

# برآورد آبدهی مطمئن در سیستم‌های منابع آب با استفاده از بهینه‌سازی خطی

مهرداد تقیان

کارشناس سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۴

## چکیده

با توجه به کمبود و محدودیت شدید منابع آب در کشور، یکی از گام‌های اساسی برای مدیریت، برنامه‌ریزی و تامین آب طرح‌های موجود و توسعه در حوضه‌های آبریز، نگاه ویژه به مقادیر حداکثر آبدهی مطمئن قابل تأمین است. از آن‌جا که رژیم جریان در حوضه‌های آبریز معمولاً تنظیمی بوده و تحت تاثیر سدهای مخزنی سری و موازی است، استفاده از روش‌های کاربردی مناسب ضرورت دارد. در این تحقیق، به توسعه یک مدل آبدهی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی در سیستم منابع آب سه مخزنی حوضه آبریز زهره در جنوب غرب ایران پرداخته شده است. اساس این مدل، مبتنی بر معادله‌های پیوستگی ذخیره مخزن، معادله‌های آبدهی در هر مخزن، معادله‌های تخصیص آب و محدودیت‌های ظرفیت ذخیره است که تابع هدف آن حداکثرسازی مجموع آبدهی ماهانه قابل رهاسازی از سدهای مخزنی در یک دوره درازمدت، برای تامین نیازهای مختلف است. با پیاده‌سازی آبدهی، بهبود قابل ملاحظه‌ای در شاخص اصلاح شده کمبود در سیستم منابع آب مورد بررسی در مقایسه با سیاست شبیه‌سازی استاندارد به برآورد شده است. نتایج نشان داد که در شرایط توسعه آبی، اعتمادپذیری تامین نیازهای سیستم منابع آب زهره معادل با ۸۳ درصد است و آبدهی مطمئن سیستم زهره معادل با ۶۵ درصد نیازها خواهد بود.

کلید واژه‌ها: آبدهی مطمئن، اعتمادپذیری، برنامه‌ریزی خطی، بهره برداری مخزن، بهینه‌سازی.

## Estimating the Yield In Water Resource Systems Using Linear Programming

M. Taghian

Expert of Khuzestan Water and Power Authority

Received: 15 December 2014

Accepted: 23 December 2015

### Abstract

Based on water deficits and the severe limitation of water in the country, one of the basic steps for the management, planning and water supply in available and developed projects of catchments, is estimation the maximum yield values. As flow regime in catchments is usually regular and affected by the series and parallel dams, use of appropriate and applicable methods are necessary. In this research, a yield model based on linear programming, for three reservoirs-Zohre catchment in south-west of Iran, has developed. The base of this model is including reservoir storage continuity equations, stream flow expressions in each reservoir, water allocation equations, and storage capacity limitation. The objective function is the maximization of total monthly yield for a long-term period of inflow that can be released from reservoir dams to supply demands in water resource systems. After implementing of the yield model, the modified shortage index in the water resource system has improved in comparison to Standard Operating Policy (SOP) and it has been effective in adjusting severe deficit. The results showed that the reliability for satisfying demands in developed future condition of zohre water resource system is about 83% and the yield is about 65% of demands.

**Keywords:** Yield, Reliability, Linear programming, Reservoir operation, Optimization.

## مقدمه

در سال‌های اخیر، خشکسالی‌های شدید و کمبود آب شیرین، چالش‌ها و مباحث متنوعی را در بین کارشناسان، طراحان و مدیران صنعت آب کشور ایجاد نموده است. در این میان، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب همواره به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارها مطرح بوده است. بنابراین، توجه ویژه به سیاست‌های بهره‌برداری بهینه در سدهای مخزنی برای تأمین حداکثر آبدهی مطمئن<sup>۱</sup> با اعتماد پذیری مطلوب امری اجتناب ناپذیر است. در حقیقت، قواعد بهره‌برداری اغلب به عنوان راهنمایی برای رهاسازی آب از مخازن به کار می‌روند تا امکان تأمین نیازها را در شرایط عملی فراهم نمایند (تو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳) و آبدهی مطمئن، حجم آبی است که در هر بازه زمانی و مکانی مورد نظر با اطمینان پذیری مطلوب قابل تأمین است (لاکس و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۸۱). میزان آبدهی مطمئن قابل دسترس از مخزن یا مجموعه‌ای از مخازن به مجموع ظرفیت ذخیره فعال مخازن، سری زمانی جریان ورودی و نیازها بستگی دارد. در سیستم‌های منابع آب ساده شامل یک سد مخزنی و یک شبکه نیاز آبی منفرد، سه روش دیاگرام جرمی<sup>۴</sup>، تحلیل قله متوالی<sup>۵</sup> و بهینه‌سازی<sup>۶</sup> را می‌توان جهت تعیین حداکثر آبدهی مطمئن به کار برد (لاکس و ون بیک<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). اما اضافه شدن تعداد مخازن، تعداد شبکه‌های مصرف آب و جریان‌های ورودی، پیچیدگی‌های معنی‌داری را به مساله فوق تحمیل می‌نماید. بنابراین در سیستم‌های فوق، ناگزیر به استفاده از روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی هستیم. بایستی توجه نمود که اگر مبنای این مدل‌ها به جای توزیع احتمال، تنها بر اساس مقادیر مورد انتظار جریان ورودی باشد، ممکن است منجر به نتایجی خوشبینانه و غیر واقعی گردد. به همین دلیل است که مدل‌های برنامه‌ریزی استوکستیک<sup>۸</sup> برای برآورد عدم قطعیت هیدرولوژیک ارائه شده‌اند. انواع مدل‌های استوکستیک مورد استفاده در بهره‌برداری از منابع آب که حل آنها مستلزم استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی پویا<sup>۹</sup> و خطی<sup>۱۰</sup> است به شرح ذیل است:

- مدل‌هایی که تعدادی از جریان‌ها و حجم‌های ذخیره گسسته و احتمالات آن‌ها را در هر فاصله زمانی و در هر محل تعریف می‌کنند و مدل‌های برنامه‌ریزی پویا نام دارند (چانگ و هلوگ<sup>۱۱</sup>، ۱۹۸۵؛ آلن و بریجمن<sup>۱۲</sup>، ۱۹۸۶).

- مدل‌هایی که یک آبدهی مطمئن و قابلیت اطمینان آن را تعریف می‌کنند و مدل‌های آبدهی<sup>۱۳</sup> نامیده می‌شوند (لاکس و همکاران، ۱۹۸۱؛ داه و اسریواستاوا<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۲).

- مدل‌های مقید به شانس<sup>۱۵</sup> که دارای قواعدی برای بیان توزیع‌های احتمال حجم ذخیره مخزن و رهاسازی آب به عنوان توابع خطی از جریان‌های ورودی غیر معین (استوکستیک) هستند (لاکس و درفمن<sup>۱۶</sup>، ۱۹۷۵؛ اواردا و لبادی<sup>۱۷</sup>، ۲۰۰۱).

مدل به کار رفته در این تحقیق، مدل آبدهی است که در دسته دوم قرار دارد. لاکس و همکاران (۱۹۸۱) مفهوم اولیه و اصلی مدل آبدهی را مطرح کردند که توسط استدینگر و همکاران<sup>۱۸</sup> (۱۹۸۳) مورد ارزیابی و بازبینی قرار گرفت. لال و میلر<sup>۱۹</sup> (۱۹۸۸)، لال (۱۹۹۵) و سینها و همکاران<sup>۲۰</sup> (۱۹۹۹) کاربرد مدل آبدهی را توسعه دادند. دندی و همکاران<sup>۲۱</sup> (۱۹۹۷) برای تخمین آبدهی مطمئن سیستم، مقایسه‌ای را بین روش‌های شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی خطی شبکه جریان و بهینه‌سازی با حل مدل آبدهی انجام دادند. داه و اسریواستاوا (۲۰۰۲) یک راه حل اصلاحی در مدل آبدهی پیشنهاد دادند که امکان دست‌یابی به اعتمادپذیری سالانه مطلوب و متفاوت برای اهداف مختلف ضمن حفظ پیوستگی در آبدهی سالانه را میسر ساخت و این یکی از مشکلاتی بود که تا آن زمان به صورت حل نشده باقی مانده بود. اسریواستاوا و اوچی<sup>۲۲</sup> (۲۰۰۹) یک مدل چندگانه را به کار بردند تا یک استراتژی مفید به منظور ارزیابی ذخیره مخزن، آبدهی مطمئن آبی و عملکرد بهره‌برداری فراهم نمایند. شارما و همکاران<sup>۲۳</sup> (۲۰۱۱) ضمن برآورد حداکثر آبدهی مطمئن سالانه مخزن، یک توزیع قطعی از کمبودهای ذخیره آبی بر مبنای نیازهای موجود و داده‌های تاریخی جریان ارائه دادند. در این تحقیق، یک برنامه‌ریزی توسعه داده شد و با نتایج به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی خطی مقایسه گردید. آنها نتیجه‌گیری کردند اگر مدل برنامه‌ریزی خطی بتواند جزئیات مدل‌های شبیه‌سازی را منظور نماید، نتیجه بهتری خواهد داشت. احمد و همکاران<sup>۲۴</sup> (۲۰۱۳) یک مدل ترکیبی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی را برای برآورد حداکثر آبدهی مطمئن در یک مخزن منفرد به کار بردند. پاتوار و همکاران<sup>۲۵</sup> (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر مدل آبدهی را به منظور برآورد آبدهی مطمئن در یک

13- Yield Model

14- Dahe and Srivastava

15- Chance-Constraint Models

16- Loucks and Dorfman

17- Ouarda and Labadie

18- Stedinger *et al.*

19- Lall and Miller

20- Sinha *et al.*21- Dandy *et al.*

22- Srivastava and Awchi

23- Sharma *et al.*24- Ahmed *et al.*25- Pattewar *et al.*

1 - Yield

2 - Tu *et al.*3 - Loucks *et al.*

4 - Mass Diagram

5 - Sequent Peak Analysis

6 - Optimization

7 - Loucks and Van Beek

8 - Stochastic Programming

9 - Dynamic Programming

10 - Linear Programming

11 - Chung and Helweg

12 - Allen R.B., and Bridgeman

## مواد و روش‌ها

### حوضه آبریز مورد مطالعه

رودخانه زهره از اتصال رودخانه فهلیان با رودخانه شیو به وجود می‌آید که پس از اتصال به رودخانه خیرآباد، هندیجان (زهره) نامیده می‌شود. مساحت حوضه آبریز آن حدود ۱۶۰۰۰ کیلومتر مربع است و محدوده حوضه در سه استان فارس، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان واقع شده است. این رودخانه پس از عبور از شهر هندیجان به خلیج فارس تخلیه می‌گردد. با در نظر گرفتن شرایط توسعه حوضه آبریز زهره در وضع آتی (افق سال ۱۴۰۵)، سیستم منابع آب زهره شامل سه گره سد مخزنی، هفت گره شبکه مصرف آب شامل چهار گره آبیاری، دو گره شرب و صنعت و یک گره نیاز زیست محیطی و هفت گره اتصالی است که پیکربندی شماتیک آن در شکل (۱) نشان داده شده است (بی‌نام، ۱۳۸۷). حدود ۱۳ درصد نیازها مربوط به شرب و صنعت، ۱۶ درصد مربوط به نیاز حداقل جریان و ۷۱ درصد آن مربوط به بخش کشاورزی است. خلاصه مشخصات سدهای مخزنی حوضه زهره در جدول (۱) نشان داده شده است.

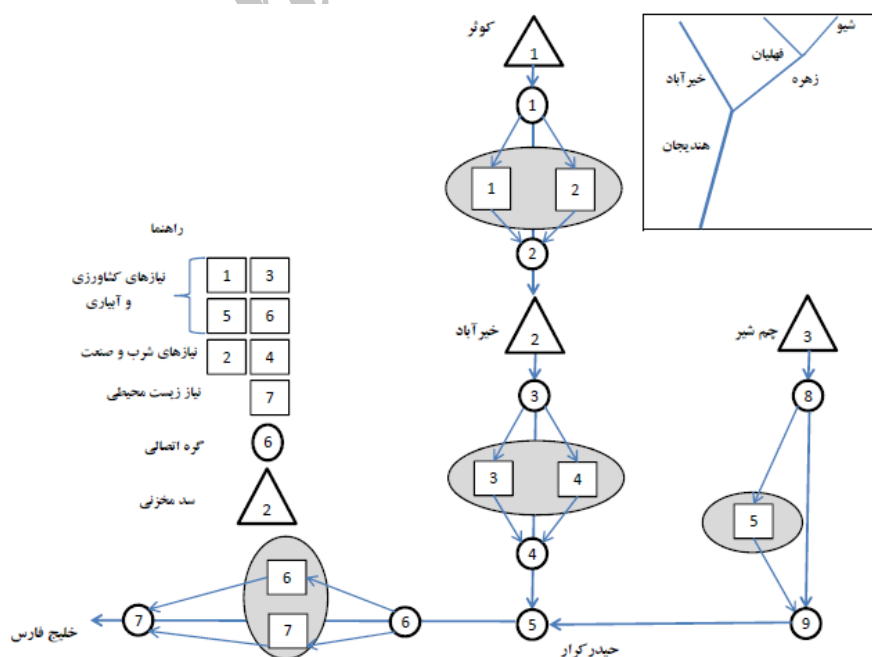
سیستم دو مخزنه توسعه داده و سعی کردند تا جزئیات بیشتری از مدل‌های شبیه‌سازی را در برنامه ریزی خطی وارد نمایند.

مدل پایه آبدهی مورد استفاده برای توسعه در این تحقیق، همانند سایر پژوهش‌های قبلی، مدل لاکس و همکاران (۱۹۸۱) بوده است. در این پژوهش، مدل آبدهی برای کاربرد در سیستم‌های منابع آب پیچیده‌ای که امکان تأمین نیازهای مشترک پایاب از طریق چند سد مخزنی میسر است، توسعه یافته است. در این مدل هر سد علاوه بر تأمین اهداف خود در هر شاخه رودخانه، مازاد آبدهی مطمئن خود را برای تأمین نیازهای مشترک پایاب به کار خواهد گرفت.

از سوی دیگر، برای اینکه دست‌یابی به حداکثر آبدهی مطمئن در شرایط واقعی و عملی بهره‌برداری نیز امکان‌پذیر باشد، یک دستورالعمل بهره‌برداری بر مبنای آب موجود در مخازن تهیه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات سدهای مخزنی مورد بررسی

سد مخزنی	حجم کل مخزن	حجم مفید مخزن
کوثر	۵۸۰	۴۱۸/۶
خیرآباد	۱۷۹/۲	۱۰۴/۷
چم شیر	۱۸۶۳/۶	۱۵۷۶/۳



شکل ۱- پیکربندی شماتیک سیستم منابع آب زهره

تقیان: برآورد آبدی مطمئن در سیستم‌های منابع...

### مدل آبدی

سال  $y$ :  $R_y$ : سرریز سالانه مخزن در سال  $y$ :  $I_y$ : جریان افزایشی (حوضه میانی) حد فاصل سد بالادست و پایین دست،  $k$ : سد کوثر،  $kh$ : سد خیرآباد،  $ch$ : سد چم شیر و  $s=ch, k$  است. (ب) پیوستگی ذخیره درون سالی  
 فرق اساسی سیستم چند مخزنه با سیستم تک سدی در حالت ذخیره درون سالی آن است که بایستی یلد مازاد سد بالادست در ورودی سد پایین دست لحاظ گردد. لذا برای هر دوره درون سالی  $t$  خواهیم داشت:

$$S_t^s + B_t^s (\hat{Y}_p^s + \sum e_t^s) - (Y_{pt}^s) - e_t^s = S_{t+1}^s \quad (3)$$

$$S_t^{kh} + B_t^{kh} (\hat{Y}_p^{kh} + \sum e_t^{kh}) + (Y_{pt}^k - A_{pt}^k) - Y_{pt}^{kh} - e_t^{kh} = S_{t+1}^{kh} \quad (4)$$

که در آن،  $S_t$ : حجم درون سالی مخزن  $s$  در ابتدای دوره

$t$ :  $B_t$ : ضریب توزیع آبدی سالانه ورودی مخزن  $s$  در دوره  $t$  از مخزن در دوره  $t$  با احتمال  $p$ ،  $Y_{pt}$ : یلد تامین شده ماهانه از مخزن با احتمال  $p$ ،  $\hat{Y}_p$ : مجموع یلد ماهانه تامین شده ماهانه از مخزن با احتمال  $p$ ،  $e_t$ : تبخیر ماهانه مخزن در دوره  $t$ ،  $A_{pt}^k$ : تخصیصهای قطعی ماهانه پایاب سد کوثر (حد فاصل سدهای کوثر و خیرآباد) در دوره  $t$  با احتمال  $p$  است.

در این مطالعات منظور از سال بحرانی، خشک‌ترین سال آبدی در دوره آماری ۴۸ ساله مورد بررسی است. بر این اساس، احتمالات وقوع آبدی‌های ورودی، جریان‌های حوضه میانی و تامین آبدی مطمئن (یلد) معادل ۹۸ درصد خواهد بود.

معادله‌های پیوستگی آبدی‌ها در هر مخزن - در این قسمت به معرفی و تعریف پارامتر  $\hat{Y}_p^s$  که در قسمت قبل ارائه گردید، پرداخته خواهد شد و برای هر یک از سه مخزن، این متغیر به صورت ذیل تعریف می‌گردد:

$$\sum_{t=1}^{12} Y_{pt}^s = \hat{Y}_p^s \quad (5)$$

$$\hat{Y}_p^{kh} = \sum_{t=1}^{12} Y_{pt}^{kh} - (\hat{Y}_p^k - \sum_{t=1}^{12} A_{pt}^k) \quad (6)$$

آن دسته از مخازن که ظرفیت آنها در مقایسه با جریان ورودی محدود است، ممکن است در طول یک سال، یک یا چند بار پر شده و سرریز نمایند. تحلیل حداکثر آبدی مطمئن در چنین سدهایی مستلزم تحلیل ذخیره درون‌سالی<sup>۱</sup> است. بدین ترتیب، روش‌هایی که بر اساس ذخیره فصلی و ماهانه بیان می‌شوند به عنوان روش‌های درون‌سالی شناخته می‌شوند. به عبارت دیگر، هر جریان ورودی که توزیع ماهانه آن با توزیع ماهانه خروجی (نیاز) متفاوت باشد، نیازمند ذخیره درون‌سالی است. وقتی یک مخزن، آب ذخیره شده در انتهای هر سال را که ناشی از اختلاف بین جریان ورودی و خروجی است، برای سال بعد استفاده نماید، بایستی تحلیل درازمدت داده‌های سالانه نیز مد نظر قرار گیرد که از آن به عنوان روش‌های برون‌سالی<sup>۲</sup> یاد می‌شود. در این تحقیق، برای برآورد حداکثر آبدی مطمئن از مدل برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر مدل آبدی لاکس و همکاران (۱۹۸۱) استفاده شده است که معادلات آن به شرح ذیل برای سیستم منابع آب سه سدی زهره، توسعه یافته است. این مدل توسعه یافته قادر خواهد بود که سیستم‌های منابع آب پیچیده‌ای را که در آن تامین نیازهای پایاب از طریق چند سد مخزنی میسر است، مدل نماید. این مدل در نرم افزار لینگو (نسخه ۱۱)<sup>۳</sup> نوشته و اجرا شده است.

### - معادله‌های پیوستگی ذخیره مخزن

(الف) پیوستگی ذخیره برون‌سالی  
 سدهای کوثر و چم شیر که در بالادست سیستم واقع شده‌اند، از معادله پیوستگی ذخیره مخزن منفرد تبعیت می‌نمایند. اما برای سد خیرآباد که در پایاب سد کوثر واقع است، بایستی سرریز سد بالادست نیز در ورودی آن لحاظ گردد. علاوه بر آن، آبدی حوضه میانی (جریان افزایشی) حد فاصل سدهای سراب و پایاب به عنوان آبدی ورودی منظور می‌گردد. لذا برای هر دوره برون سالی  $y$  خواهیم داشت:

$$S_y^s + Q_y^s - Y_p^s - E_y^s - R_y^s = S_{y+1}^s \quad (1)$$

$$S_y^{kh} + I_y^{kh} + R_y^k - Y_p^{kh} - E_y^{kh} - R_y^{kh} = S_{y+1}^{kh} \quad (2)$$

که در آن،  $S_y$ : حجم برون سالی مخزن در ابتدای سال  $y$ ،

$S_{y+1}$ : حجم برون سالی مخزن در انتهای سال  $y$ ،

$Q_y$ : جریان ورودی به مخزن در سال  $y$ ،  $Y_p$ : آبدی مطمئن سالانه با احتمال  $p$  در کل سیستم،  $E_y$ : تبخیر سالانه مخزن در

1- Within-year  
 2- Carryover-year  
 3- Lingo

که در آن،  $A_{pt}$  تخصیص‌های قطعی ماهانه در دوره  $t$  با احتمال  $p$  برای بازه‌های مورد نظر است و سایر نمادها در بخش‌های قبلی معرفی شده است.

- ظرفیت ذخیره برون سالی و کل ظرفیت فعال در این قسمت محدودیت‌های مربوط ذخیره برون سالی و درون سالی بر اساس ظرفیت مخزن تعریف می‌شود که معادله‌های آن به شرح زیر است:

$$S_y^r \leq K_a^{or} \quad (15)$$

$$K_a^{or} + S_t^r \leq K_a^r \quad (16)$$

که در آن،  $K_a^{or}$ : ظرفیت فعال برون سالی مخزن برای تامین نیاز قطعی،  $K_a^r$ : کل ظرفیت فعال مخزن که مقادیر آن در جدول (۱) اشاره شده بود و  $r = k, kh, ch$  معادل هر سه سد مخزنی مورد بررسی است.

- تابع هدف

هدف از مدل سازی، حداکثر نمودن مجموع آبدهی مطمئن مخازن برای تخصیص‌های قطعی مطلوب در بحرانی‌ترین شرایط ضمن اعمال محدودیت‌های مورد اشاره در روابط (۱) تا (۱۶) است.

$$\text{Max}(\hat{Y}_p^k + \hat{Y}_p^{kh} + \hat{Y}_p^{ch}) \quad (17)$$

برای آن که عملکرد سیستم تحت این سیاست بهره‌برداری مشخص گردد، یکی از شاخص‌های ارزیابی، شاخص اصلاح شده کمبود سو و چنگ<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) است که در آن جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی لحاظ شده است و توسط سایر محققین (تو و همکاران، ۲۰۰۸) نیز مطابق رابطه زیر به کار رفته است:

$$MSI = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left( \frac{TS_t}{TD_t} \right)^2 \quad (18)$$

که در آن،

$TS_t$ : میزان کل کمبود در دوره زمانی  $t$ ،  $TD_t$ : میزان کل نیاز در دوره زمانی  $t$ ،  $n$ : تعداد کل دوره‌های زمانی (ماه) و  $MSI$ : شاخص اصلاح شده کمبود است.

- تخصیص آبدهی

برای اعمال محدودیت‌های تخصیص آبدهی از منابع به مصارف، بایستی سیستم منابع آب به تعدادی بازه با شرایط مشابه تقسیم گردد. در این حالت، تمام شبکه‌ها و مصارفی که منبع تامین آنها یکسان است در یک بازه قرار خواهند گرفت. بر این اساس، کل حوضه آبریز زهره به چهار منطقه تقسیم شده است. مناطق مذکور شامل سد کوثر تا سد خیرآباد، سد خیرآباد تا حیدرکرار، سد چم شیر تا حیدرکرار و پایاب حیدرکرار است (شکل ۱).

بنابراین، چهار معادله برای حالت درون سالی و چهار معادله برای حالت برون سالی به شرح ذیل خواهیم داشت. به عنوان مثال، رابطه (۸) نشان می‌دهد که تخصیص‌های قطعی حد فاصل سد خیرآباد تا حیدرکرار بایستی برابر یا کوچک‌تر از مجموع آبدهی مطمئن سد خیرآباد و آبدهی مطمئن مازاد سد کوثر باشند.

(الف) معادله‌های برون سالی

$$A_p^k \leq Y_p^k \quad (7)$$

$$A_p^{kh} \leq Y_p^k - A_p^k + Y_p^{kh} \quad (8)$$

$$A_p^{ch} \leq Y_p \quad (9)$$

$$A_p^h = Y_p^k - A_p^k + Y_p^{kh} - A_p^{kh} + Y_p^{ch} - A_p^{ch} \quad (10)$$

که در آن،  $A_p^k$ : تخصیص قطعی سالانه پایاب سد کوثر (حد فاصل سد کوثر تا سد خیرآباد) با احتمال  $p$ ،  $A_p^{kh}$ : تخصیص قطعی سالانه پایاب سد خیرآباد (حد فاصل سد خیرآباد تا حیدرکرار) با احتمال  $p$ ،  $A_p^{ch}$ : تخصیص قطعی سالانه پایاب سد چم شیر (حد فاصل سد چم شیر تا حیدرکرار) با احتمال  $p$  و  $A_p^h$ : تخصیص قطعی سالانه پایاب حیدرکرار با احتمال  $p$  است.

(ب) معادله‌های درون سالی

$$A_{pt}^k \leq Y_{pt}^k \quad (11)$$

$$A_{pt}^{kh} \leq Y_{pt}^{kh} \quad (12)$$

$$A_{pt}^{ch} \leq Y_{pt}^{ch} \quad (13)$$

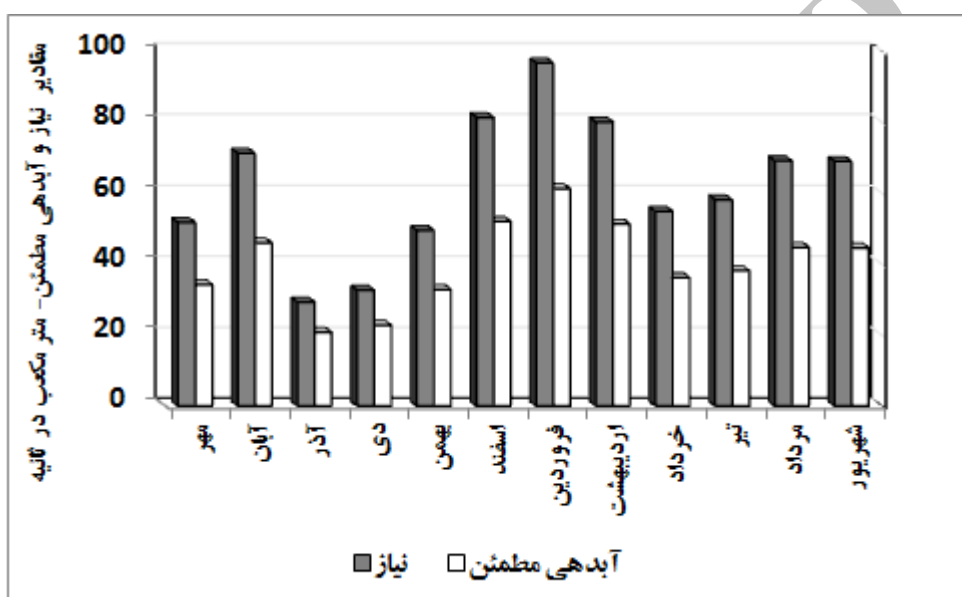
$$A_{pt}^h = Y_{pt}^{kh} - A_{pt}^{kh} + Y_{pt}^{ch} - A_{pt}^{ch} \quad (14)$$

تقیان: برآورد آبدهی مطمئن در سیستم‌های منابع...

### نتایج مدل

سیستم منابع آب زهره،  $40/32$  متر مکعب در ثانیه است که در مقایسه با مجموع نیاز سالانه که  $60/12$  متر مکعب در ثانیه است، حدود ۶۵ درصد کل نیازها را در بر می‌گیرد. یعنی در بحرانی‌ترین شرایط که شامل دوره های خشکسالی شدید است، می‌توان انتظار تامین ۶۵ درصد نیازها را داشت. در این حالت، پس از شبیه‌سازی سیستم منابع آب زهره با استفاده از آبدهی‌های ورودی به سیستم در یک دوره آماری ۴۸ ساله ( $576$  ماه) مطابق شکل (۳)، نیازهای تامین شده مطابق شکل (۴) خواهد بود. در این شکل، آن قسمت از نیاز تامین شده که مقادیر کمتری را نسبت به نیاز کل تامین شده نشان می‌دهد، در حقیقت مقادیر آبدهی مطمئن سیستم منابع آب است.

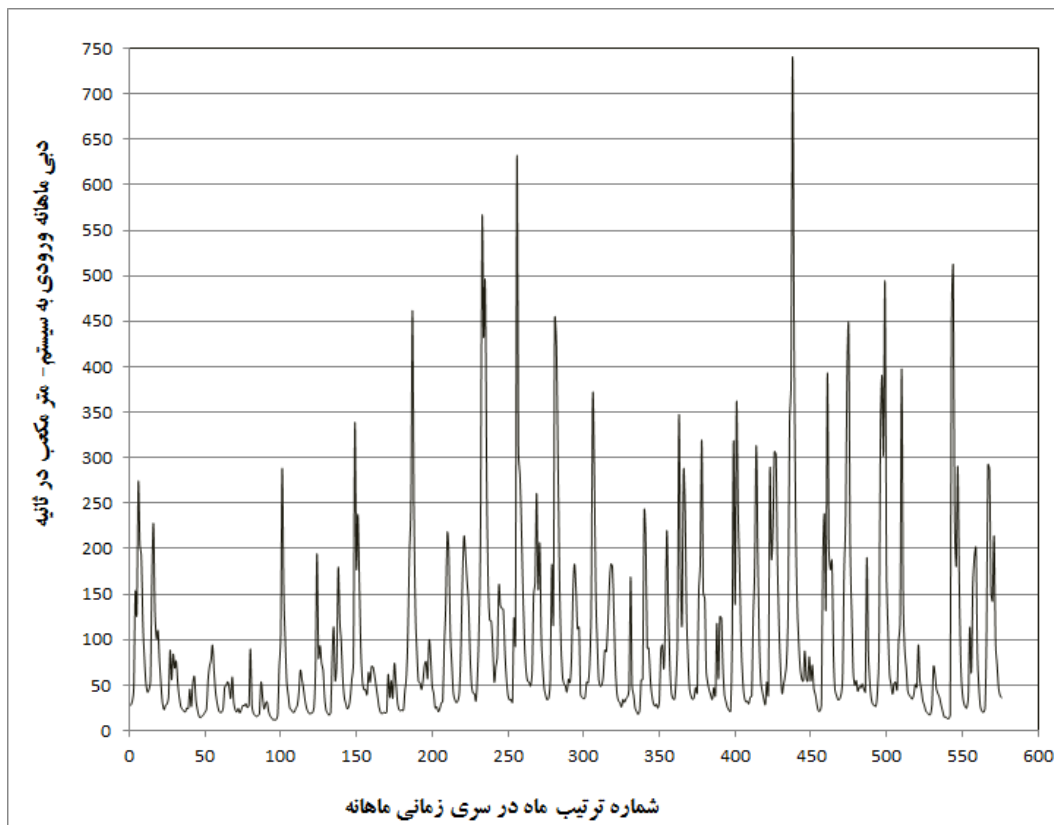
پس از بسط و توسعه معادله‌های مدل آبدهی در سیستم منابع آب زهره مطابق روابط فوق، مدل برنامه‌ریزی خطی مذکور در نرم افزار لینگو تهیه و حل گردید تا حداکثر آبدهی مطمئن مخازن برای تامین نیازهای سیستم در بحرانی‌ترین شرایط به دست آید. در شکل (۲) به مقایسه مقادیر نیاز ماهانه و حداکثر آبدهی مطمئن قابل تامین در سیستم زهره پرداخته شده است. برای این که به جزئیات بیشتری در مورد نتایج بهینه مدل دست یابیم، مقادیر آبدهی مطمئن قابل دسترس از هر سد مخزنی به شرح جدول (۲) ارائه شده است. مقادیر بهینه استخراج شده از مدل نشان می‌دهد که مجموع آبدهی مطمئن سالانه برای تامین نیازهای قطعی در



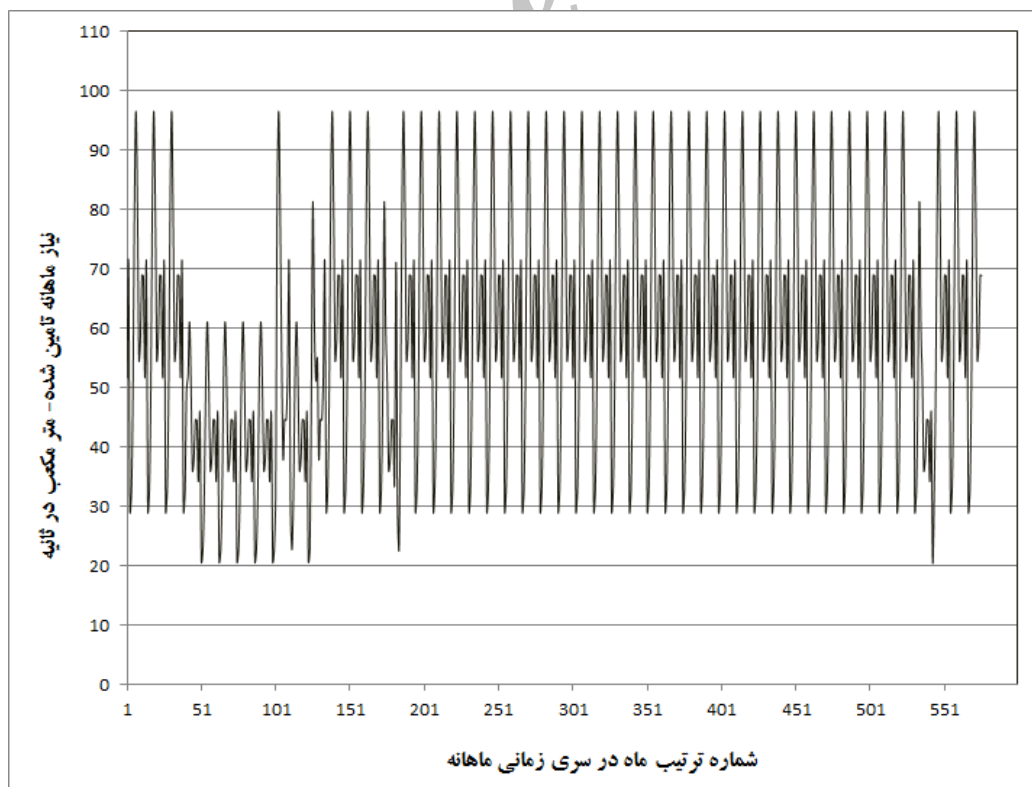
شکل ۲- مقایسه نیاز ماهانه و حداکثر آبدهی مطمئن قابل تامین رودخانه

جدول ۲- مقادیر حداکثر آبدهی مطمئن قابل تامین از سدهای مخزنی - متر مکعب در ثانیه

ماه	کوثر	خیرآباد	چم شیر	مجموع
مهر	۹/۷	۱/۱۱	۲۳/۳۹	۳۴/۲۰
آبان	۹/۵۳	۰/۸۵	۳۵/۴۹	۴۵/۸۷
آذر	۸/۸	۰/۳۷	۱۱/۵۴	۲۰/۷۱
دی	۸/۳۰	۰/۵۶	۱۳/۸۵	۲۲/۷۰
بهمن	۹/۰۶	۱/۰۵	۲۲/۶۹	۳۲/۸۰
اسفند	۱۰/۶۶	۲/۳۰	۳۸/۹۴	۵۱/۹۱
فروردین	۱۱/۹۱	۴/۲۱	۴۵/۰۱	۶۱/۱۳
اردیبهشت	۱۱/۶۱	۳/۹۲	۳۵/۶۵	۵۱/۱۸
خرداد	۱۱/۱۰	۱/۶۶	۲۳/۳۴	۳۶/۱۰
تیر	۱۰/۳۰	۱/۶۰	۲۶/۱۵	۳۸/۰۵
مرداد	۱۰/۶۹	۲/۰۲	۳۱/۹۴	۴۴/۶۵
شهریور	۱۰/۳۷	۲/۱۵	۳۲/۰۱	۴۴/۵۳
سالانه	۱۰/۱۷	۱/۸۲	۲۸/۳۳	۴۰/۳۲



شکل ۳- مجموع آبدهی های ماهانه ورودی به سیستم منابع آب

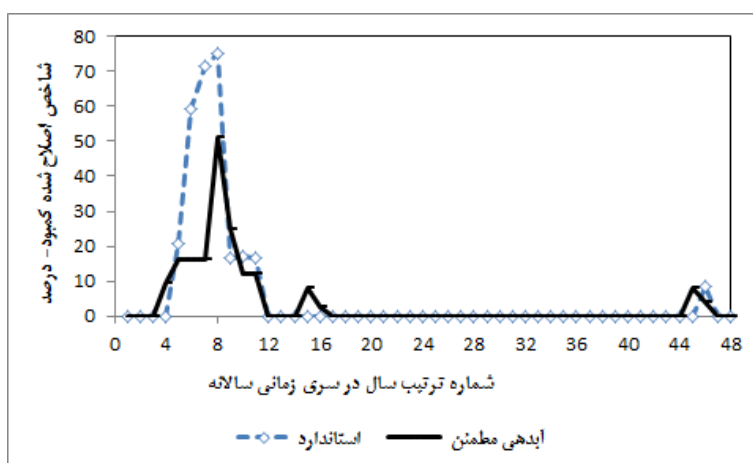


شکل ۴- مقادیر نیاز تامین شده در کل دوره آماری (۵۷۶ ماه)

تقیان: برآورد آبدهی مطمئن در سیستم‌های منابع...

جدول ۳- مقادیر حجم مفید آستانه مخازن برای تأمین آبدهی مطمئن - میلیون متر مکعب

شهر/ناحیه	کرداد	بازا	آب ساز	اردبیل	فردوس	اسفند	تنگ	قو	کام	آب ان	قو	کوثر
کوثر	۲۳۶	۲۵۵	۲۵۳	۲۸۰	۲۷۰	۲۲۱	۲۲۰	۲۰۴	۱۹۸	۱۵۴	۲۰۴	۲۲۱
خیرآباد	۴۵	۵۱	۵۶/۵	۵۸	۵۳	۴۲	۳۵/۶	۳۳/۴	۳۳/۳	۳۳	۲۷	۴۵
چم شیر	۷۷۸	۸۱۱	۸۳۱	۸۴۳	۸۳۸	۷۱۰	۶۶۱	۵۶۳	۴۸۳	۵۶۶	۶۰۳	۷۳۵



شکل ۵- مقایسه شاخص اصلاح شده کمبود در دو حالت سیاست بهره برداری استاندارد و مدل آبدهی

منجر به کاهش تأمین آبدهی مطمئن بهینه در سیستم و کمبودهای شدیدتر و بیشتر می‌شود. بنابراین در این حالت، نیاز به برآورد مقادیر آستانه حجم مخازن برای تأمین نیازهای قطعی (آبدهی مطمئن) است. در صورتی که حجم مخزن بالاتر از این مرز قرار داشته باشد کل نیاز و در غیر این صورت مقادیر حداکثر آبدهی مطمئن تأمین خواهد شد.

مقادیر آستانه حجم مخازن برای تأمین آبدهی مطمئن از حاصل جمع ذخیره درون سالی در ابتدای هر ماه و حجم برون سالی مطابق جدول (۳) به دست می‌آید (لاکس وهمکاران، ۱۳۸۰). منظور از ذخیره درون سالی در ابتدای هر ماه، همان مقادیر بهینه

متغیر  $S_t$  (ذخیره در ماه  $t$ ) برای هر مخزن است که جز خروجی های مدل محسوب می‌شود. از سوی دیگر، منظور از حجم برون سالی برای هر مخزن، بالاترین مقدار  $S_y$  (ذخیره در سال  $y$ ) در کل دوره آماری مورد بررسی است. شبیه سازی سیستم منابع آب زهره بر اساس سیاست بهره برداری برآورد شده از مدل آبدهی مطمئن انجام گرفت و مقادیر شاخص اصلاح شده کمبود سالانه استخراج گردید و با مقادیر حاصل از شبیه سازی استاندارد<sup>۲</sup> مطابق شکل (۵) مقایسه گردید.

با مقایسه شکل (۳) و (۴) به روشنی می‌توان دریافت تأمین آبدهی مطمئن بر دوره‌های کمبود آب سیستم منطبق بوده است. بدین معنی که در دوره‌های کمبود آب شدید، سیستم قادر به تأمین کل نیاز نبوده و مقادیر آبدهی مطمئن تأمین شده است. به عنوان مثال طبق شکل (۳)، در حد فاصل ماه‌های ۵۰ تا ۱۰۰ از دوره آماری، آبدهی ورودی به سیستم بسیار ناچیز بوده است و متعاقب آن سیستم منابع آب زهره مطابق شکل (۴) در ماه‌های مذکور تنها قادر به تأمین آبدهی مطمئن بوده است. لازم به توضیح است که در ۹۸ ماه از ۵۶۷ ماه کل دوره آماری، سیستم به تأمین آبدهی مطمئن اکتفا نموده است و در سایر ماه‌ها کل نیاز تأمین شده است. بر این اساس، اعتماد پذیری<sup>۱</sup> تأمین کل نیاز، ۸۳ درصد برآورد می‌شود، بدین مفهوم که در ۸۳ درصد ماه‌ها امکان تأمین کل نیاز فراهم است و در ۱۷ درصد ماه‌های مورد بررسی فقط امکان تأمین آبدهی مطمئن وجود دارد. بایستی توجه داشت به منظور این که امکان تأمین حداکثر آبدهی مطمئن بهینه برآورد شده از مدل (۶۵ درصد نیاز) در کل دوره آماری فراهم شود، از لحاظ عملی و کاربردی بهره بردار بایستی بداند در چه زمان‌هایی می‌تواند رهاسازی از مخزن سد را برای تأمین کل نیاز انجام دهد و در چه مواقعی فقط بایستی به تأمین آبدهی مطمئن اکتفا نماید. لازم به توضیح است که هرگونه تأخیر و تقدم در این شرایط،

2- Standard Operation Policy (SOP)

1- Reliability



### نتیجه گیری

صورت احجام آستانه بهینه در هر مخزن ارائه می‌گردد. بنابراین هنگامی که آب موجود در مخزن از آن احجام آستانه بالاتر باشد، بایستی کل نیاز و در غیر این صورت مقادیر آبدهی مطمئن تامین گردد. شبیه‌سازی درازمدت سیستم منابع آب نشان داد که اعمال این سیاست بهره‌برداری در مقایسه با سیاست شبیه‌سازی استاندارد، شاخص اصلاح شده کمبود را کاهش خواهد داد اما تعداد کمبودها اندکی افزایش می‌یابد. در حقیقت مدل توسعه داده شده، امکان توزیع کمبودها را در دوره‌های زمانی بیشتر فراهم ساخته است تا از آن طریق، امکان دسترسی به حداکثر آبدهی مطمئن فراهم گردد.

در این مقاله به توسعه یک مدل آبدهی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی در حوضه آبریز سه مخزنی زهره پرداخته شده است تا امکان مدل‌سازی و برآورد حداکثر آبدهی مطمئن در سیستم‌های منابع آب پیچیده‌ای که در آن نیازهای پایاب از طریق چند سد مخزنی قابل تأمین است، میسر گردد. بر این اساس، مقادیر حداکثر آبدهی مطمئن، حدود ۶۵ درصد کل نیاز سالانه برآورد شده است که بر اساس یک سری زمانی ۴۸ ساله آبدهی‌های ماهانه ورودی به سیستم، امکان تأمین آن در دوره‌های بحرانی نیز وجود خواهد شد. علاوه بر آن، ارائه قواعد بهره‌برداری بهینه برای تأمین حداکثر آبدهی مطمئن نیز انجام شده است تا امکان تحقق آبدهی مطمئن از لحاظ عملی و کاربردی نیز فراهم شود. این قواعد به

### منابع

- ۱- بی نام. ۱۳۸۷. گزارش برنامه ریزی منابع آب، مطالعات مدیریت و برنامه ریزی جامع و بهینه سازی تخصیص منابع آب در حوضه رودخانه زهره، سازمان آب و برق خوزستان، مهندسین مشاور دزآب.
- 2-Ahmed, Gh.L., Srivastava, D.K. and D. Rani. 2013. Optimization-simulation models for yield assessment of a single reservoir system. *Indian Water Resource Society*, 33(4):9-16.
- 3-Allen, R.B. and S.G. Bridgeman. 1986. Dynamic programming in hydropower scheduling. *Water Resource Planning and Management, ASCE*, 112(3):339-353.
- 4-Chung, I. and O. Helweg. 1985. Modeling the California state water project. *Water Resource Planning and Management, ASCE*, 111(4):82-98.
- 5-Dahe, P.D. and D.K. Srivastava. 2002. Multi reservoir multi yield model with allowable deficit in annual yield. *Water Resource Planning and Management, ASCE*, 128(6):406-414.
- 6- Dandy, G.C., Connarty, M.C. and D.P. Loucks. 1997. Comparison of methods for yield assessment of multiple reservoir systems. *Water Resource Planning and Management, ASCE*, 123(1):350-358.
- 7- Hsu, N.S. and K.W. Cheng. 2002. Network flow optimization model for basin scale water supply planning. *Water Resource Planning and Management, ASCE*, 128(2):102-112.
- 8- Lall, U. 1995. Yield model for screening surface and ground-water development. *Water Resource Planning and Management, ASCE*, 121(1):9-22.
- 9- Lall, U. and C.W. Miller. 1988. An optimization model for screening multipurpose reservoir systems. *Water Resource Research*, 24(7): 953-968.
- 10-Loucks, D.P. and E. Van Beek. 2005. *Water resources systems planning and management*. UNESCO Publishing, Netherlands.
- 11- Loucks, D.P., Stedinger, J.R. and D.A. Haith. 1981. *Water resource systems planning and analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- 12-Loucks, D.P. and P.J. Dorfman. 1975. An evaluation of some linear decision rules in chance-constrained models for reservoir planning and operation. *Water Resource Research*, 11(6):777-782
- 13-Ouarda, T.B.M.J. and J.W. Labadie. 2001. Chance-constrained optimal control for multi-reservoir system optimization and risk analysis. *Stochastic Environmental Reserch and Risk Assessment*, 15:185-204.

- 14-Pattewar, D.V., Sharma, K.M. and P.D. Dahe. 2013. Yield estimation for a single purpose multi-reservoir system using LP based yield model. *Water Resource and Protection*, 5:28-34.
- 15-Sharma, K.M., Pattewar, D.V. and P.D. Dahe. 2011. Assessment of safe reservoir yield by full optimization model by linear programming method. *Water Resource and Environmental Engineering*, 3(10):204-2011.
- 16-Sinha, A.K., Rao, B.V. and U. Lall. 1999. Yield model for screening multipurpose reservoir systems. *Water Resource Planning and Management*, ASCE, 125(6): 325–332.
- 17-Srivastava, D.K. and T.A. Awchi. 2009. Storage-yield evaluation and operation of Mula reservoir. *Water Resource Planning and Management*, ASCE, 135(6):414-425
- 18-Stedinger, J.R., Sule, B.F. and D. Pei. 1983. Multiple reservoir system screening models. *Water Resource Research*, 24(7):953–968.
- 19-Tu, M.Y., Hsu, N.S., Tsai, F.T.C. and W.W.G. Yeh. 2008. Optimization of hedging rules for reservoir operations. *Water Resources Planning and Management*, ASCE, 134(1):3–13.
- 20- Tu, M.Y., Hsu, N.S. and W.W.G. Yeh. 2003. Optimization of reservoir management and operation with hedging rules. *Water Resources Planning and Management*, 129(2):86–97.

Archive of SID