فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۸، بهار ۹۸

بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: سد درودزن)

حسن ترابی [۱]

رضا دهقانی [۲*]

reza.dehghani67@yahoo.com

احمد گودرزی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۸**

چکیده

بهره‌برداری بهینه از مخازن چندمنظوره یکی از مسایل پیچیده و گاهاً غیرخطی مطرح در بهینه‌سازی چندهدفه است. یکی از راهکارهای تصمیم سازی مناسب جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب، مدل‌سازی مسایل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها با استفاده از روش‌های مختلف ریاضی بوده است.

در این پژوهش وضعیت فعلی بهره‌برداری و ارایه سیاست بهره‌برداری بهینه و مناسب برای مخزن سد مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از الگوی برنامه‌ریزی خطی، مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد موردنظر استفاده شد. با استفاده از داده‌های جریان ورودی، نیازها و تبخیر شبیه‌سازی سیستم مخزن انجام گرفت.

نتایج حاصله نشان داد که سیاست بهره‌برداری کنونی مخزن تنها در ماه‌های پرآب توانایی تأمین نیازها را دارد، درصورتی‌که ماه‌های بحرانی مصرف، ماه‌های کم آب هستند. همچنین میزان ذخیره مخزن با استفاده از برنامه‌ریزی خطی درروش SQحدود ۲۳ درصد بیش‌تر از روش بهره‌برداری کنونی مخزن برآورد گردید.

درمجموع نتایج نشان داد استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی می‌تواند درزمینه بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها مؤثر باشد که در نوبه خود برای تسهیل توسعه و پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریتی منابع آب مفید است.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، بهره‌برداری، سد.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

۲- دکترای سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- دکترای سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

Human & Environment., No. 48, Spring 2019

Optimal utilization of Reservoir by using of linear programming model

(Case study: Dorudzan dam)

Hassan Torabi [1]

Reza Dehghani [2*] *(Corresponding Author)*

reza.dehghani67@yahoo.com

Ahmad Godarzi [3]

Abstract

Optimal utilization of multi-purpose reservoirs is one of the complex and sometimes non-linear issues in multi-objective optimization. One of the appropriate decision-making ways for optimal utilization of the water resources was the modeling of optimization problems of utilization from dam reservoir by using of different mathematical methods.

In this study was evaluated, the current status of utilization and providing of optimum utilization and appropriate policy for the dam reservoir. For this purpose was used linear programming model and optimization of utilization of intended reservoir dam model. Evaporation simulation of the system were performed by using imput flow.

The results showed that the existing policy of reservoir utilization, only in the raining pick months is capable of demand meeting, while low-water months are critical use-months. Also, the value of reservoir saving by using of linear programming model at SQ method estimated in about 23% more than the existing reservoir utilization method.

In conclusion, the result showed that using of linear programming model can be effective in optimal utilization of reservoir dams. Which inturn helps to facilitate the development and implementation of water resources management strategies.

Key Words: Linear Programming, Optimization, Operation, Dam.

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Lorestan, Khorramabad, Iran.

2- PhD of Water Structure, Faculty of Agric., University of Lorestan, Khorramabad, Iran. **(Corresponding Author)*

3- PhD of Water Structure, Faculty of Agric., University of Lorestan, Khorramabad, Iran.

مقدمه

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا، نیاز به آب، افزایش‌یافته است؛ احداث مخازن، جهت تأمین نیاز آبی، یک امر اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر به علت مغایرت در رژیم آب دهی رودخانه‌ها با نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی، احداث سیستم‌های ذخیره‌ای جهت تنظیم جریانات طبیعی رودخانه‌ها و تأمین نیازهای آبی، یکی از بهترین شیوه‌های استفاده از منابع آب می‌باشد. در مسایل پیچیده بهینه‌سازی هم چون مساله بهره‌برداری از مخزن سد، با افزایش ابعاد، تعداد متغیرها، تعداد قیدها، امکان حل این گونه مسایل با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی و با روش‌های صریح محاسباتی موجود کاهش یافته و رسیدن به جواب بهینه مطلق در این شرایط، بسیار مشکل می‌باشد. به این ترتیب، استفاده از روش‌های کاوشی یا الگوریتم‌های تکاملی به عنوان یک روش بهینه‌سازی قدرتمند جهت بهینه‌سازی سیستم‌های تک مخزنه و چند مخزنه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در سال های اخیر استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در مطالعات هیدرولوژیکی موردتوجه محققین قرارگرفته است، که ازجمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

برهانی داریان و همکاران (۱) از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سد استفاده نمودند و نتایج نشان داد الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم مورچگان با برنامه‌ریزی پویا در یافتن جواب بهینه و منحنی‌های فرمان کارایی بهتری دارد. برهانی داریان و شهیدی (۲) کارایی روش‌های شبیه‌سازی آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان را در مساله بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دز، مورد بررسی قرار دادند. روش فروشنده دوره‌گرد و برنامه‌ریزی پویا نیز به عنوان یک روش حل و معیاری برای سنجش سه روش دیگر به کار گرفته شد. مقایسه روش‌ها نشان داد که الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ روش قدرت مندی نسبت به سایر روش‌ها است و در زمان کم‌تری به نتایج بهتری می‌رسد. هاشمی نسب و همکاران (۳) از الگوریتم‌های PSO، مورچگان و ژنتیک جهت ارایه سیاست بهینه بهره‌برداری سد کلان ملایر استفاده نمودند. در این تحقیق تابع هدف کمینه‌سازی مجموع اختلافات خروجی مخزن و نیاز آبی پایین دست، در هر دوره بوده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که اعمال الگوریتم جامعه مورچگان در فرایند کمینه کردن تابع هدف باعث بهبود چشم گیر مقدار تابع هدف شده است. آذرانفر و همکاران (۴) در پژوهشی به بررسی مساله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد شهرچای و با هدف تأمین نیاز پایین‌دست از جمله نیاز شرب، کشاورزی و محیط زیست پرداختند. در این مطالعه به منظور تعیین میزان وابستگی رهاسازی به عوامل مختلف از جمله حجم ذخیره و دبی رودخانه، روابط بین متغیرها به صورت یک رابطه غیر خطی درجه دو در نظر گرفته‌شد. این مطالعه مقایسه‌ای بین الگوریتم های آنیلینگ، ژنتیک و PSO انجام گرفته که برای هر کدام از الگوریتم‌ها از طریق ۱۰ مرتبه اجرای برنامه (به دلیل وجود متغیرهای تصادفی در هر یک از الگوریتم‌ها) پارامترهای بهینه به دست آمد و مقایسه نتایج منتهی به تعیین بهترین روش برای حل مساله گردید که الگوریتم بهینه‌سازی PSO به صورت مؤثرتری نسبت به سایر روش‌ها عمل نمود. کانگرام و لوکهام (۵) در پژوهشی دیگر از مدل شامل روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان شرطی و مدل شبیه‌سازی مخزن، جهت بررسی منحنی فرمان ماهانه مخزن لامپائو[1] واقع در شمال شرقی تایلند استفاده نمودند و برای ارزیابی مدل ارایه شده خود از ۴۰۰ داده جریان تولیدی مخزن استفاده کرده و نتایج با روش الگوریتم GA و نحوه بهره‌برداری فعلی مقایسه نمودند و نتایج نشان داد که منحنی فرمان[2] تولید شده به وسیله روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان شرطی و روش شبیه‌سازی، الگوی مشابهی از منحنی‌های فرمان را در مقایسه با منحنی فرمان تولید شده به وسیله الگوریتم GA ارائه داده است. احمد و

1- Lampao
2- Role Curve

تانگ (۶) از سوی دیگر در پژوهشی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی به تخصیص بهینه منابع آب با هدف بهینه‌سازی تقاضا و منافع خالص اقتصادی پرداختند و نشان دادند مدل برنامه‌ریزی خطی مدلی مؤثر و مفید جهت بهینه‌سازی می باشد. درمجموع با توجه به پژوهش های انجام شده و همچنین اهمیت سد درودزن از لحاظ شرب و کشاورزی، تغییرات حجم مخزن به منظور پیش بینی و اقدامات مدیریتی جهت بهینه‌سازی حجم آب موجود در مخزن با استفاده از برنامه‌ریزی خطی از جمله اهداف پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

مطالعات انجام شده درزمینه کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی و برنامه‌ریزی خطی نمایان گر اهمیت این روش‌ها در بهره‌برداری بهینه و اصولی از منابع آب می باشد. بنابراین در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی خطی ارایه سیاست های بهره‌برداری بهینه استفاده شد(۷).

سد مخزنی درودزن در یک‌صد کیلومتری شمال غرب شیراز، بر روی رودخانه کر احداث گردیده است و با تنظیم حدود ۷۶۰ میلیون متر مکعب آب در سال، آب کشاورزی حدود ۴۲ هزار هکتار از اراضی بلوک را مجرد و حدود ۳۴ هزار هکتار از اراضی منطقه کربال و کناره مرودشت را تأمین می‌نماید. سد درودزن، بین طول های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی واقع گردیده است. مساحت این حوضه ۴۱۱۶ کیلومترمتر مربع است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و در جدول ۱ مشخصات هندسی مخزن نشان داده شده است. همچنین نمودار تغییرات کمی مقادیر متوسط ماهیانه مصرف آب درپایین دست سد درودزن در طول دوران بهره‌برداری در شکل ۲ ارایه شده است.

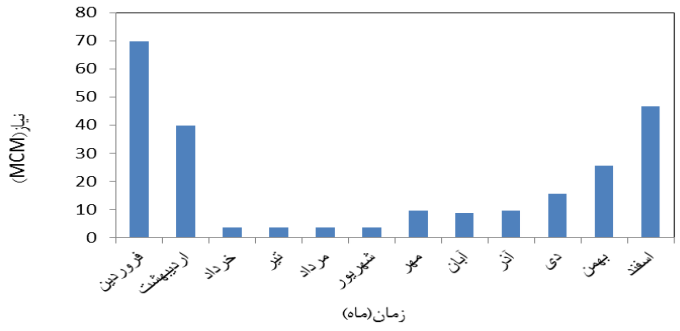
جدول ۱- مشخصات هندسی مخزن سد درودزن

تراز تاج (m. a. s. l.)	۱۸۶۳/۵
تراز نرمال(m. a. s. l.)	۱۶۷۶/۵
تراز بستر(m. a. s. l.)	۱۶۲۳/۵
ارتفاع سد از بستر (m)	۶۰
حجم مخزن در تراز نرمال (MCM)	۹۹۳
حجم مخزن در تراز حداقل (MCM)	۱۳۳
حجم مفید مخزن (MCM)	۸۰۰

شکل۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد درودزن

جدول۲- نیاز های پایین دست سد درودزن

	تبخیر(mm)	کشاورزی(MCM)	شرب(MCM)	صنعت(MCM)
فروردین	۷۶/۸۸۸	۶۷/۵۷۰	۲/۵۶۲	۱/۱۳۶
اردیبهشت	۳۳/۷۵۲	۳۶/۱۴۸	۲/۵۶۲	۱/۱۳۶
خرداد	۲۰/۱۵۶	۰	۲/۵۶۲	۱/۱۳۶
تیر	۳۷/۳۹۰	۰	۲/۵۶۲	۱/۱۳۶
مرداد	۹۷/۸۷۴	۰	۲/۵۶۲	۱/۱۳۶
شهریور	۱۳۶/۷۶۸	۰	۲/۴۸۰	۱/۱۰۰
مهر	۱۹۲/۱۴۰	۱۰/۸۷۷	۲/۴۸۰	۱/۱۰۰
آبان	۲۱۷/۴۵۶	۹/۹۲۲	۲/۴۸۰	۱/۱۰۰
آذر	۲۲۳/۰۹۶	۷/۷۲۶	۲/۴۸۰	۱/۱۰۰
دی	۱۸۰/۹۷۴	۱۴/۹۵۰	۲/۴۸۰	۱/۱۰۰
بهمن	۱۳۴/۵۹۶	۲۵/۰۹۱	۲/۳۹۷	۱/۰۶۳
اسفند	۱۰۴/۱۲۸	۴۴/۱۷۷	۲/۵۶۲	۱/۱۳۶



شکل۲ –تغییرات کمی مقادیر متوسط ماهیانه مصرف آب در شبکه آبگیر سد درودزن

سیاست های تصمیم گیری خطی: سیاست های تصمیم گیری خطی به دو صورت معین و احتمالی به کار می روند. طی سالیان سیاست تصمیم گیری خطی که برداشت را به ذخیره و پارامترهای تصمیم گیری مرتبط می سازد، به صورت فرضیات محکمی در کاربرد برنامه‌ریزی خطی با قیود شانس در بهره‌برداری و طراحی مخزن در آمده که به صورت زیر تعریف می شود.

سیاست تصمیم گیری نوع SQ:

لاکسی در سال ۱۹۷۰ LDR زیر را پیشنهاد نمود:

$$R_t=S_{t-1}+Q_t-b_t \quad (۱)$$

که Q_t ورودی دوره حاضر می باشد.

این سیاست، مدل توسعه یافته نوع S می باشد و برداشت در هر دوره بستگی به ذخیره اصلی آن دوره یعنی S_t و جریان ورودی دوره حاضر Q_t و یک پارامتر تصمیم گیری غیرمنفی b_t دارد. سیاست SQ بر این فرض استوار است که یک پیش بینی کامل از جریان های ورودی حوزه در اختیار باشد(۸).

کاربرد مدل های احتمالی در سیستم مخازن : مدل های شانس محدود برای بهینه یابی سیستم مخزن توسط ری ولی در سال ۱۹۶۹ پایه گذاری شد. این مدل ها از دو سری توابع حد تشکیل شده اند. یک سری از این توابع حدود برداشت از مخزن را محدود می سازد و سری دیگر حدود برداشت از مخزن را معین می کند. این توابع همچنین باید درصد مواقعی که برداشت و حجم مخزن برآورده نمی شود را مشخص کنند.

در سیستم مخازن معادله پیوستگی برای ذخیره برداشت آب، به صورت زیر می باشد:

$$S_{t-1} = S_t + Q_t - R \quad (۲)$$

توزیع احتمالی ورودی ها از داده‌های تاریخی تخمین زده می شود. ولی توزیع احتمالی R_t و S_t بستگی به سیایت بهره‌برداری دارد.با فرض این که حجم S_t مخزن با احتمال α بین S_{min} حجم کمینه و S_{max} ، حجم بیشینه ی مخزن باشد، با توجه به شرایط احتمالاتی توابع حد خواهیم داشت(۹) :

$$Prob(s_t > S_{min}) > \alpha_t \quad (۳)$$

$$Prob(s_t > S_{max}) > \alpha_t \quad (۴)$$

همچنین با فرض این که R_t با احتمال β بین R_{min} و R_{max} ، برداشت های کمینه و بیشینه از مخزن باشد، روابط زیر حاصل می شود:

$$Prob(Rt > Rmin) > \beta t \quad (۵)$$

$$Prob(Rt > Rmin) > \beta t \quad (۶)$$

در توسعه مدل بهره‌برداری از مخزن از روابط (۳) تا (۶) و سیاست های نوع S و نوع SQ، استفاده شد. در توسعه این مدل تابع هدف به صورت بیشینه سازی خروجی از مخزن با توجه به سیاست های اعمال شده در نظر گرفته شد. قیود استفاده شده در مدل شامل حجم مرده مخزن در تراز حداقل و حجم بیشینه مخزن می باشد.

در سیاست تصمیم گیری نوع SQ ،روابط احتمالی (۳) و (۴) که حدود تغییرات ذخیره را محدود می کنند، به صورت قطعی خواهند بود.

برای دست یابی به سیاست تصمیم گیری نوع SQ ، با استفاده از رابطه های (۱) و (۲) رابطه ی زیر به دست می آید :

$$St+1 = bt \quad (۷)$$

و با جایگذاری رابطه (۷) در رابطه (۱) خواهیم داشت :

$$R\,t = Q\,t\text{-}I - b\,t \quad (۸)$$

با جایگذاری رابطه (۸) در رابطه احتمالی (۵) و (۶) خواهیم داشت :

$$Prob(Q\,t + b\,t\text{-}1 - b\,t > R\,min) > \beta\,t \quad (۹)$$

$$Prob(Q\,t + b\,t\text{-}1 - b\,t > R\,max) > \beta\,t \quad (۱۰)$$

و مدل قطعی این روابط به صورت زیر خواهد بود :

$$Qt\text{-}1\ \beta t > Rmin + b\,t - b\,t\text{-}1 \quad (۱۱)$$

$$Qt\text{-}1\ 1\text{-}\beta t > Rmax + b\,t - b\,t\text{-} \quad (۱۲)$$

تعریف شده‌اند. S_{min}= 10 وS_{max} 66 =که برای اجرای مدل نیز برابر نیاز قرار داده شد.مقادیر R_{max}حداکثر خروجی مخزن αو βبا توجه به بررسی های انجام شده از رایج ترین مقادیر آن که برابر۰/۰۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵ می باشد یعنی قابلیت های اعتماد ۸۵، ۷۵، ۵۰، ۹۵ درصد در نظر گرفته شد.

فرضیات مدل: در مطالعات بهره‌برداری سیستم های منابع آب از یک سری عوامل و اطلاعات و آمار استفاده می شود که این عوامل نسبت به زمان و مکان تغییر می کنند و باید آن ها را برای آینده پیش بینی نمود. لذا تعیین دقیق آن ها مشکل و یا حتی در بعضی موارد غیر ممکن می باشد. به همین جهت در مدل های بهره‌برداری به ناچار از فرضیات زیر استفاده شده است(۱۰).

- تابع هدف این مدل بیشینه کردن خروجی از مخزن در نظر گرفته شد.

- از قابلیت های اعتماد رایج در بهره‌برداری مخازن یعنی ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد استفاده گردید.

- این مدل به صورت تنظیم بین سالی عمل کرده و فاصله زمانی بهره‌برداری، ماه در نظر گرفته شده و در مدل از متوسط-های ماهانه استفاده شده است.

-کل جریان ورودی به مخازن در ابتدای ماه وارد مخزن گردیده و آب سرریز شده احتمالی محاسبه می گردد.

- در حالت ابتدایی مخازن به صورت پر در نظر گرفته شد.

– حجم تبخیر از دریاچه بر اساس نمودار خطی شده مساحت – ارتفاع - حجم محاسبه گردید.

- نیازهای کشاورزی در طول دوره بهره‌برداری یکنواخت فرض شده است.

-میزان تأمین آب آبیاری از حجم فعال مخزن و بدون محدودیت صورت گرفته است.

-کاهش حجم مخزن در اثر تجمع رسوب یکنواخت فرض شده است.

برنامه‌ریزی خطی

مدل های برنامه‌ریزی منابع آب دارای یک تابع هدف غیر خطی و قیدهای خطی بودند. اگر تابع هدف هم مانند قیدها، خطی باشد، آنگاه یک روش حل بسیار کارآمد برای حل این مسایل بهینه‌سازی خطی مقید وجود دارد که برنامه‌ریزی خطی می باشد. برخلاف بیش تر روش های دیگر بهینه‌سازی، برنامه های کامپیوتری در مورد برنامه‌ریزی خطی در بیش تر مراکز کامپیوتری علمی در سراسر دنیا موجود هستند. بنابراین تحلیل گران کاربردی سیستم ها تنها بایستی اطلاعاتی از چگونگی استفاده از برنامه های کامپیوتری موجود و درک مفهوم خروجی چنین برنامه هایی داشته باشند. برای استفاده از برنامه‌ریزی خطی، درک همه جزئیات روش های حل برنامه‌ریزی خطی لازم نیست. این یکی از مزایای ویژه این روش بر سایر روش‌های بهینه‌سازی است. آسان بودن دسترسی به روش های حل برنامه‌ریزی خطی موجب شده است که بسیاری از مسایل غیرخطی را همانند مسایل برنامه‌ریزی خطی، با مدل های بهینه‌سازی خطی فرمول بندی کنند. مدل برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به عنوان نوع خاصی از مدل تصمیم‌گیری در نظر گرفت. در این مدل، فضای تصمیم توسط محدودیت‌ها تعریف می‌شود، هدف(مطلوبیت) با تابع هدف مشخص می‌شود و نوع تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیری در شرایط قطعی است. مدل کلاسیک برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت(۱۱):

$$\begin{aligned} \max \quad & f(x) = C^T x \\ & S.to : Ax \le b \\ & x \ge 0 \end{aligned} \qquad (۱۳)$$

در این مدل ضرایب A,B,C اعداد قطعی هستند، علائم $=,\ge,\le$ نشان گر تساوی یا نامساوی قطعی می‌باشند و ماکزیمم یا مینیمم بیان گر یک جمله امری قاطع می‌باشد. حال اگر بخواهیم تصمیم در محیط فازی اخذ گردد، باید تعدیلاتی در مدل کلاسیک LP صورت دهیم. اولاً، تصمیم-گیرنده ممکن است واقعاً نخواهد تابع هدف را ماکزیمم یا مینیمم نماید، بلکه ممکن است بخواهد به یک سطح دلخواه که شاید به‌صورت قطعی قابل تعریف نباشد، دست یابد. مثلاً تابع هدف می‌تواند به‌صورت " کاهش هزینه‌های فعلی به طور قابل ملاحظه ای صورت گیرد"، باشد. ثانیاً، محدودیت ممکن است به‌چندین صورت مبهم (نادقیق) باشد. مثلاً علایم $=,\ge,\le$ ممکن است به‌معنی مساوی، کوچک تر یا مساوی و بزرگ تر یا مساوی قطعی نباشد، بلکه انحرافات کوچکی از آن ها قابل

قبول تلقی شود. همچنین ضرایب بردارهای b و c و ماتریس A می‌توانند شاخص‌های فازی داشته باشند، چرا که یا طبیعت آن ها و یا درک آنها فازی (مبهم) است. ثالثاً، نقش محدودیت-ها می‌تواند متفاوت از برنامه‌ریزی خطی کلاسیک باشد که در آن انحراف کوچکی از هر یک از محدودیت‌ها منجر به جواب غیرموجه می‌شود. در محیط فازی، تصمیم‌گیرنده ممکن است انحرافات کوچک از محدودیت‌ها را قبول نماید، اما ضرایب اهمیت متفاوتی (قطعی یا فازی) به انحراف از محدودیت‌های مختلف دهد. بر این اساس می‌توان گفت که برنامه‌ریزی خطی فازی، راهی را برای مواجه با این نوع ابهام‌ها (نادقیق بودن‌ها) قرار می‌دهد که تعدادی از آن ها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد(۱۲). در برنامه‌ریزی آرمانی فازی سطوح آرزوی اهداف مختلف همیشه به‌صورت فاز (نامشخص) مورد بررسی قرار می-گیرند، در حالی‌که مقادیر سمت راست محدودیت‌ها می‌تواند به صورت فازی یا غیرفازی باشند که بستگی به فازی بودن محیط تصمیم‌گیری دارد(۱۱).

۲-۳- ساختار مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن

بهینه‌سازی در واقع تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم برای حداقل یا حداکثر کردن تابع هدف است. یکی از روش‌های نوین در بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در مقیاس ساعتی مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین در این تحقیق، متغیرهای تصمیم جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن، میزان خروجی دو ساعته می‌باشد که این متغیر در طول دوره بهره‌برداری (شروع تا پایان سیلاب) بایستی بهینه گردد. محدودیت‌های موجود در این مساله چهار دسته هستند:

الف) برقراری معادله پیوستگی: در تمام مراحل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن باید موازنه جرمی بین مقادیر ورودی و خروجی و حجم ذخیره مخزن برقرار باشد:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \qquad (۱۴)$$

St+1 : حجم ذخیره مخزن در زمان t+1

St : حجم ذخیره مخزن در زمان t

It : ورودی به مخزن در زمان t

Rt : خروجی از مخزن در زمان t

ب) حجم ذخیره مخزن: علاوه بر این که در تمام مراحل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن، حجم ذخیره بایستی بین مقادیر حداقل و حداکثر آن باشد، شرط دیگری برای ثابت نگه داشتن نسبی تراز سطح آب در مخزن گذاشته شده است که مطابق آن حجم اولیه و حجم نهایی پس از خاتمه سیلاب نباید بیش از ۱۰٪ تفاوت داشته باشند. این هدف عمدتاً به منظور آماده‌سازی مخزن برای مهار سیلاب‌های محتمل بعدی در نظر گرفته شده است.

ج) خروجی مخزن: میزان خروجی بهینه‌سازی شده در هر دوره بایستی بین مقادیر حداقل و حداکثر آن باشد. شرایط مرزی تعریف شده برای خروجی، با استفاده از منحنی‌های خروجی دریچه‌ها نسبت به ارتفاع آب در مخزن۱ درون‌یابی می‌شود.

د) اختلاف خروجی‌های متوالی: به منظور هموار ساختن هیدروگراف خروجی و جلوگیری از نوسانات غیرضروری آن، شرط دیگری تعریف شده است که در آن نباید اختلاف دو خروجی متوالی بیش تر از ۴۰٪ تا ۶۰٪ خروجی اول باشد که این محدوده با توجه به شدت تغییرات جریان ورودی در هیدروگراف ثبت شده متغیر در نظر گرفته شده است(۱۱).

نتایج وبحث

در این پژوهش به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن از مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل بهره‌برداری کنونی استفاده شد همچنین از شرکت آب منطقه ای استان فارس اطلاعات و آمار موجود اخذ و مورد بررسی قرار گرفت.

بدین منظور جهت بهره‌برداری بهینه ناتوانی سیاست کنونی بهره‌برداری از مخزن درودزن در تأمین آب مورد نیاز برای کشاورزی و میزان کمبودهایی که در این زمینه وجود دارد از جمله دلایلی است که این تحقیق برای بازنگری در سیاست

1- Rating-Curve

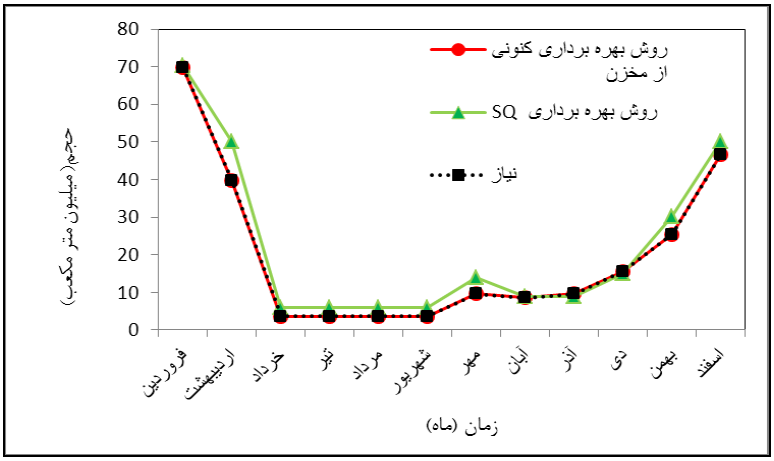
کنونی و ارایه سیاست بهره‌برداری مناسب و اصولی صورت گرفته است.

آمار مربوط به بهره‌برداری از سد از سازمان مدیریت منابع آب و همچنین سازمان آب منطقه‌ایی فارس و مسوولان بهره‌برداری از سد و آمار مربوط به نیازهای کشاورزی نیز از اداره کشاورزی منطقه و کل نیاز پایین دست که با توجه به الگوی کشت و سطح زیر کشت اراضی بدست آمده بود، استحصال گردید. نیازهای کشاورزی مطابق آمار ارایه شده توسط اداره کل آب استان فارس بوده و در طول دوره بهره‌برداری یکنواخت فرض شده است. حداکثر رقوم ارتفاعی مخزن با در نظر گرفتن شرایط سیلاب و حداقل تراز مخزن به عنوان قیود محدود کننده حجم مخزن و ذخیره آن در نظر گرفته شدند. حداکثر میزان تخلیه از مخزن نیز برابر با نیازها در نظر گرفته شد و به عنوان قیدی در مدل بکار برده شد. در مدل سرریزها در صورتی اتفاق می‌افتادند که ظرفیت ذخیره مخزن در حال پر باشد. کل جریان ورودی به مخزن در ابتدای ماه وارد مخزن گردیده و آب سرریز شده احتمالی محاسبه گردید. حجم تبخیر از دریاچه بر اساس نمودار خطی شده مساحت-ارتفاع-حجم محاسبه شده است.

برای شبیه‌سازی مخزن یک برنامه کامپیوتری به زبان برنامه-نویسی فرترن، تدوین و اجرا شد. با استفاده از سیاست‌های بهره‌برداری نوع SQ (لاکس، ۱۹۷۰) و نرم افزار لینگو (لیندو، ۲۰۰۴) بهینه‌سازی در مورد بهره‌برداری از مخزن صورت گرفت. تابع هدف این سیاست تخلیه هرچه بیشتر از مخزن با در نظر گرفتن پارامتر تصمیم‌گیری قرار داده شد (پارامترهای تصمیم گیری بدست آمده از مدل بهینه‌سازی مربوط به سیاست‌های SQ در جدول ۳ آورده شده است). آنگاه نتایج بدست آمده از مدل شبیه‌سازی شده که مربوط به بهره‌برداری کنونی مخزن می‌باشد با سیاست‌های بهره‌برداری ارایه شده مورد مقایسه قرار گرفتند. در این مدل حالت اولیه مخزن به صورت پر در نظر گرفته شد. میزان تأمین آب آبیاری از حجم فعال مخزن و محدودیت صورت گرفته است و کاهش حجم مخزن در اثر تجمع رسوب یکنواخت فرض شده است.

جدول ۳ –پارامترهای تصمیم در سیاست SQ(میلیون متر مکعب)

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
SQ	۷۰/۲۲	۵۰/۰۱	۶	۶	۶	۶	۱۴/۰۷	۸/۸۶	۸/۹۴	۱۵/۰۲	۳۰/۱۵	۵۰/۰۸
S	۴۲/۳۰	۲۲/۱۲	۳/۹۵	۳/۶۸	۳/۷۵	۳/۸۴	۷/۲۵	۳/۴۸	۳/۷۹	۸/۴۲	۱۹/۵۴	۲۷/۱۰



شکل ۳–تخلیه بهینه حاصل از روش SQ

هنگامی که مخزن نتواند نیاز را به طور کامل تأمین کند، درصدی از آن را تأمین می کند. در این سیاست میزان کمبود کل به حداقل می رسد ولی شدت کمبودها زیاد است. برای سدهای با نیاز شرب و کشاورزی تعیین سیاست بهره‌برداری که بتواند شدت کمبودها را کنترل کند و از به وجود آمدن شرایط بحرانی جلوگیری کند، درصدی از نیاز آن ماه از مخزن آزاد می‌گردد. بدین صورت از مواجه شدن با خسارات جدی جلوگیری شده و از شدت کمبودها کاسته می شود. در این حالت ممکن است تعداد کمبودها زیاد شود ولی از شدت آن ها کاسته می شود.

در این مدل حالت اولیه مخزن پر در نظر گرفته شد. میزان تأمین آب آب آبیاری از حجم فعال مخزن و بدون محدودیت صورت گرفته است و کاهش حجم مخزن در اثر تجمع رسوب یکنواخت فرض شده است. در ارایه نتایج از قابلیت‌های اعتماد رایج در بهره‌برداری مخزن یعنی ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد استفاده گردید. نتایج نشان دادند که میانگین تخلیه درروش SQ در حدود ۲۲/۶۱ میلیون متر مکعب می‌باشد درصورتی‌که درروش بهره‌برداری کنونی مخزن میزان تخلیه ۴۸/۶۶ میلیون متر مکعب بوده است. در شکل ۳ میزان تخلیه بهینه بدست آمده از روش بهره‌برداری SQ ارایه گردیده است. سیاست بهره‌برداری کنونی مخزن در ماه‌های پرآب و کم‌آب توانایی تأمین نیازها را دارد. درروش کنونی با توجه به این که در ماه‌های پرآب در مورد ذخیره آب مخزن مدیریتی اعمال نمی‌شود احتمال هدر رفتن آب وجود خواهد داشت. می‌توان با در نظر گرفتن یک سرریز یا دریچه از این امر جلوگیری و در تولیدات برق آبی در نیروگاه‌های برق آبی سد دورودزن مورد استفاده قرار داد. میانگین ذخیره درروش SQ در حدود ۶۳/۶۶ میلیون متر مکعب در سال می باشد که این میزان درروش بهره‌برداری کنونی مخزن به حدود ۴۹/۱۹۳می‌رسد. میزان ذخیره مخزن درروش SQ در حدود ۲۳درصد بیش تر از روش بهره‌برداری کنونی مخزن بدست می‌آید. درمجموع این نتایج با پژوهش های احمد و تانگ(۶) و جیانگزیا و همکاران (۱۳) هم خوانی دارد که در تبیین این نتایج می‌توان بیان نمود سیاست برنامه‌ریزی مدل SQ توسعه یافته مدل S بوده است و که این امرمدل SQ را وابسته با حجم مخزن و جریان خروجی در دوره موردنظر می کند و احتمال هدر رفتن آب در این سیستم کاهش می یابد.

نتیجه گیری

در این تحقیق بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن در یک دوره ۱۲ ماه موردبررسی قرار گرفت که هدف تعیین میزان بهینه رهاسازی از سد در ماه‌های مختلف، تعیین میزان عملکرد روش برنامه‌ریزی خطی و نیز مقایسه روش‌های بهره‌برداری S و SQ بوده است. که نتایج تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه نمود : با توجه به میزان تخلیه مخزن سد نتیجه شد میانگین تخلیه درروش بهره‌برداری کنونی نسبت به روش SQ بیش تر است که احتمال هدر رفتن آب در این روش وجود دارد و همچنین با توجه به میانگین ذخیره روش روش SQ از عملکرد بهتری برخوردار است در تبیین این نتایج می توان بیان نمود درروش S احتمال هدر رفتن آب وجود دارد. درمجموع این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی می‌تواند درزمینه بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها مؤثر باشد. و گامی در اتخاذ تصمیمات مدیریتی در جهت بهبود منابع آب، کشاورزی و آبرسانی می‌باشد.

منابع

1. برهانی داریان، علیرضا و مرتضوی نایینی، سید محمد، «مقایسه کاربرد روش‌های فراکاوشی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب»، آب و فاضلاب، ۱۳۸۷، جلد ۱، شماره ۲، صفحات ۵۷ تا ۶۶.
2. برهانی داریان، علیرضا و شهیدی، لاله، «بررسی و کاربرد الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و مقایسه آن با دیگر روش‌های کاوشی»، علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۷، جلد ۱۹، شماره ۸، صفحات ۳۱ تا ۴۰.
3. هاشمی نسب، سید سعید، شجاعی، سعید و نژاد نادری، مهدی، «کاربرد الگوریتم های بهینه‌سازی در

تعیین سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن سد کلان ملایر»، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاههای برق آبی،۱۳۹۰.

4. آذرافزا، هاله، رضایی، حسین، بهمنش، جواد و بشارت، سینا، «مقایسه نتایج بکارگیری الگوریتم‌های PSO، GA، SA، در بهینه‌سازی سیستم‌های تک مخزنه (مطالعه موردی: سد شهر چای، ارومیه) »، نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)،۱۳۹۱، جلد ۲۶، شماره ۵، صفحات ۱۱۰۱ تا ۱۱۰۸.

5. Kangrang, A., and Lokham, Ch.,2013. Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional Ant Colony Optimization with Simulation Model.Journal of Applied Sciences, Vol.13, No.1, pp.154-160.

6. Ahmad, I., Tang, D., 2016. Multi-objective Linear Programming for Optimal Water Allocation Based on Satisfaction and Economic Criterion, Vol.41, No.4, pp.1421-1433

7. نجفی، محمدرضا، خیاط خلقی، مجید و هاشم پور، جعفر، «بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و کاربرد آن در سد وشمگیر»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۸۴، جلد ۱۲. شماره ۵، صفحات ۲۷-۳۵

8. Kumar, D.N., and Reddy, J.,2007. Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.3, No.2, pp.192-201

9. Reddy, M.J., and Kumar D.N.,2007. Multi-objective particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation. Hydrological Processes, Vol.21, No.4, pp. 2897-2909

10. Yeh, W. W. G.,1985. Resource Management and Operation Models: A State-of-the-Art Review", Water Resource, Vol.21, No.12, pp. 1797-1818.

11. شریفی، محمد باقر و شهیدی پور، سید محمد مهدی، «تحلیل سیستمهای منابع آب»، دانشگاه فردوسی مشهد،۱۳۸۰. ۲۷۵

12. Bower, B.T., Hufschmidt, M. M., and Reedy, W. W., (1962), "Operating Procedures: Their Role in the Design of Water-Resource Systems by Simulation Analyses", Design of Water Resourse Systems,

13. Jianxia Chand, H., Qiang and Yimin, W., 2002. Study on simulation – optimization model of reservoir flood operation based of object-oriented-program. Flood defence conf.pp.1473-1479.