

## منحنی فرمان بهره‌برداری از سد مخزنی درودزن با استفاده از مدل آبدهی

علیرضا عمادی<sup>۱\*</sup> - معصومه خادمی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۸

### چکیده

با توجه به تغییرات زمانی آبدهی رودخانه‌ها و نیازها جهت استفاده مناسب از آب ذخیره شده در مخزن سدها باید از قواعد بهره‌برداری از مخزن استفاده شود. قواعد بهره‌برداری با منحنی فرمان مشخص می‌شوند. یکی از روش‌های تهیه منحنی فرمان استفاده از مدل آبدهی می‌باشد که بهره‌برداری از مخزن را به حجم ذخیره مخزن در ابتدای دوره ارتباط می‌دهد. در این پژوهش پس از تشریح سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) و مدل آبدهی<sup>۳</sup>، دو برنامه کامپیوتری به زبان فرترن برای بهره‌برداری مخزن بر اساس این مدل‌ها تهیه شد. سپس بر اساس مدل آبدهی، منحنی فرمان سد مخزنی درودزن به دست آمده و نتایج آن با مدل شبیه‌سازی SOP مقایسه شد. نتایج نشان داد مجموع مربعات کمبود در مدل آبدهی به میزان قابل توجه ۲۳/۲۶ درصد کمتر از مدل SOP می‌باشد که بیانگر توانایی مدل در استخراج منحنی فرمان بهره‌برداری از سد می‌باشد. مدل آبدهی با قابلیت تامین نیازهای قطعی ضمن کاهش میزان کمبود آب، شدت کمبودها را کنترل می‌کند و به طور یکنواخت در تعداد سال‌های بیشتری توزیع می‌نماید.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌برداری از مخزن، سد درودزن، سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP)، مدل آبدهی

### مقدمه

بین این مدل‌ها مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی به عنوان بهترین مدل جهت تخمین میزان آبدهی سیستم‌ها انتخاب شد (۶). سینه‌ها و همکاران مدل آبدهی را جهت نمایش سیستم مخازن چند هدفی به کار بردند. نتایج نشان داد کاربرد این روش، کمبودها را در سیستم، نسبت به حالت معمول که سیاست بهره‌برداری استاندارد می‌باشد، به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد (۱۰). داهه و سریواستاوا مدل آبدهی را برای یک سیستم چند مخزنی در شرایط تک‌هدفی و چندهدفی به کار بردند. این مدل نسبت به مدل شبیه‌سازی ابزار نمایشی بهتری در تولید خروجی‌ها می‌باشد و می‌تواند در سیستم مخازن چندگانه برای اهداف مختلف و با توجه به کمبود مجاز در آبدهی سالانه، آبدهی قابل قبولی را از پیش تعیین کند (۵). آذرانفر و شهسواری با استفاده از مدل آبدهی و جیره‌بندی، منحنی فرمان سد مخزنی کمندان را به دست آورده و با مدل SOP مقایسه نمودند. در این بررسی مدل آبدهی نتیجه خوبی نداشت و مدل جیره‌بندی برای بهره‌برداری در شرایط بحرانی پیشنهاد شده است. برای هر سیستم با توجه به شرایط و همچنین دقت مورد نیاز، می‌توان با کاربرد یکی از این مدل‌ها، قاعده بهره‌برداری مناسب را به دست آورد (۱). خلف و شکراللهی منحنی فرمان بهره‌برداری سد مخزنی بالارود را به روش آبدهی و با تکنیک شبیه‌سازی به دست آوردند؛ که به خوبی توانسته

یکی از روش‌های تامین آب که بشر از دیرباز از آن استفاده نموده، احداث سدهای مخزنی می‌باشد. با توجه به تغییرات زمانی آبدهی رودخانه‌ها و نیازها، جهت استفاده مناسب از آب ذخیره شده در مخزن باید از قواعد بهره‌برداری از مخزن استفاده نمود. ساده‌ترین قاعده بهره‌برداری، سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) می‌باشد. در این سیاست رهاسازی از مخزن فقط براساس نیاز هر دوره انجام می‌پذیرد. اگر آب کافی جهت رفع نیاز موجود نباشد، مخزن خالی می‌گردد و اگر آب بیش از نیاز موجود باشد، مخزن پر شده و سپس سرریز خواهد نمود. این مدل فاقد آینده‌نگری لازم جهت مدیریت کارا در بهره‌برداری از مخزن می‌باشد (۸). ل مدل آبدهی را جهت نمایش نحوه توسعه استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی به کار برد (۷). دندی و همکاران منحنی فرمان یک سیستم چند مخزنی را با استفاده از مدل شبیه‌سازی، مدل بهینه‌سازی و مدل آبدهی تعیین کردند. از

۱-۲) استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(Email: emadia355@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

3- Standard Operation Policy

4- Yield Model

## مواد و روش‌ها

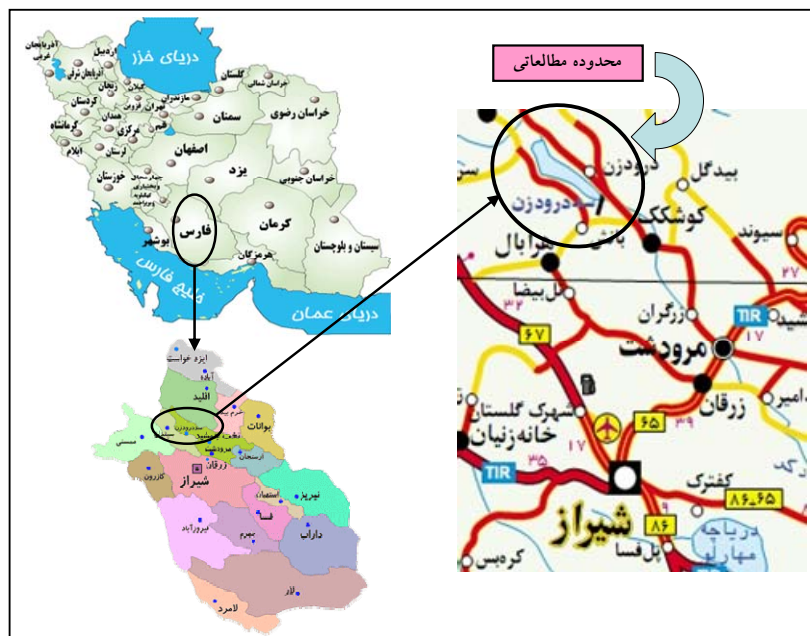
محدوده مطالعاتی: در این پژوهش محدوده مورد مطالعه، سد مخزنی درودزن است. این سد در ۱۰۰ کیلومتری شمال غربی شیراز جهت تامین نیاز شرب، کشاورزی و صنعت احداث شده است. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت جغرافیایی و منحنی سطح-حجم-ارتفاع سد مخزنی درودزن را نشان می‌دهند.

متوسط دبی ورودی درازمدت سالانه به مخزن ۳۰/۸۶ مترمکعب بر ثانیه و آینده‌ی حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۶/۰۲ و ۲۱۸/۰۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. در جداول ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات هندسی مخزن و توزیع نیاز ماهانه پایین‌دست سد به تفکیک شرب، کشاورزی و صنعت ارایه شده است.

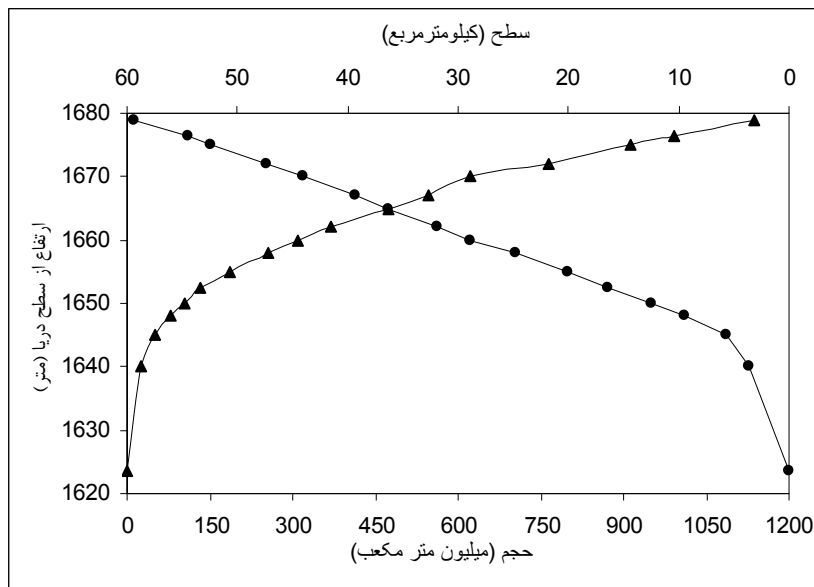
## شبیه‌سازی مخزن

شبیه‌سازی مخزن عبارتست از تعیین حجم ذخیره مخزن در هر دوره بر اساس دبی ورودی به مخزن، برداشت و تلفات آب که با توجه به شرایط آب و هوایی و زمین‌شناسی محل رخ می‌دهد. شبیه‌سازی مخزن بر اساس رابطه پیوستگی که به صورت زیر می‌باشد انجام می‌گیرد (۸).

است شدت کمبودها را به‌طور یکنواخت در تعداد سال‌های بیشتری توزیع کند (۲). عمادی و همکاران در بررسی مدل SOP در تامین آب توسط سدهای مخزنی به این نتیجه رسیدند که کمبودهای ایجاد شده در این مدل بسیار شدید می‌باشد که اگر سیستم واقعاً با آن مواجه شود زیان‌های جبران‌ناپذیری ایجاد خواهد شد. همچنین در این مدل مقدار کمبود کل در مقایسه با روش‌های دیگر کمتر می‌باشد. با توجه به خصوصیات مدل SOP، به‌منظور تعدیل میزان کمبود و کاهش خسارت، بهتر است از سیاست‌های دیگر بهره‌برداری که دارای انعطاف‌پذیری بیشتری می‌باشند استفاده شود (۴). با توجه به سوابق پژوهش و مطالب ارائه شده می‌توان گفت مدل SOP تنها در طراحی و به‌دست آوردن حجم مخزن و تراز نرمال مفید است. همچنین از این روش به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد مخزن نیز استفاده می‌شود. برای مدیریت بهتر حجم آب موجود در مخزن و تامین بهتر نیازهای پایین‌دست با توجه به ذخیره مخزن و جریان‌های ورودی به آن منحنی فرمان بهره‌برداری باید توسط مدل‌های دیگری تهیه شود. در این پژوهش با استفاده از مدل آینده‌ی، منحنی فرمان بهره‌برداری از سد مخزنی درودزن تهیه شده و با مدل SOP مقایسه شده است. بنابراین بر اساس اصول حاکم بر مدل‌های SOP و آینده‌ی دو مدل کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شد و سپس مدل‌های تهیه شده برای تعیین سیاست بهره‌برداری از سد درودزن به کار برده شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد مخزنی درودزن



شکل ۲- منحنی سطح- حجم- ارتفاع سد مخزنی درودزن

جدول ۱- مشخصات هندسی مخزن سد درودزن

۱۶۸۳/۵	تراز تاج (m. a. s. l.)
۱۶۷۶/۵	تراز نرمال (m. a. s. l.)
۱۶۲۳/۵	تراز بستر (m. a. s. l.)
۶۰	ارتفاع سد از بستر (m)
۹۹۳	حجم مخزن در تراز نرمال (MCM)
۱۳۳	حجم مخزن در تراز حداقل (MCM)
۸۰۰	حجم مفید مخزن (MCM)

m. a. s. l. : متر از سطح دریا

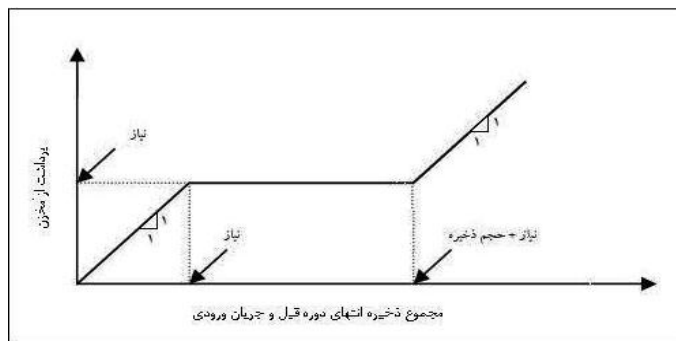
جدول ۲- توزیع نیاز ماهانه پایین دست سد درودزن (MCM)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
کشاورزی	۱۰۴/۰۴	۱۶۷/۹۱	۱۵۵/۳۲	۱۳۶/۳۰	۱۴۴/۳۴	۱۴۱/۴۰	۲۵/۳۲	-	-	-	-	-	۸۷۴/۶۰
شهری و صنعتی	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۴/۰۲	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۷۶	۴۷/۳۳
مجموع	۱۰۸/۰۶	۱۷۱/۹۳	۱۵۹/۳۴	۱۴۰/۳۲	۱۴۸/۳۶	۱۴۵/۴۲	۲۹/۲۱	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۸۹	۳/۷۶	۹۲۱/۹۳

دریاچه سد و به دلیل مشکلات موجود در برآورد مقادیر آنها بصورت کلی جز در مواردی که صرفاً مطالعه این پارامترها مدنظر باشد از این دو پارامتر صرفنظر می‌گردد. رابطه ۱ مبنای همه شبیه‌سازی‌ها می‌باشد و ولی عاملی که شبیه‌سازی‌ها را از یکدیگر متمایز می‌کند و باعث بوجود آمدن سیاست‌های مختلف بهره‌برداری می‌شود، مقدار و زمان برداشت آب یعنی  $R_t$  می‌باشد که متفاوت از مقدار نیاز می‌باشد.

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + P_t - R_t - Ev_t - Spill_t \quad (1)$$

که در این رابطه،  $S_{t+1}$ ، حجم ذخیره مخزن در ابتدای ماه  $t+1$ ؛  $S_t$ ، حجم ذخیره مخزن در ابتدای ماه  $t$ ؛  $Q_t$ ، حجم جریان ورودی به مخزن در ماه  $t$ ؛  $P_t$ ، حجم بارش روی سطح دریاچه در ماه  $t$ ؛  $R_t$ ، حجم برداشت یا رهاسازی از مخزن سد در ماه  $t$ ؛  $Ev_t$ ، حجم تبخیر از سطح دریاچه در ماه  $t$ ؛  $Spill_t$ ، حجم سرریز در ماه  $t$  می‌باشد. به علت ناچیز بودن مقادیر حجم آب خروجی از مخزن در اثر نشت و حجم آب ورودی به مخزن در اثر چشمه‌های موجود در



شکل ۳- منحنی S شکل، سیاست بهره‌برداری استاندارد (۹)

### نحوه شبیه‌سازی در مدل SOP

یکی از حالاتی که شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن بر اساس آن انجام می‌شود، سیاست بهره‌برداری استاندارد یا SOP می‌باشد. این روش منحنی بهره‌برداری  $S_t$  نیز نامیده می‌شود که در شکل ۳ نشان داده شده است (۹).

در این مدل مقدار  $S_1$  با توجه به رابطه ۲ به عنوان حجم اولیه آب درون مخزن فرض می‌شود.

$$S_{\min} \leq S_1 \leq S_{\max} \quad (2)$$

که در آن،  $S_{\min}$ ، حداقل حجم مخزن که برابر با حجم مرده سد در نظر گرفته می‌شود و  $S_{\max}$ ، حداکثر حجم مخزن که برابر با حجم نرمال سد می‌باشد. رابطه پیوستگی برای همه ماه‌ها در طول دوره آماری حل می‌شود. در ابتدای شبیه‌سازی برای مقادیر برداشت و سرریز با توجه به رابطه ۳ مقادیری فرض می‌شود.

$$\begin{aligned} Spill_t &= 0 \\ R_t &= TD_t \end{aligned} \quad (3)$$

در این رابطه  $TD_t$ ، مقدار حجم مورد نیاز در ماه  $t$  می‌باشد. سپس در طول شبیه‌سازی صحت این فرضیات بر اساس موارد ۱ و ۲ که در ادامه آمده، کنترل می‌شود.

۱-  $S_{t+1} > S_{\max}$ ، در این حالت به علت بیشتر بودن حجم آب مخزن از حجم نرمال سرریز انجام می‌شود. مقادیر سرریز و حجم مخزن از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} Spill_t &= S_{t+1} - S_{\max} \\ S_{t+1} &= S_{\max} \end{aligned} \quad (4)$$

۲-  $S_{t+1} < S_{\min}$ ، در این حالت مخزن توانایی تامین کل نیاز را

ندارد و به اصطلاح گویند کمبود<sup>۱</sup> رخ داده است. میزان کمبود از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$Def_t = S_{\min} - S_{t+1} \quad (5)$$

در این حالت کل آب موجود در مخزن از آن برداشت شده و مخزن کاملاً خالی می‌شود. بر اساس رابطه بین کمبود و نیاز کل، مقدار برداشت آب از مخزن بصورت روابط ۶ می‌باشد.

$$\text{If } Def_t < TD_t \rightarrow \begin{cases} R_t = TD_t - Def_t \\ S_{t+1} = S_{\min} \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{If } Def_t > TD_t \rightarrow \begin{cases} R_t = Q_t \\ S_{t+1} = S_{\min} \end{cases}$$

### مدل آینده

آبدهی به جریانی اطلاق می‌شود که در دوره‌های آینده با اعتبار نسبتاً بالا (با احتمالی برابر یا بزرگتر از مقدار تعیین شده) به‌منظور تامین نیازها از مخزن قابل رهاسازی باشد. بیشترین جریانی که مخزن سد با تنظیم جریان‌های ورودی به آن برای نیازهای پایین دست می‌تواند تامین کند و همواره قادر به تامین آن می‌باشد را آبدهی مطمئن یا قابل اطمینان گویند. آبدهی مطمئن تنها در صورتی صد درصد قابل اعتماد است که در سال‌های آینده بهره‌برداری از مخزن، دوره‌هایی بحرانی‌تر از دوره‌های کم آبی که در آمار گذشته وجود داشته و آبدهی مطمئن بر اساس آن تعیین شده بوجود نیاید. در مدل آبدهی دو گروه رابطه برای برقراری تعادل حجمی در حجم ذخیره برونسالی و درونسالی وجود دارد (۳).

### روابط حجم ذخیره برونسالی

حجم ذخیره برونسالی به حجم آبی اطلاق می‌شود که در انتهای هر سال در مخزن سد ذخیره می‌شود. رابطه پیوستگی حجم ذخیره برونسالی بصورت سالانه با رابطه ۷ بیان می‌شود (۳ و ۵).

$$S_{y+1} = S_y + Q_y - Y_p - \alpha_{s,y} Y_s - E_y - Spill_y \quad (7)$$

در این رابطه،  $S_{y+1}$ ، مقدار حجم ذخیره مخزن در ابتدای سال  $y+1$ ؛  $S_y$ ، مقدار حجم ذخیره مخزن در ابتدای سال  $y$ ؛  $Q_y$ ، حجم جریان ورودی به مخزن در سال  $y$ ؛  $Y_p$ ، آبدهی یا نیاز قطعی سالانه با احتمال  $p$ ؛  $\alpha_{s,y}$ ، ضریب آبدهی یا نیاز ثانویه سالانه با احتمال  $p$ ؛  $Y_s$ ، آبدهی یا نیاز ثانویه سالانه با احتمال  $p$ ؛  $E_y$ ، حجم تلفات تبخیر در سال  $y$  و  $Spill_y$ ، سرریز سالانه در سال  $y$  می‌باشد. نیاز قطعی مقدار نیاز آبی است که رهاسازی آن در صورت وجود آب به میزان کافی در مخزن ضروری می‌باشد. در این پژوهش تامین صد درصد نیاز شرب و صنعت و ۸۰ درصد نیاز کشاورزی به عنوان نیاز قطعی در نظر گرفته شده است. تامین ۲۰ درصد باقیمانده نیاز کشاورزی به عنوان نیاز ثانویه در نظر گرفته می‌شود که جهت جلوگیری از مواجه شدن سیستم با کمبودهای شدید در ماه‌های آینده بهره‌برداری با توجه به خصوصیات مدل آبدهی ممکن است تامین نشود. اگر مخزن قادر به تامین نیاز ثانویه نباشد خسارت چندانی به بخش‌های مصرف کننده آب وارد نمی‌شود. نوع و شرایط مصرف کننده‌ها در تعیین درصد نیازهای قطعی و ثانویه نقش مهمی دارند. برای سال‌های شکست  $\alpha_{s,y} = 0$  و سال‌های موفقیت  $\alpha_{s,y} = 1$  انتخاب می‌شود. سال شکست سالی است که مجموع نیازهای ماهانه در آن سال بیشتر از جریان ورودی به مخزن در همان سال باشد، در غیر این صورت آن سال به عنوان سال موفقیت محسوب می‌شود. حجم تلفات تبخیر در سال  $y$  با رابطه ۸ بیان می‌شود (۳).

$$E_y = E_0 + \left[ S_y + \sum_{t=1}^{12} \left( \frac{S_t + S_{t+1}}{2} \right) \gamma_t \right] E \quad (8)$$

که در آن،  $E_0$ ، ثابت حجم تلفات تبخیر سالانه (متوسط حجم تلفات تبخیر ماهانه)؛  $S_{t+1}$ ، مقدار حجم ذخیره مخزن در ابتدای ماه  $t+1$ ؛  $S_t$ ، مقدار حجم ذخیره مخزن در ابتدای ماه  $t$ ؛  $\gamma_t$ ، کسری از حجم تلفات تبخیر در ماه  $t$  و  $E$ ، نرخ متوسط حجم تلفات تبخیر سالانه در واحد حجم ذخیره فعال مخزن می‌باشد. پارامترهای  $E_0$ ،  $\gamma_t$  و  $E$  به ترتیب با روابط ۹ تا ۱۱ بیان می‌شوند.

$$E_0 = \frac{\sum_{t=1}^{12} E_t}{12} \quad (9)$$

$E_t$ ، حجم تلفات تبخیر در ماه  $t$ .

$$\gamma_t = \frac{E_t}{\sum_{t=1}^{12} E_t} \quad (10)$$

$$E = \frac{\sum_{t=1}^{12} E_t}{(S_{\max} - S_{\min})} \quad (11)$$

### روابط حجم ذخیره درونسالی

حجم ذخیره درونسالی به حجم آبی اطلاق می‌شود که در انتهای هر ماه در مخزن سد ذخیره می‌شود. پیوستگی حجم ذخیره درونسالی در هر ماه  $t$  با رابطه ۱۲ بیان می‌شود (۳ و ۵).

$$S_{t+1} = S_t + \beta_t \left( \sum_{i=1}^{12} (Y_p + \alpha_{s,y} Y_s) + \sum_{i=1}^{12} e_i \right) - (Y_p + \alpha_{s,y} Y_s) - e_t \quad (12)$$

که در این رابطه،  $\beta_t$ ، کسری از حجم جریان ورودی به مخزن در ماه  $t$  در خشک‌ترین سال و  $e_t$ ، حجم تلفات تبخیر در ماه  $t$  می‌باشد. خشک‌ترین سال در آمار گذشته، سالی است که جریان ورودی به مخزن در آن سال کمتر و بحرانی‌تر از سایر سال‌ها باشد. پارامترهای  $\beta_t$  و  $e_t$  به ترتیب با روابط ۱۳ و ۱۴ محاسبه می‌شوند.

$$\beta_t = \frac{Q_t}{\sum_1^{12} Q_t} \quad (13)$$

$Q_t$ : حجم جریان ورودی به مخزن در ماه  $t$  در خشک‌ترین سال

$$e_t = \gamma_t E_0 + \left( \frac{S_t + S_{t+1}}{2} \right) \gamma_t E \quad (14)$$

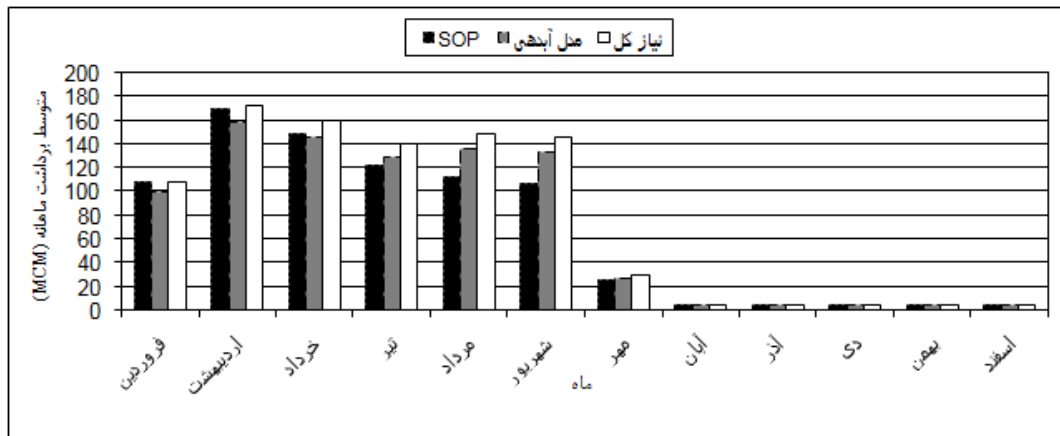
### نتایج و بحث

بر اساس اصول حاکم بر مدل‌های SOP و آبدهی دو مدل کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شده است. مدل‌های تهیه شده برای سد مخزنی درودزن با سری زمانی ۲۸ ساله جریان ورودی به مخزن (از سال ۵۴-۱۳۵۳ لغایت ۸۱-۱۳۸۰) با گام زمانی ماهانه اجرا و میزان رهاسازی مخزن در هر یک از روش‌ها بصورت ماهانه به دست

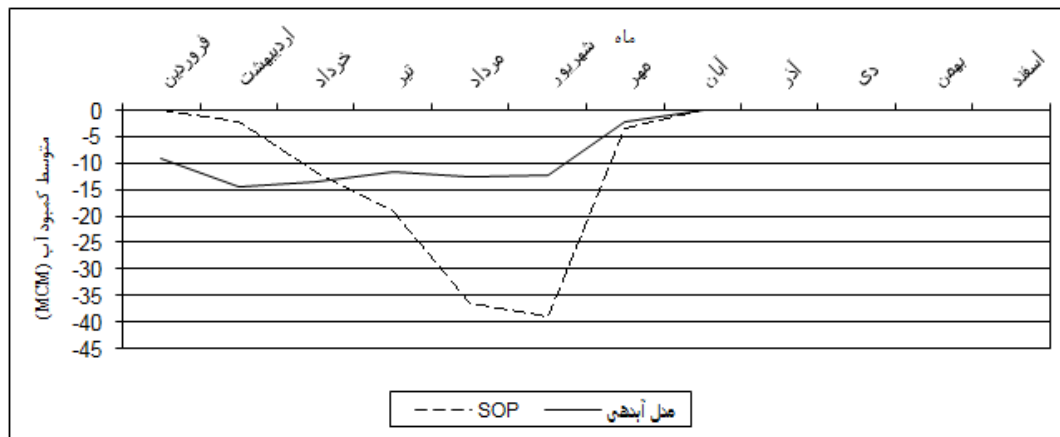
سالانه تنظیم آب توسط مخزن در طول دوره آماری ۸۴۶/۹۰ میلیون متر مکعب می‌باشد که ۴/۳۹ درصد بیشتر از مدل SOP است. کمترین مقدار برداشت سالانه آب از مخزن برابر با ۷۴۶/۹۵ میلیون متر مکعب که ۵۶/۹۹ درصد بیشتر از مدل SOP می‌باشد.

در شکل ۵ متوسط کمبود آب در مدل SOP و آبدهی ارائه شده است. مقدار کمبود ماهانه از تفاضل نیاز واقعی و برداشت ماهانه به‌دست می‌آید. متوسط و بیشترین مقدار کمبود سالانه بر اساس مدل SOP به‌ترتیب ۱۱۲/۱۱ و ۶۰۰/۵۹ میلیون متر مکعب و بر اساس مدل آبدهی به‌ترتیب ۷۴/۹۶ و ۱۷۴/۹۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. بنابراین متوسط و بیشترین مقدار کمبود سالانه مدل آبدهی به‌ترتیب ۳۳/۱۴ و ۷۰/۸۸ درصد نسبت به مدل SOP کاهش می‌یابد. کاهش چشمگیر متوسط و بیشترین مقدار کمبود سالانه در مدل آبدهی نسبت به مدل SOP نشان دهنده برتری و توانایی مدل آبدهی در تعیین منحنی فرمان بهره‌برداری از سد می‌باشد.

شکل ۴ متوسط برداشت ماهانه از مخزن را در مدل SOP و آبدهی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد به شرط وجود جریان ورودی کافی، مخزن توانایی تنظیم سالانه ۹۲۱/۸۶ میلیون متر مکعب آب را جهت تامین کل نیاز سالانه پایین‌دست دارد. بر اساس مدل SOP، تا وقتی که مخزن بتواند نیاز را به‌طور کامل تامین کند، کل نیاز آن ماه تامین می‌شود و در غیر این صورت درصدی از نیاز تامین و مخزن از آب خالی می‌شود. در این روش متوسط سالانه تنظیم آب توسط مخزن در طول دوره آماری ۸۰۹/۷۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. کمترین مقدار برداشت سالانه آب از مخزن ۳۲۱/۲۷ میلیون متر مکعب می‌باشد که همزمان با دوره بیشترین کمبود است. در مدل آبدهی در سال‌های موفقیت یعنی سال‌هایی که جریان سالانه رودخانه بیشتر از کل نیاز سالانه است، کل نیازها شامل نیازهای قطعی و ثانویه آن ماه تامین می‌شود. این در حالی است که در سال‌های شکست تنها نیازهای قطعی شامل نیازهای شرب و صنعت و ۸۰ درصد نیازهای کشاورزی آن ماه تامین می‌شود. در این مدل متوسط



شکل ۴- متوسط برداشت ماهانه از مخزن در مدل SOP و آبدهی



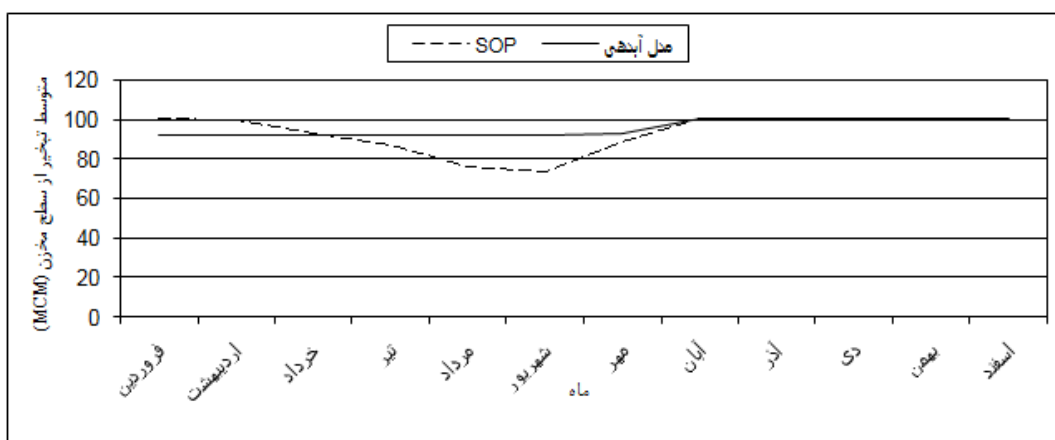
شکل ۵- متوسط کمبود آب در مدل SOP و آبدهی (MCM)

SOP و آبدهی نشان می‌دهد. در مدل SOP در طول دوره آماری ۲۸ ساله، ۱۳ سال سرریز وجود دارد که مقدار آن در مدل آبدهی به ۱۹ سال می‌رسد. در مدل SOP در اکثر سال‌ها در همه ماه‌ها صد درصد نیاز ماهانه تامین می‌شود و سطح آب در مخزن سد پایین نگه داشته می‌شود به همین علت در این مدل نسبت به مدل آبدهی در تعداد سال‌های کمتری سرریز وجود دارد.

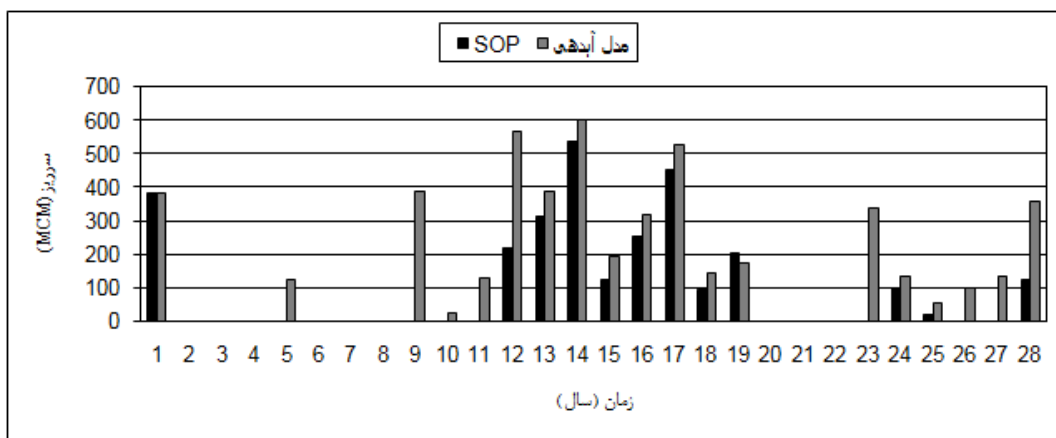
شکل ۸ سری زمانی متوسط درصد تامین ماهانه در مدل آبدهی و SOP را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان دریافت در مدل SOP تعداد زیادی از ماه‌ها درصد تامین بسیار پایینی دارند. این در حالی است که در مدل آبدهی درصد تامین ماهانه کمتر از ۸۰ وجود ندارد ولی تعداد ماه‌هایی که دارای درصد تامین کمتر از صد می‌باشند در این مدل بیشتر از مدل SOP است.

در شکل ۶ متوسط تبخیر از سطح مخزن در مدل SOP و آبدهی ارائه شده است. بر اساس مدل SOP، متوسط ماهانه و سالانه تبخیر به ترتیب ۴/۹۰ و ۵۸/۷۶ میلیون متر مکعب می‌باشد. متوسط ماهانه و سالانه تبخیر از سطح مخزن بر اساس مدل آبدهی به ترتیب ۷/۴۷ و ۸۹/۶۵ میلیون متر مکعب می‌باشد که بیشتر از مقادیر متناظر در مدل SOP می‌باشد. با توجه به اینکه در مدل SOP هدف تامین صد درصد نیاز ماهانه است سطح آب در مخزن سد در مقایسه با مدل آبدهی که در بعضی از ماه‌ها علی‌رغم وجود آب در مخزن، کل نیاز پایین‌دست تامین نمی‌شود؛ پایین‌تر می‌باشد. بنابراین به دلیل سطح تبخیر بیشتر در مدل آبدهی نسبت به مدل SOP، تبخیر در مدل آبدهی بیشتر از مدل SOP به دست می‌آید.

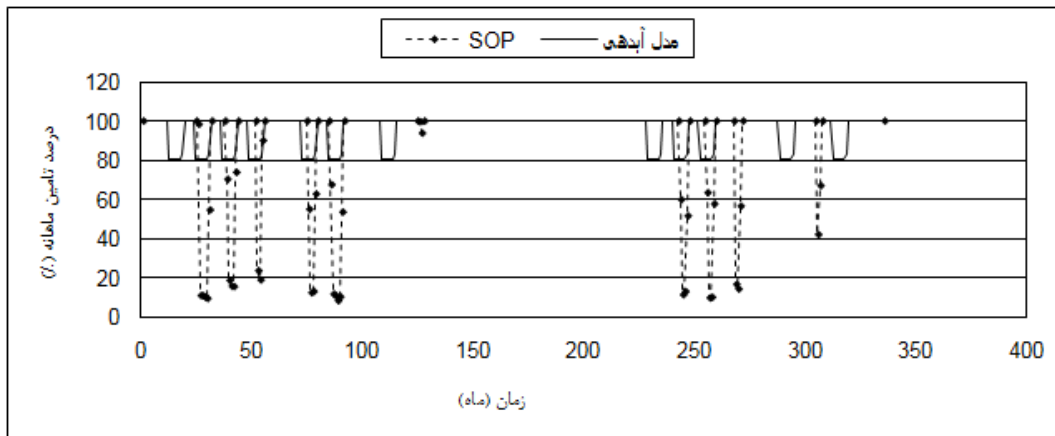
شکل ۷ میزان سرریز سالانه در طول دوره آماری را در مدل



شکل ۶- متوسط تبخیر از سطح مخزن در مدل SOP و آبدهی (MCM)



شکل ۷- میزان سرریز سالانه در طول دوره آماری در مدل SOP و آبدهی



شکل ۸- سری زمانی درصد تامین ماهانه در مدل SOP و آبدهی

می‌باشد. با توجه به اینکه در این ماه‌ها جریان ورودی به مخزن زیاد و نیازها نسبتاً کم می‌باشد، مدل SOP سعی در تامین حداکثر نیازها داشته ولی مدل آبدهی با رویکرد آینده‌نگری نیازهای قطعی را تامین و مقداری از آب را جهت استفاده در دوره‌های بعدی ذخیره نموده است. نتیجه این عمل تامین درصد بیشتری از نیاز ماه‌های تیر تا مهر در مدل آبدهی نسبت به مدل SOP می‌باشد. بنابراین در ماه‌های تیر تا مهر مدل آبدهی دارای متوسط درصد تامین ماهانه بیشتری نسبت به مدل SOP می‌باشد. حداقل درصد تامین ماهانه در مدل SOP و آبدهی به ترتیب ۸/۴۶ درصد مربوط به ماه مرداد و ۸۰/۴۷ درصد مربوط به ماه اردیبهشت می‌باشد. حداقل درصد تامین ماهانه در مدل SOP بسیار کم می‌باشد که در صورت مواجه شدن سیستم با این وضعیت، خسارات شدیدی ایجاد می‌شود. در صورتیکه حداقل درصد تامین در مدل آبدهی تقریباً ده برابر مدل SOP می‌باشد. چنین افزایشی در اثر ذخیره آب در دوره‌های قبل می‌باشد.

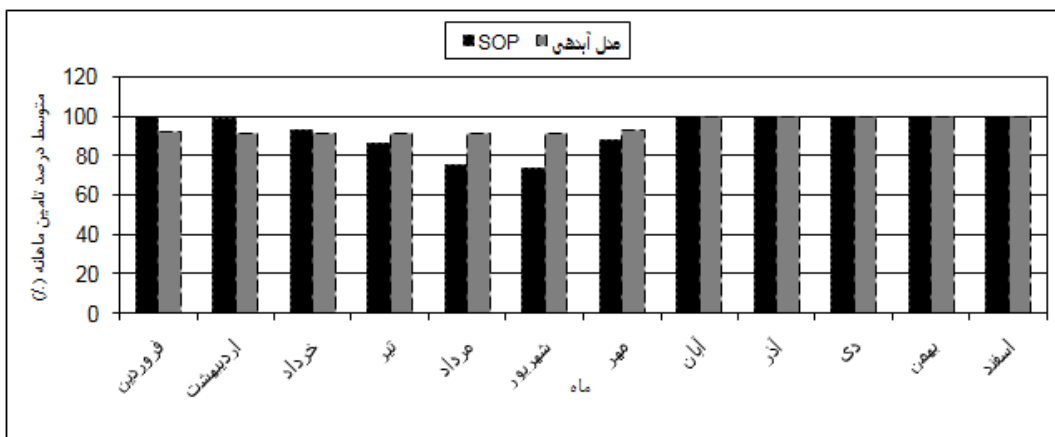
با توجه به قابلیت مدل آبدهی در کاهش کمبودها، استفاده از این مدل به منظور تهیه منحنی فرمان بهره‌برداری از سد در سال‌های آینده مناسب می‌باشد. بنابراین بر اساس نتایج مدل در دوره آماری، رابطه ۱۵ برای تعیین حجم برداشت آب بر اساس حجم ذخیره مخزن در ابتدای هر ماه و حجم جریان ورودی در آن ماه با استفاده از نرم‌افزار SPSS به دست آمد.

$$R_t = 0.123 S_t - 0.34 Q_t + 62.553 \quad (15)$$

$(R^2 = 0.71)$

علاوه بر این، حجم برداشت، ذخیره مخزن و حجم جریان ورودی به مخزن بصورت ماهانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. در ماه‌های آبان تا اسفند صد در صد نیاز پایین دست قابل تامین می‌باشد.

در شکل ۹ متوسط درصد تامین ماهانه مربوط به مدل SOP و آبدهی که نسبت تعداد سال‌های تامین به کل سال‌ها در هر ماه می‌باشد، ارائه شده است. متوسط درصد تامین ماهانه در مدل SOP در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد بیشتر از مدل آبدهی



شکل ۹- متوسط درصد تامین ماهانه در مدل SOP و آبدهی



SOP مشاهده شده است. سیاست‌های سوم و چهارم با مجموع مربعات کمبود بیشتری نسبت به مدل SOP غیر قابل اجرا می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

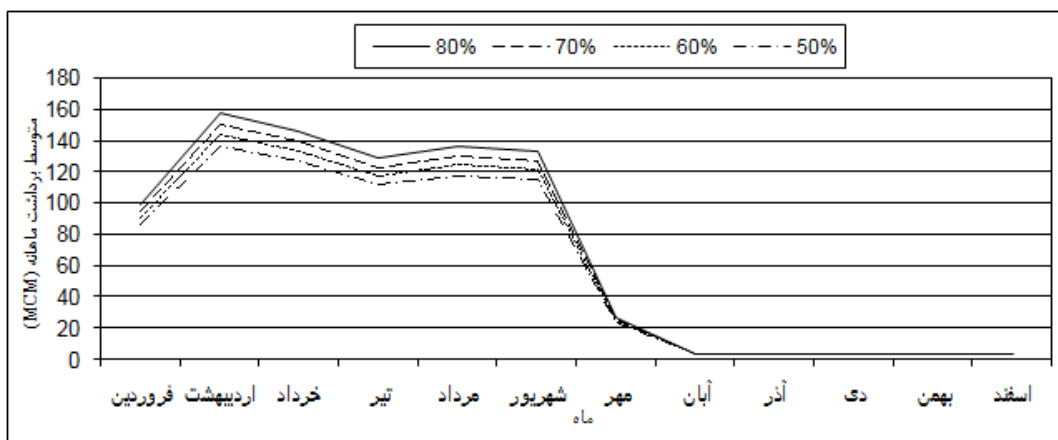
با مقایسه نتایج دو روش مشاهده شده که مجموع مربعات کمبود (مجموع مربعات تفاضل برداشت از نیاز ماهانه) در روش شبیه‌سازی SOP،  $3385/0.4$  و در مدل آبدهی، با هدف تامین صد درصد نیاز شرب و صنعت و  $80$  درصد نیاز کشاورزی برابر با  $90.5/0.2$  است. تعداد ماه‌های شکست، یعنی تعداد ماه‌هایی که سیستم با کمبود مواجه شده است در مدل SOP کمتر از مدل آبدهی می‌باشد. علاوه بر این مقدار کمبود کل در مدل SOP به حداقل رسیده ولی کمبودهای ایجاد شده بسیار شدید می‌باشند که اگر سیستم واقعاً با آن مواجه شود زیان‌های جبران ناپذیری ایجاد خواهد شد. مدل آبدهی با ذخیره آب از دو یا سه ماه قبل از ایجاد کمبودهای شدید، از شدت کمبودها در ماه‌های بحرانی می‌کاهد.

در ماه‌های شهریور و مهر در بسیاری از سال‌ها صد در صد نیاز قابل تامین می‌باشد و در تعدادی از سال‌ها کمبود ناچیزی رخ می‌دهد. در این ماه‌ها معادله‌ای با ضریب همبستگی مناسب جهت ارتباط بین حجم برداشت آب و حجم ذخیره مخزن و حجم جریان ورودی به‌دست نیامد. متوسط برداشت ماهانه در ماه‌های شهریور و مهر به ترتیب  $133/30$  و  $26/95$  میلیون متر مکعب می‌باشد. در ماه‌های فروردین تا مرداد معادلاتی برای تعیین حجم برداشت بر اساس حجم ذخیره مخزن در ابتدای آن ماه و حجم جریان ورودی در آن ماه به‌دست آمد که در جدول ۳ ارائه شده است.

برای سد مخزنی دروزن مطابق شکل ۱۰ با استفاده از مدل آبدهی چهار سیاست بهره‌برداری با هدف تامین صد درصد نیاز شرب و صنعت و  $70$ ،  $80$ ،  $60$  و  $50$  درصد نیاز کشاورزی تعریف و مجموع مربعات کمبود مربوط به هر یک از آنها محاسبه شد. نتایج نشان داد فقط سیاست‌های اول و دوم به ترتیب با مجموع مربعات کمبود  $90.5/0.2$  و  $20.36/31$  که کمتر از مجموع مربعات کمبود در مدل SOP می‌باشند، قابل پذیرش هستند. در سیاست‌های اول و دوم به ترتیب  $73/26$  و  $39/84$  درصد بهبود در بهره‌برداری نسبت به مدل

جدول ۳- معادلات حجم برداشت آب در ماه‌های فروردین تا مرداد (MCM)

ماه	معادله	$R^2$
فروردین	$R_t = 0.029 S_t + 1.687 Q_t + 108.391$	۰/۹۵
اردیبهشت	$R_t = -0.034 S_t + 0.477 Q_t + 143.492$	۰/۹۳
خرداد	$R_t = -0.091 S_t + 1.115 Q_t + 137.485$	۰/۸۹
تیر	$R_t = -0.031 S_t + 1.577 Q_t + 110.087$	۰/۹۱
مرداد	$R_t = -0.009 S_t + 1.599 Q_t + 116.731$	۰/۹۰



شکل ۱۰- متوسط برداشت ماهانه با درصد‌های مختلف تامین نیاز کشاورزی در مدل آبدهی

آبدهی با توجه به توانایی در کاهش کمبودها و جلوگیری از وقوع کمبودهای شدید، جهت تهیه منحنی فرمان بهره‌برداری از سدهای مخزنی مناسب می‌باشد.

در مدل آبدهی می‌توان با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی از نیازهای قطعی و ثانویه، منحنی‌های فرمان مختلفی را به عنوان سیاست بهره‌برداری تهیه نمود. بصورت کلی می‌توان گفت مدل

## منابع

- ۱- آذرانفر آ. و شهسواری م. ۱۳۸۵. کاربرد مدل‌های بهینه‌سازی در تهیه منحنی فرمان بهره‌برداری. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳ و ۴ بهمن ماه.
- ۲- خلف ر. و شکراللهی ا. ۱۳۸۷. تهیه منحنی فرمان بهره‌برداری به روش yield model و به تکنیک شبیه‌سازی در سد مخزنی بالارود. دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی. ۲۵ و ۲۶ اردیبهشت ماه.
- ۳- شریفی م.ب. و شهیدی پور س.م. ۱۳۸۰. تحلیل سیستم‌های منابع آب. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۷۵ ص.
- ۴- عمادی ع.، قادری ک.، محسنی موحد ا.، سلیمانی ع. و داوود مقامی د. ۱۳۸۸. بررسی اعتماد پذیری تامین آب توسط سدهای مخزنی با استفاده از روش بهره‌برداری استاندارد. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساخت‌ها. دانشگاه تهران، ۵ تا ۷ آبان ماه.
- 5- Dahe P.D., and Srivastava D.K. 2002. Multireservoir multiyield model with allowable deficit in annual yield. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(6): 406-414.
- 6- Dandy G.C., Connarty M.C., and Loucks D.P. 1997. Comparison of methods for yield assessment of multiple reservoir systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(6): 350-358.
- 7- Lall U. 1995. Yield model for screening surface- and ground- water development. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(1): 9-22.
- 8- Louks D.P., Stedinger J.R., and Haith D.A. 1981. *Water resource systems planning and analysis*. Prentice-Hall, New Jersey.
- 9- Shiyang-shih Jh., and Revelle Ch. 1994. Water-Supply operations during drought continuous hedging rule. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(5): 613-629.
- 10- Sinha A.K., Rao B.V., and Lall U. 1999. Yield model for screening multipurpose reservoir systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(6): 325-332.



## Reservoir Operation Rule Curve of Doroodzan Dam using Yield Model

A. Emadi<sup>1\*</sup>-M. Khademi<sup>2</sup>

Received:31-7-2010

Accepted:29-6-2011

### Abstract

Regarding temporal variation of rivers discharge and demands, for suitable use of dam reservoirs stored water, application of operation rule curves is necessary. Operation rules are expressed with rule curves. Application of yield model is one of the methods of operation curve preparation, which correlates reservoir operation with reservoir storage volume in first period. In this study after description Standard Operation Policy and yield model, based on these models two computer programs in FORTRAN language were prepared for reservoir operation. Then based on yield model, Doroodzan dam rule curve achieved based on yield model and results were compared with SOP model. Results showed that sum square of deficit in yield model was significantly 73.27 percent less than SOP model, which expresses model ability in derivation of dam reservoir operation rule curve. Yield model in addition to decrease of water deficiency, supplies absolute demands and distributes deficit uniformly in more years.

**Keywords:** Reservoir operation, Yield model, Standard Operation Policy (SOP), Doroodzan Dam

---

1,2- Assistant Professor and MSc Student, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

(\*-Corresponding Author Email: emadia355@yahoo.com)