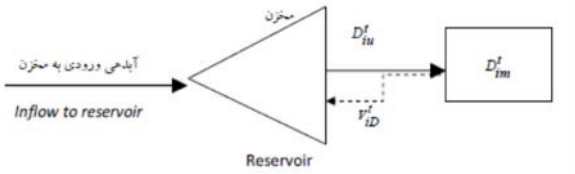
در این حالت، ذخیره مخزن در انتهای هر ماه از رابطه (۵) قابل محاسبه است که در قالب شکل (۴) نیز مشاهده گردید:

$$S_j^t = V_u - V_{jR}^t \qquad (۵)$$

میزان نیاز تخصیص یافته (D_{im}^t) نیز، مطابق رابطه (۶) برآورد می‌گردد.

$$D_{im}^t = D_{iu}^t - V_{iD}^t \qquad (۶)$$

در این رابطه، D_{iu}^t عبارت است از نیاز ماهانه کاربران آب. به منظور درک بهتر رابطه فوق، شکل ۵ ارائه شده است که در آن تخصیص آب شامل دو کمان میزان نیاز کاربر و میزان کمبود است.



شکل ۵- رابطه بین متغیرهای اساسی جریان در برنامه ریزی خطی
Figure 5- Relation among the basis variables of flow in linear programming

قید اعتمادپذیری و اولویت‌بندی تامین نیازها

اعتمادپذیری ($\mathrm{Re}\,l$) پرکاربردترین شاخص در مسائل مدیریت منابع آب است. تعریف اولیه آن توسط هاشیماتو و همکاران (۱۲) عبارت است از احتمال (p) این که وضعیت سیستم (S) در شرایط مطلوب[5] (NF) قرار گیرد و رابطه آن به صورت زیر است:

$$\mathrm{Re}\,l = P\{S \in NF\} \qquad (۷)$$

در این حالت اگر T کل گام‌های زمانی، J شمارنده رویداد شکست (عدم تامین کامل نیاز)، M تعداد رخدادهای شکست و d_J مدت زمانی که سیستم برای بار Jام در یک دوره شکست قرار می‌گیرد باشد، اعتماد پذیری با استفاده از رابطه زیر برآورد می گردد:

$$\mathrm{Re}\,l = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{M} d_J}{T} \qquad (۸)$$

چنان‌چه هزینه نسبی یک واحد کمبود جریان در تامین حقابه‌های کشاورزی و صنعتی به ترتیب با C_{iD_a} و C_{iD_n} نشان داده شود، به منظور اولویت قرار دادن تامین نیازهای صنعتی نسبت به کشاورزی، بایستی هزینه‌های نسبی فوق به گونه‌ای در مدل تعریف شود که رابطه زیر برقرار باشد:

1-Flow Violation
2-Rule Curve
3- Normal Water Level (NWL)
4- Trade off

5- None Failure

$$C_{iD_n} \rangle C_{iD_a} \quad (۹)$$

علاوه بر آن به منظور رها سازی آب از حجم مفید مخزن برای تامین نیاز، هزینه یک واحد انحراف ذخیره از منحنی فرمان (C_{jR}) بایستی کمتر از هزینه‌های مربوط به واحد یک واحدکمبود جریان باشد. لذا برای منظور کردن هزینه های نسبی در مدل بایستی رابطه زیر مد نظر باشد:

$$C_{iD_n} \rangle C_{iD_a} \rangle C_{jR} \quad (۱۰)$$

فرضیات و الگوریتم (فلوچارت) مدل

در انجام این محاسبات، برای دوره آماری آبدهی ورودی مخزن (۹۰-۱۳۵۰) و در هر گام زمانی ماهانه ضوابط بهره‌برداری زیر اعمال گردیده است:

هرگاه تراز مخزن از رقوم نرمال در گزینه‌های مورد بررسی بالاتر رود، حجم آب مازاد بر حجم مخزن به عنوان سرریز در نظر گرفته شده و تراز مخزن در رقوم نرمال تثبیت می‌گردد.

چنانچه تراز آب مخزن از رقوم حداقل پایین‌تر رود، اختلاف حجم مذکور تا حجم حداقل به عنوان کمبود آب محسوب شده و تراز مخزن در رقوم حداقل بهره برداری تثبیت خواهد شد.

در صورتی‌که سطح آب مخزن بین رقوم‌های نرمال و حداقل بهره‌برداری قرار داشته باشد، بهره‌برداری عادی با تأمین کل نیازهای آبی انجام می‌شود که همان سیاست بهره‌برداری استاندارد[1] (SOP) است.

در سیستم دو سدی منابع آب، مطابق شکل (۱)، حقابه‌های طرح خمین ابتدا از سرریزهای مازاد سد فرنق و سپس از طریق سد مخزنی نیشهر تامین گردیده است.

در تامین اهداف سد مخزنی نیشهر، ابتدا تامین نیازهای صنعتی مد نظر قرار گرفت اما اعتمادپذیری مورد نظر در تامین حقابه‌های کشاورزی نیز فراهم گردیده است.

مدل ترکیبی مورد استفاده در این تحقیق، شامل تلفیق برنامه شبکه جریان نرم‌افزار ARSP با برنامه نوشته شده در این تحقیق در محیط متلب[2] جهت اعمال قید اعتمادپذیری است که الگوریتم آن در شکل (۶) نشان داده شده است.

نتایج و بحث

همانطور که قبلاً اشاره گردید، در احداث سد مخزنی نیشهر خمین، دو هدف عمده مورد توجه است:

۱- تامین آب حقابه‌های کشاورزی

۲- توسعه اهداف صنعتی

بر این اساس، علاوه بر تامین آب حقابه‌های کشاورزی به میزان ۵۰ لیتر در ثانیه، اهداف دیگر شامل تامین آب مورد نیاز صنعت به میزان ۲۰ لیتر در ثانیه و با توزیع ماهانه ثابت مد نظر قرار گرفته است. با توجه به این که بر مبنای مطالعات برنامه ریزی منابع آب طرح‌های متداول سدسازی وزارت نیرو، اعتمادپذیری مطلوب برای تامین نیازهای فوق معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود، بنابراین سه گزینه اعتمادپذیری ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درصد در این تحقیق مطرح گردیده است و متناسب با هر گزینه، ابعاد بهینه طراحی سد مخزنی نیشهر پس از شبیه‌سازی سیستم منابع آب و بهینه‌سازی تخصیص آب در هر واحد زمانی برآورد گردیده است که نتایج آن به شرح جدول (۱) است.

ارزیابی گزینه‌ها نشان می‌دهد برای آن که اعتمادپذیری تامین نیازها از ۸۰ درصد (در گزینه ۳) به ۸۵ درصد (در گزینه ۲) افزایش یابد (یعنی در دوره ۴۸۰ ماهه بهره‌برداری از مخزن، برای آن‌که تعداد ماه‌هایی که در آن‌ها تامین کل نیاز صنعت وکشاورزی امکان‌پذیر است از ۳۸۴ ماه به ۴۰۸ ماه برسد)، تنها نیاز است که حجم مخزن را به میزان ۰/۸ میلیون متر مکعب افزایش دهیم (۰/۸=۳/۸-۴/۶). اما از سوی دیگر برای افزایش اعتمادپذیری از ۸۵ درصد (در گزینه ۲) به ۹۰ درصد (در گزینه ۱)، یعنی رساندن تعداد ماه‌های تامین کل آب مورد نیاز از ۴۰۸ به ۴۳۲ ماه، حجم طراحی مخزن بایستی به یکباره افزایش قابل توجهی یابد. میزان این افزایش، ۲/۴ میلیون متر مکعب است (۲/۴=۴/۶-۷) که منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های ساخت سد خواهد گردید.

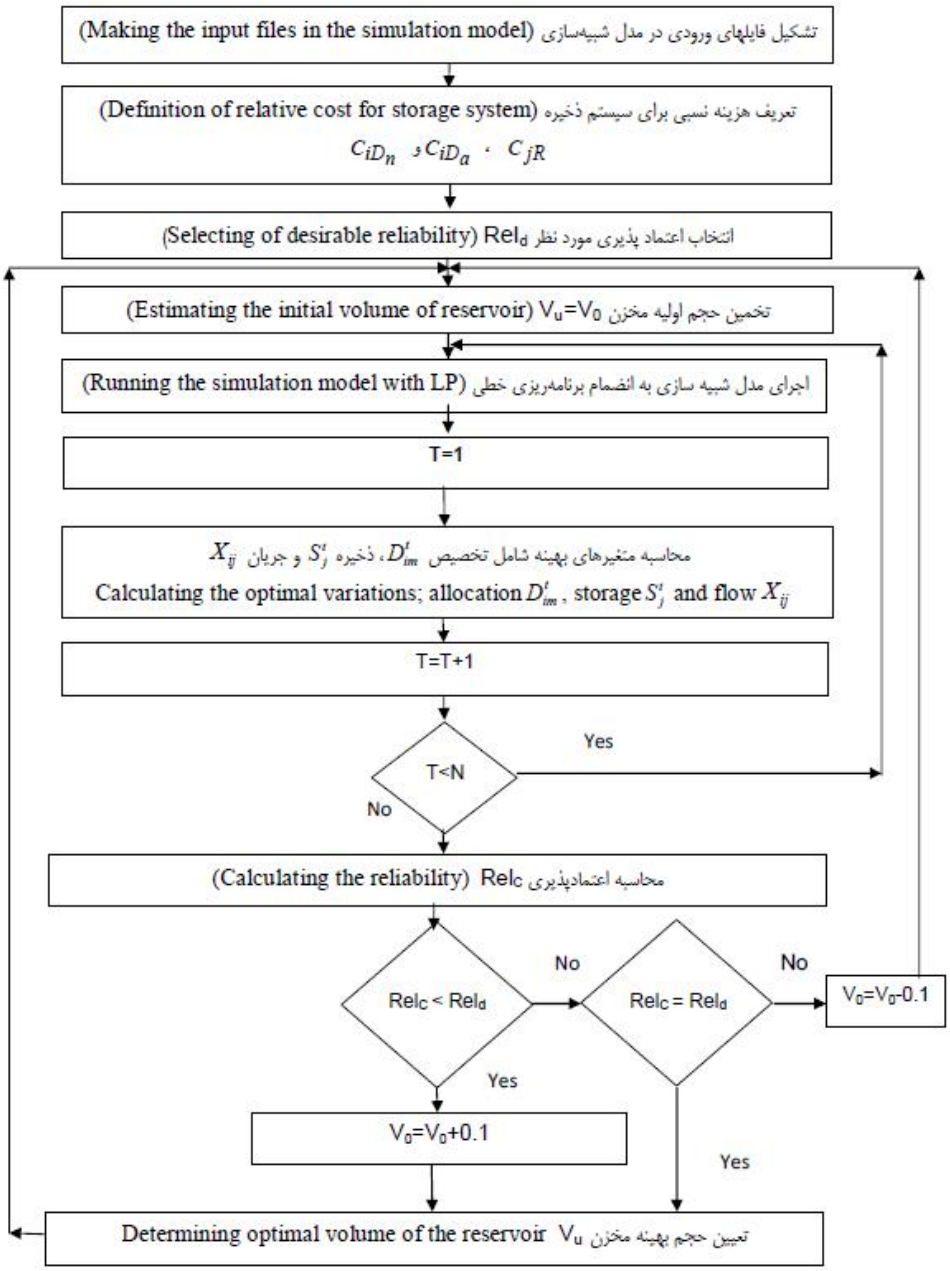
لازم به توضیح است هر چند که حفظ اعتمادپذیری مطلوب در تامین اهداف صنعتی در اولویت اول قرار گرفته است اما با توجه به تمرکز دوره برداشت حقابه‌های کشاورزی در ماه‌های پر آبی، متناسب با هر سناریوی اعتمادپذیری که برای تامین آب در بخش صنعت معرفی شود، در بخش کشاورزی نیز اعتمادپذیری تا همان حد افزایش یافته است. به منظور ارزیابی دقیق‌تر گزینه‌های فوق، می‌توان شاخص اصلاح شده کمبود سو و چنگ (۱۴) را به کار برد که در آن جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی لحاظ شده است و توسط سایر محققین نیز به کار رفته است (۷ و ۲۷).

$$MSI = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^{n} \left(\frac{TS_t}{TD_t}\right)^2 \quad (۱۱)$$

در جدول (۲)، ارزیابی کمبودها برای گزینه‌های مختلف اعتمادپذیری از طریق دو شاخص میانگین و اصلاح شده کمبود صورت گرفته است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با افزایش اعتمادپذیری، مقادیر هر دو شاخص کاهش می‌یابد. اما روند کاهش

1- Standard Operation Policy
2- Matlab Software

آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. بدین ترتیب کـه در شـاخص میـانگین کمبود، شیب کاهش کمبودها افزایش یافته است. زیرا مطـابق شـکل (۷) با افزایش اعتمادپذیری، سیسـتم مجبـور بـه تـامین کمبـودهـای شدیدتر خواهد شد که اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش بیشـتر میـانگین کمبودها خواهد داشت. اما از طرف دیگر، چون نیازهـای تـامین نشـده باقیمانده نیز شدیدتر شده و با اختصاص جریمه بـالاتر بـه کمبودهـای شدیدتر در شاخص اصلاح شده کمبود، شیب کاهش آن یکنواخـت‌تـر باقیمانده است.



شکل ٦- الگوریتم مدل ترکیبی مورد استفاده در این تحقیق

Figure 6- The algorithm of hybrid model utilized in this research

جدول ۱- گزینه‌های طراحی ابعاد مخزن سد نیشهر بر اساس اعتمادپذیری

Table 1- The alternatives of reservoir size design based on reliability

گزینه Alternative	اعتماد پذیری Reliability %	تراز نرمال Normal level M	ارتفاع سد Dam height m	حجم کل Total volume (MCM)	حجم مفید Useful volume (MCM)
1	90	1920.6	29.6	7	5.9
2	85	1917.2	26.2	4.6	3.5
3	80	1915.8	24.8	3.8	2.7

MCM: میلیون متر مکعب، M متر از سطح آزاد آب دریا و m: متر

MCM: Million Cubic Meters, M: Meter of average sea level, m: meter

جدول ۲- مقادیر کمبود دراز مدت در تامین اهداف مختلف سد نیشهر

Table 2- The long-term deficit values for satisfying different purposes

گزینه Alternative	اعتمادپذیری کشاورزی Agricultural reliability %	کمبود کشاورزی Agricultural deficit %		کمبود صنعت Industrial deficit %	
		میانگین Average	شاخص اصلاح شده Modified index	میانگین Average	شاخص اصلاح شده Modified index
1	90	13.66	8.87	9.69	9.6
2	85	19.03	12.16	14.69	14.6
3	80	21.36	15.54	19.37	19.06

ترتیب و سایر اطلاعات گزینه‌ها مانند جدول قبل است.

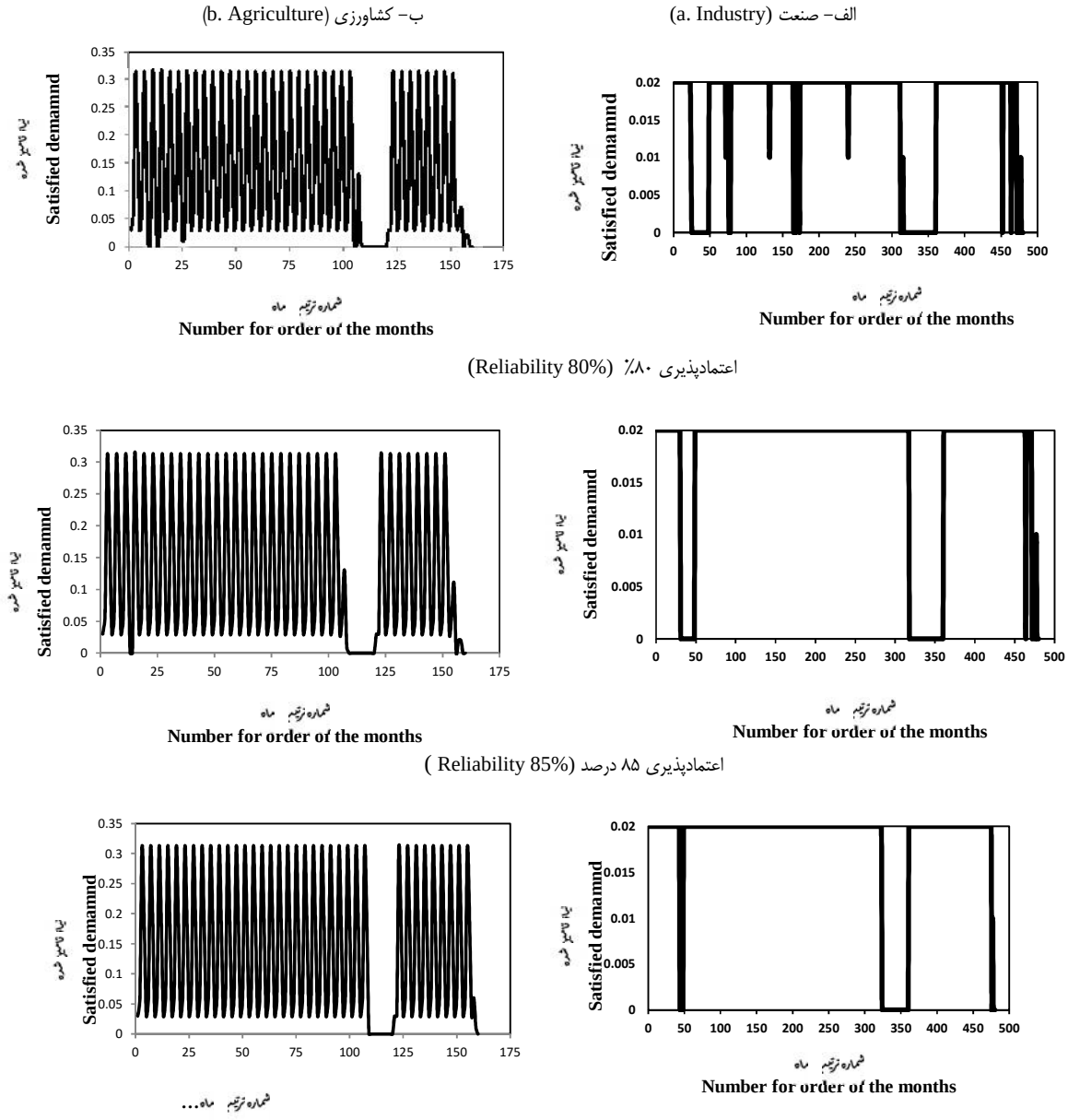
The order and other information of alternative are similar to last table.

در جدول (۳) مقادیر کمبود سالانه و در شکل (۷) سری ماهانه نیازهای تامین شده بخش صنعت و کشاورزی در کل دوره آماری و برای سه گزینه اعتمادپذیری مورد نظر نشان داده شده است. لازم به توضیح است در نمودارهای بخش الف شکل (۷) که مربوط به نیازهای تامین شده صنعت با تقاضای ماهانه ثابت است، در مواردی که نیاز تامین شده از خط افقی ۰/۰۲ لیتر بر ثانیه به صورت انحرافات عمودی به سمت پایین، تخطی نموده است با کمبود مواجه هستیم. در نمودارهای بخش ب که مربوط به نیازهای تامین شده کشاورزی با تقاضای ماهانه متغیر است، در مواردی که نمودار از حالت تغییرات منظم ماهانه خارج و به سمت پایین منحرف شده است، بیانگر کمبود در آن دوره زمانی است.

جدول ۳- مقادیر شاخص اصلاح شده کمبود سالانه در تامین اهداف مختلف سد نیشهر

Table 3- The alternative of reservoir size design based on reliability

سال آبی Water year	کمبود کشاورزی Agricultural deficit %			کمبود صنعت Industrial deficit %		
	گزینه‌های مختلف اعتمادپذیری Different alternatives for reliability					
	80	85	90	80	85	90
1352-53	50	0	0	100	50	0
1353-54	50	50	0	100	100	41.7
1355-56	0	0	0	100	0	0
1356-57	22.2	0	0	25	0	0
1376-77	80.9	30.9	0	93.7	58.3	8.3
1377-78	100	100	100	100	100	100
1378-79	100	100	100	100	100	100
1379-80	100	100	100	100	100	100
1380-81	6.2	6.2	6.2	0	0	0
1387-88	8.4	0	0	8.3	0	0
1388-89	40	35.4	0	8.3	8.3	0
1389-90	63.9	63.9	48.4	68.7	68.7	35.4



شکل ۷- سری زمانی نیازهای تامین شده برای گزینه‌های مختلف اعتماد پذیری- بر حسب لیتر بر ثانیه

Figure 7- Time series of satisfied demands for different reliability alternatives

مقایسه کمبودهای دازمدت صنعت و کشاورزی در جدول (۲) نشان داده است که مقادیر میانگین کمبود در بخش صنعت با توجه به اولویت بالاتر تامین آن، کمتر بوده است اما مطابق جدول (۳) و شکل (۷)، کمبودهای بخش صنعت در بسیاری از موارد شدیدتر بوده‌اند. بنابراین بر مبنای شاخص اصلاح شده کمبود درازمدت و با اختصاص جریمه بالاتر به کمبودهای شدیدتر، بخش کشاورزی وضعیت مطلوب‌تری را نشان داده است که تطبیق نیاز ماهانه با ماه‌های پرآب سال در کشاورزی از دلایل اصلی آن است.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، به منظور برآورد حجم بهینه مخزن که یک مساله کلاسیک در منابع آب است از تلفیق مدل شبیه‌سازی ARSP که خود مجهز به بهینه‌سازی خطی شبکه جریان است با یک مدل توسعه

یافته در محیط متلب جهت اعمال قید اعتمادپذیری استفاده شده است. در این حالت، متغیر جریان در کلیه کمان‌ها و گره‌های پیکربندی سیستم که مهم‌ترین آن شامل تخصیص نیازهای مختلف و ذخیره مخزن در انتهای هر ماه است، با استفاده برنامه خطی برآورد گردید و در ادامه حجم بهینه مخزن متناسب با هر گزینه اعتمادپذیری بدست آمد. مدل مورد استفاده در این تحقیق در مقایسه با مدل مختلط برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح که روش متداول برای حل مساله فوق است، یک بهسازی در بیلان جرم سنتی و مسیریابی جریان در شبکه ایجاد نمود و انعطاف‌پذیری را برای مدیریت و برنامه‌ریزی در سیستم‌های پیچیده افزایش داد.

بررسی سه گزینه اعتمادپذیری ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درصد که سطوح اطمینان متداول برای تامین نیازهای کشاورزی و صنعت است، نشان داد که با افزایش سطح مطلوب اعتماد پذیری، از اعتماد پذیری ۸۰ به ۸۵ درصد، ابتدا خشکسالی‌های خفیف‌تر با افزایش حجم بهینه مخزن پوشش داده می‌شود و سپس از اعتماد پذیری ۸۵ به ۹۰ درصد، حجم مخزن بهینه مورد نیاز افزایش معنی‌داری خواهد یافت تا قادر به تامین آب دوره‌های خشکسالی شدیدتر باقیمانده باشد. در حقیقت، با مد نظر قراردادن اعتمادپذیری‌های بالاتر، تغییرات حجم مخزن مورد نیاز برای افزایش یک واحد اعتماد پذیری، افزایش خواهد یافت و هر چه خشکسالی‌ها شدیدتر و طولانی‌تر باشند، روند افزایش آن محسوس‌تر خواهد بود. بنابراین توصیه می‌شود در طرحهای مطالعاتی سد سازی بر خلاف رویه معمول، گزینه اعتمادپذیری به صورت از پیش تعیین شده به کار نرود و انتخاب گزینه نهایی با یک آنالیز حساسیت ساده در بازه مطلوب اعتمادپذیری انجام گیرد. در این تحقیق، آنالیز حساسیت ابعاد مخزن نسبت به اعتمادپذیری نشان داد که در بین سه گزینه مورد بررسی، گزینه شماره ۲ (اعتمادپذیری ۸۵ درصد) مقبولیت بیشتری دارد. همچنین نتایج نشان داد، هر چند با افزایش اعتمادپذیری، هر دو شاخص ارزیابی کمبود درازمدت شامل میانگین کمبود و شاخص اصلاح شده کمبود، کاهش یافته است اما شیب کاهش آن در هر دو شاخص یکسان نبوده است که این مورد نیز کاملاً متاثر از میزان کمبودهای شدید اتفاق افتاده در بازه اعتماد پذیری مورد بررسی دارد.

منابع

1- Abedian A., Ghiasi M.H., Dehghan-Manshadi B. 2006. Effect of a linear exponential penalty function on the GA,'s efficiency in optimization of a laminated composite panel, International Journal of Computational Intelligence, 2(1):5-10.

2-Anonymous 2012. Regional Water Company of Markazi Province 2012, First stage studies of Neishahr reservoir, Water Resource Planning Report.

3-Anonymous 1988. Acres Reservoir Simulation Program. Level I, II. Introductory and Reference Manual. Acres International Limited. Niagara Falls. Ontario. Canada.

4-Bogardi J., and Kundzewicz Z.W. 2002. Risk, reliability, uncertainty and robustness of water resource systems (International Hydrology Series), Cambridge University Press, Cambridge.

5-Cai X.M., McKinney D.C., and Lasdon L.S. 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach, Advances in Water Resources, 24(6):667-676.

6- Chang J.F., Chen L., and Chang C.L. 2005. Optimizing reservoir operating rule curves by genetic algorithms. Hydrological Processes, 19:2277-2289.

7-Chang L.C., Chang F.J., Wang K.W., and Dai Sh.Y. 2010. Constrained genetic algorithm for optimizing multi- use reservoir operation, Journal of Hydrology, 390:66-74.

8- Dahe P.D., and Srivastava D.K. 2002. Multi reservoir multi yield model with allowable deficit in annual yield, Water Resource Planning and Management, ASCE, 128(6):406–414.

9- Dandy G.C., Connarty M.C., and Loucks D.P. 1997. Comparison of methods for yield assessment of multiple reservoir systems, Water Resource Planning and Management, ASCE, 123(1):350–358.

10- Ganji A., and Jowkarshorijeh L. 2012, Advance first order second moment (AFOSM) method for single reservoir operation reliability analysis: a case study, Stochastic Environmental Research Risk Assessment, 26:33–42.

11-Guan J., Kentel, E., and Aral M.M. 2008. Genetic algorithm for constrained optimization models and its application in ground water resource managemen, Water Resources Planning and Management, ASCE, 134(1):64–72.

12-Hashimoto T., Loucks D.P., and Stedinger J. 1982. Reliability, resilience and vulnerability for water resources system performance evaluation, Water Resource Research, 18(1): 14–20.

13-Heidari M., Chow V.T., Kokotovic, P.V., and Meredith D.D. 1971. Discrete differential dynamic programming approach to water resource system optimization, Water Resource Research, 7(2):273-282.

14- Hsu N.S., and Cheng K.W. 2002. Network flow optimization model for basin scale water supply planning, Water Resource Planning and Management, ASCE, 128(2):102–112.

15- Karamouz M., Szidarovszky F., and Zahraie B. 2003. Water resources system analysis, Lewis Publishers, Boca Raton.

16- Labadie J.W. 2004. Optimal operation of multi-reservoir systems: state-of-the-art review, Water Resource Planning

and Management, 130(2):93–111.
17- Lall U., and Miller C.W. 1988. An optimization model for screening multipurpose reservoir systems, Water Resource Research, 24(7): 953–968.
18- Lall U. 1995. Yield model for screening surface and ground-water development, Water Resource Planning and Management, ASCE, 121(1):9–22.
19- Li Y.P., Huang G.H., and Chen X. 2009. Multistage scenario-based interval stochastic programming for planning water resources allocation, Stochastic Environmental Research Risk Assessment, 23(6):781–792.
20- Loucks D.P., Stedinger J.R., and Haith, D.A. 1981. Water resource systems planning and analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
21- Mirakbari M, and Ganji A. (2010). Reliability analysis of a rangeland system: the application of Profust theory, Stochastic Environmental Research Risk Assessment, 24(3):399–409.
22- Oliveira R., and Loucks D. 1997. Operating rules for multi-reservoir systems, Water Resource Research, 33(4): 839–852.
23-Park Y., Yeghiazarian L., Stedinger J.R., and Montemagno C.D. 2009. Numerical approach to cryptosporidium risk assessment using reliability method, Stochastic Environmental Research Risk Assessment, 22(2): 169–183
24-Sigvaldason O.T. 1976. A simulation model for operating a multipurpose multi-reservoir system, Water Resource Research, 12(2): 263-278.
25-Sinha A.K., Rao B.V., and Lall U. 1999. Yield model for screening multipurpose reservoir systems, Water Resource Planning and Management, ASCE, 125(6): 325–332.
26-Stedinger J.R., Sule B.F., and Pei D. 1983. Multiple reservoir system screening models, Water Resource Research, 24(7):953–968.
27-Tu M.Y., Hsu N.S., Tsai F.T.C., and Yeh W.W.G. 2008. Optimization of hedging rules for reservoir operations, Water Resources Planning and Management, ASCE, 134(1):3–13.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 672-684

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۶۸۴-۶۷۲

Estimating the Optimal Capacity for Reservoir Dam based on Reliability Level for Meeting Demands

M. Taghian[1]*

Received: 24-04-2014
Accepted: 17-08-2015

Introduction: One of the practical and classic problems in the water resource studies is estimation of the optimal reservoir capacity to satisfy demands. However, full supplying demands for total periods need a very high dam to supply demands during severe drought conditions. That means a major part of reservoir capacity and costs is only usable for a short period of the reservoir lifetime, which would be unjustified in economic analysis. Thus, in the proposed method and model, the full meeting demand is only possible for a percent time of the statistical period that is according to reliability constraint. In the general methods, although this concept apparently seems simple, there is a necessity to add binary variables for meeting or not meeting demands in the linear programming model structures. Thus, with many binary variables, solving the problem will be time consuming and difficult. Another way to solve the problem is the application of the yield model. This model includes some simpler assumptions and that is so difficult to consider details of the water resource system. The applicationof evolutionary algorithms, for the problems have many constraints, is also very complicated. Therefore, this study pursues another solution.

Materials and Methods: In this study, for development and improvement the usual methods, instead of mix integer linear programming (MILP) and the above methods, a simulation model including flow network linear programming is used coupled with an interface manual code in Matlab to account the reliability based on output file of the simulation model. The acre reservoir simulation program (ARSP) has been utilized as a simulation model. A major advantage of the ARSP is its inherent flexibility in defining the operating policies through a penalty structure specified by the user. The ARSP utilizes network flow optimization techniques to handle a subset of general linear programming (LP) problems for individual time intervals. The objective of the LP application is to minimize a cost function, which reflects relative benefits derived from a particular operating policy. In this model, the priority for supplying different demands is defined based on a penalty structure. In this approach, the original system elements are delineated by nodes and arcs. Accordingly, nodes are junction points and arcs are the basic elements used to represent channels, and reservoir storages for each time interval. There are arcs connecting reservoir and demand nodes to the source and sink node. The source node supplies water to nodes within the network to simulate local inflow and the sink node receives flow from nodes within the network to represent consumptive use. Application of the simulation model causes that the configuration of the water resource system with more details is investigated. In this research, tree alternative for reliability including 80, 85 and 90 percent were considered, which are usual reliability for satisfying demands in water resource management in Iran. Then, for the each reliability, optimal reservoir volume was calculated along with optimal flow in each arc. The inflow to the model is established based on a long-term period of historical data (48 years) with monthly time interval.

Results Discussion: Evaluation of the alternative, defined for reliability, demonstrated if the reliability increases from 85 to 90 %, the incremental volume of the reservoir will be considerable. In fact, for a higher reliability the model must supply water for a more severe drought. However, for the reliability from 80 to 85% the required incremental volume is negligible. Thus, selecting the reliability of 85% is more justified, by which the optimal reservoir volume will be 4.6 million cubic meters. Additionally, increasing of the reliability resulted in decreasing in average deficit and modified shortage index (MSI). However, these two deficit indexes have no same descending trend. The MSI has a less variations versus the reliability that is due to use square deficit in its formulation.

Conclusion: The model used in this research, in comparison to the MILP that is a common method for solving the above problem, make a reform in the traditional mass balance and flow routing in the network. The results show the reservoir capacity sensitivity versus the reliability, in which the sensitivity amount is affected by

1- Assistant Professor, Water Engineering Department, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran
(*-Corresponding Author Email: mehrdad.taghian@gmail.com)

the intensity and duration drought periods. In fact, with considering higher reliability for supplying demands, a variation of the required reservoir volume has an ascending trend. Thus, application of predefined reliability, that is a common method in designing reservoir volume in Iran, is not appropriate for all drought conditions. In this regard, a sensitivity analysis of reservoir volume versus the reliability accompanying an economical analysis is recommended.

Keywords: Demand Prioritizing, Linear Programming, Optimization, Reservoir Capacity, Simulation