سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران
۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

ارزیابی اهمیت نحوه گسسته سازی در روش برنامه ریزی پویای تصادفی در بهره برداری از مخزن

فرشته مدرسی- دانشجوی کارشناسی ارشد- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی- دانشگاه تهران[1]
امید بزرگ حدّاد- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی- دانشگاه تهران
[1]تلفن: **۰۹۱۲۵۱۴۲۳۷۰**، پست الکترونیکی: fmodaresi@ut.ac.ir

چکیده

امروزه یکی از مشکلات موجود در کشور ما، کمبود آب می باشد و این مسئله، لزوم استفاده از یک مدیریت مناسب منابع آب را می طلبد. با توجه به لزوم خودکفایی در بخش کشاورزی و نیاز زیاد این بخش به آب، می بایست قوانین مناسبی برای بهره برداری از مخازن سدها به عنوان یکی از مهم ترین منابع آب سطحی اتخاذ شود تا برداشت از مخزن در هر دوره زمانی با اطمینان به ایجاد کمترین کمبود صورت گیرد. یکی از روش های استخراج قوانین بهره برداری از مخازن، روش برنامه ریزی پویای تصادفی (SDP) می باشد. در این روش، عامل دبی ورودی به مخزن به عنوان عامل تصادفی در نظر گرفته می شود. در روش (SDP)یکی از مهم ترین عوامل برای رسیدن به جواب بهینه، نحوه گسسته سازی حجم مخزن و دبی های ورودی به مخزن و همچنین تعداد گسسته سازی (state) در حجم مخزن و دبی ورودی به مخزن می باشد. در این تحقیق، برای بررسی اثر این عوامل، از اطلاعات سد مخزنی دز استفاده شده است و نتایج بیانگر آنست که اولاً: از میان روش های گسسته سازی دبی ورودی به مخزن، روش طول دسته مساوی مناسب تر است. ثانیاً: در روش های گسسته سازی حجم مخزن، روش موران و ساوارنسکی تقریباً دارای نتایج یکسانی هستند. ثالثاً: هر چه تعداد دسته های حجم مخزن بیشتر وتعداد دسته های دبی ورودی به مخزن کمتر باشد، نتایج بدست آمده مطلوب تر و کمبود کمتر می باشد.

کلید واژه ها: بهره برداری از مخزن، سد دز، برنامه ریزی پویای تصادفی ، بهینه سازی، گسسته سازی

۱- مقدمه

امروزه یکی از مشکلات موجود در کشور ما، کمبود آب می باشد و این مسئله، لزوم استفاده از یک مدیریت مناسب منابع آب را می طلبد. با توجه به لزوم خودکفایی در بخش کشاورزی و نیاز زیاد این بخش به آب، می بایست قوانین مناسبی برای بهره برداری از مخازن سدها به عنوان یکی از مهم ترین منابع آب سطحی اتخاذ شود تا برداشت از مخزن در هر دوره زمانی با اطمینان به ایجاد کمترین کمبود صورت گیرد.

یکی از روش های بهینه سازی در بهره برداری از مخازن، روش برنامه ریزی پویا (DP) می باشد. این روش اولین بار توسط بلمن (Belman,1975) ارائه شد علت توانائی حل مسائل خطی و غیر خطی و تطبیق آن با مسائل منابع

آب از محبوبیت خاصی برخوردار می باشد. کاربرد برنامه ریزی پویا در بخش منابع آب توسط یاکاویتز (Yakawitz ,1989) ویه (Yeh, 1985) مطرح شد[1] و توانائی آن در حل مسائل مختلف منابع آب مورد بحث قرار گرفت. طی تحقیقات گسترده ای که بر روی قابلیت های مدلDP انجام شده است، کاربردDP در حالت قطعی و استوکاستیکی برای سیستم های تک مخزنه منجر به نتایج موفقیت آمیزی گردیده است.

به طور کلی در روش های برنامه ریزی پویا (قطعی، تصادفی و ...) به دلیل استفاده از مقادیر گسسته، نوع گسسته-سازی و تعداد گسسته سازی از اهمیت زیادی برخوردار است و این مسئله در مورد گسسته سازی حجم مخزن و دبی ورودی به مخزن مطرح می باشد. زیرا از طرفی هرچه تعداد گسسته سازی بیشتر باشد، مسئله به حالت پیوسته نزدیک تر می‌شود ولی از طرف دیگر حجم محاسبات به شدت افزایش می یابد. بنابراین استفاده از تعداد بهینه در گسسته سازی به نحوی که عوامل بالا در نظر گرفته شود و نتایج مناسب بدست آید، دارای اهمیت می باشد.

۲- مواد و روشها

در روش SDP ، برای تعیین سیاست های بهینه بهره برداری از مخزن، ابتدا باید حجم مخزن و دبی ورودی به مخزن گسسته سازی شوند. برای گسسته سازی حجم مخزن، سه روش کلاسیک، ساوارنسکی و موران وجود دارد که از میان این سه روش، روش کلاسیک بدلیل درنظر نگرفتن حجم مینیمم و ماکزیمم، کارایی کمتری نسبت به دو روش دیگر دارد. در روش ساوارنسکی، حجم مینیمم و ماکزیمم به عنوان دو شاخص در نظر گرفته می شوند و سپس دامنه تغییرات بین این دو حد به (n-2) دسته تقسیم می شود(n = تعداد شاخص ها) و مرکز هر دسته به عنوان شلخص های دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. در روش موران نیز حد بالا و پایین دامنه تغییرات و مرز بالای هر دسته به عنوان شاخص های حجم مخزن مورد استفاده قرار می گیرند(دامنه تغییرات به n-1 دسته تقسیم می شود).

برای گسسته سازی دبی ورودی به مخزن نیز، از سه روش طول دسته مساوی، فراوانی مساوی و کلاس ها و زیرکلاس ها استفاده می شود که دو روش اول کارایی بیشتری نسبت به روش سوم دارند. در روش طول دسته مساوی، بر اساس داده های در دسترس از ورودی به مخزن، مقدار مینیمم و ماکزیمم این داده ها پیدا شده و براساس تعداد گسسته-سازی، دامنه تغییرات دسته بندی می شود و مرکز هر دسته به عنوان شاخص مورد استفاده قرار می گیرد. در روش فراوانی مساوی، بر اساس تعداد داده های موجود و تعداد دسته های مورد نظر، داده ها دسته بندی شده و متوسط مقادیر موجود در هر دسته به عنوان شاخص دسته در نظر گرفته می شود.

پس از انجام عمل گسسته سازی، به ازای هر مقدار حجم اولیه و هر مقدار ورودی و هر مقدار حجم ثانویه، تابع هدف مورد نظر محاسبه می شود. از آنجایی که مقدار دبی ورودی به مخزن جنبه تصادفی دارد، در نتیجه در روش SDP این مقادیر به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می شود و بر اساس گسسته سازی انجام شده، کلاس مربوط به هر دبی در هر دوره زمانی (ماهانه) تعیین می شود و با توجه به کلاس های موجود، بردارهای انتقال از هر کلاس به کلاس بعد و از هر دوره(ماه) به دوره بعد تعریف شده و احتمال این بردارها محاسبه می گردند. چون در این روش، فرض بر برقراری قاعده زنجیره مارکوف بین دبی های ورددی است، بنابراین به جای محاسبه احتمال وقوع هر دبی ورودی، احتمال انتقال بین دوره‌ای کلاس های مختلف دبی محاسبه می شود.

سپس با استفاده از توابع بازگشتی و استفاده از حالت پس رونده، مقادیر بهینه محاسبه می شوند. تابع بازگشتی مورد استفاده برای اولین دوره به صورت زیر می باشد[2]:

$$f_t^{\,l}\ k,i \quad \min_{l} imum\ B_{kilt} \qquad (۱)$$

برای بقیه دوره ها، تابع بازگشتی به صورت زیر تعریف می شود:

$$f_t^{\,n}\ k,i \quad \min_{l} imum\ B_{kilt} \quad {}^{c}_{j\ 1}\ p_{ij}^{t}\ f_{t\ 1}^{n\ 1}\ l,j \qquad (۲)$$

در توابع بالا داریم:

$f_t^{\,n}\ k,i$: تابع بازگشتی در هر دوره

B_{kilt} : تابع هدف محاسبه شده در هر دوره، به ازای هر حجم مخزن در ابتدای دوره، هر حجم مخزن در انتهای دوره و هر دبی ورودی به مخزن

p_{ij}^{t} : احتمال انتقال کلاس های مختلف دبی در هر دوره

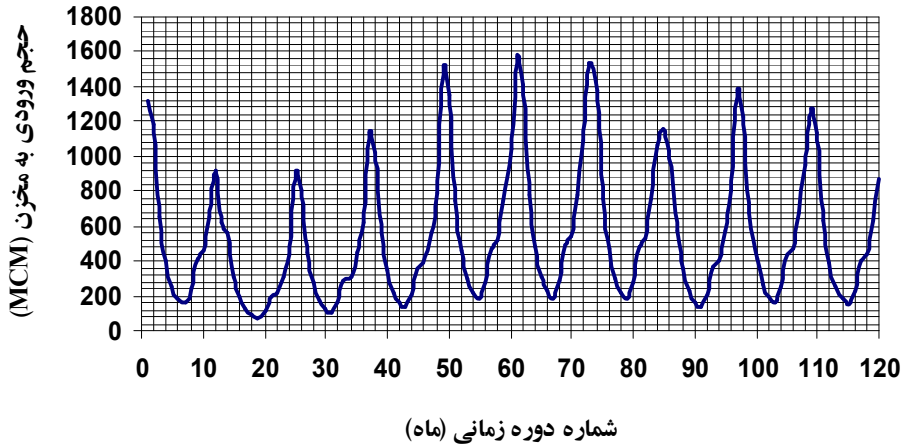
n: شماره گام محاسباتی، t : شماره پرید زمانی، i : شماره کلاس دبی ورودی به مخزن، k : شماره کلاس حجم مخزن در ابتدای دوره، l : شماره کلاس حجم مخزن در انتهای دوره، c : تعداد کلاس های گسسته سازی دبی ورودی، j : شمارنده کلاس های دبی ورودی به مخزن.

پس از محاسبه توابع بازگشتی در هر دوره، محاسبات آنقدر ادامه می یابد تا اختلاف توابع بازگشتی در دو پرید زمانی یکسان (دو t برابر) ثابت شود و سیاست بهینه (حجم مخزن در انتهای دوره) نیز ثابت شود. در این شرایط، محاسبات پایان می پذیرد.

۳- مطالعه موردی

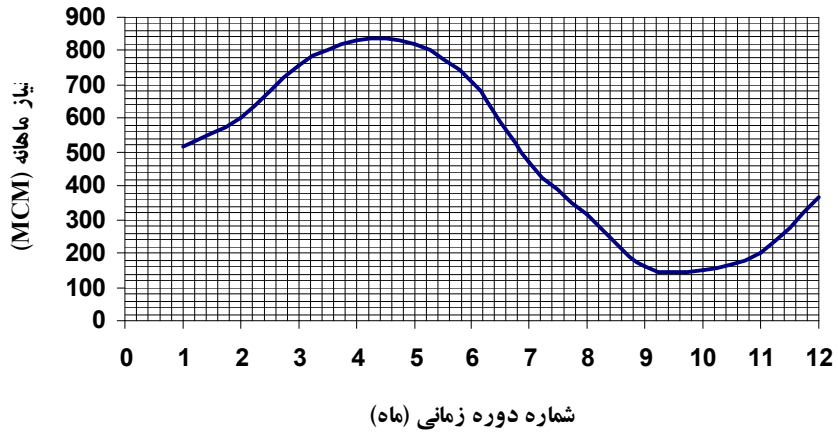
برای انجام این تحقیق، از اطلاعات سد مخزنی دز از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ استفاده شده است.

سد مخزنی دز دزفاصله ۲۵ کیلومتری شمال دزفول بر روی رودخانه دز قرار دارد. ساختمان این سد در بهمن ماه سال ۱۳۳۶ آغاز و در آذر سال ۱۳۴۱ تکمیل و آبگیری مخزن شروع گردید. سد دز از نوع بتنی دوقوسی با جدار نازک می‌باشد و به منظور تولید انرژی برقابی ، تأمین آب شرب، صنعت، کشاورزی و کنترل سیلاب طراحی و اجرا گردید.
منحنی آورد رودخانه دز در طی این ۱۰ سال (۱۲۰ دوره) به صورت زیر می باشد:



شکل شماره۱ : *منحنی آورد رودخانه دز در سالهای* ۱۹۹۹-۱۹۹۰

منحنی نیاز سالانه سد دز برای مصرف کشاورزی به صورت زیر می باشد:



شکل شماره ۲ : *منحنی نیاز کشاورزی ماهانه در طول هر سال*

برای تعیین سیاست بهینه بهره برداری از مخزن از تابع هدف و قیودات زیر استفاده می شود:

$$f_t^n(k,i) \quad \min_{l} imum \; B_{kilt} \quad \sum_{j=1}^{c} p_{ij}^t \, f_{t-1}^{n-1}(l,j) \qquad (۳)$$

$$B_{kilt} \quad \begin{cases} \left(\dfrac{\mathrm{Re}_{kilt}}{De_{\max}}\right)^{De_t} & \mathrm{Re}_{kilt} \quad 0 \\ 10^6 & \mathrm{Re}_{kilt} \quad 0 \end{cases} \qquad (۴)$$

S.t:

$$\mathrm{Re}_{kilt} \quad S_{kt} \quad Q_{it} \quad Sl_{lt} \quad Sp_{kit} \quad Loss_{klt} \qquad (۵)$$

$$Sp_{klt} \quad \begin{matrix} S_{kt} \quad Q_{it} \quad 3340 \\ 0 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} S_{kt} \quad Q_{it} \quad 3340 \\ Else \end{matrix} \qquad (۶)$$

$$Loss_{klt} \quad \frac{A_{kt} \quad A_{lt}}{2} \quad EV_t / 1000 \qquad (۷)$$

$$A_{kt} \quad a \quad bS_{kt} \quad , \; a \quad 11.291 \; , \; b \quad 0.0157 \qquad (۸)$$

در روابط بالا داریم:

Re_{kilt}: میزان خروجی از مخزن در هر دوره زمانی به ازای هر حجم مخزن در ابتدای دوره، هر حجم مخزن در انتهای دوره و هر حجم ورودی به مخزن.(MCM)

De_t: میزان نیاز در هر دوره زمانی.(MCM)

Sl_{lt} , S_{kt}: به ترتیب: حجم مخزن در ابتدا و انتهای یک دوره زمانی. (MCM)

Sp_{kit}: میزان سرریز از مخزن در هر دوره زمانی به ازای هر حجم ابتدایی مخزن و هر حجم ورودی به مخزن.(MCM)

Q_{it}: میزان ورودی به مخزن در هر دوره زمانی.(MCM)

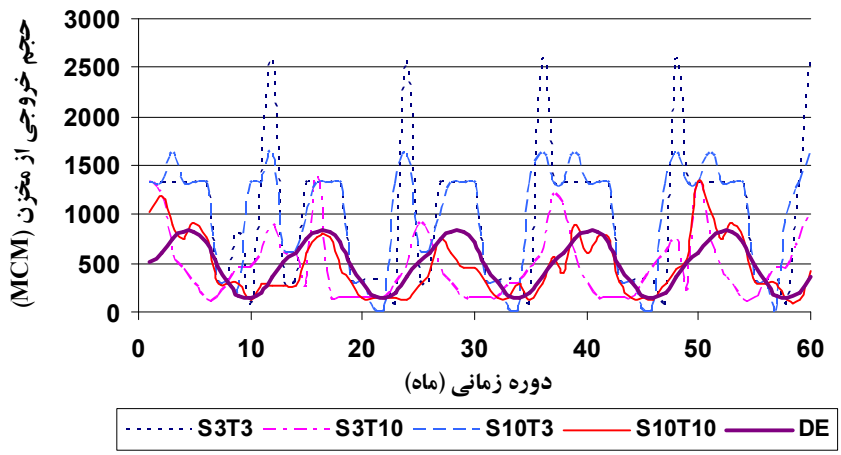
$Loss_{klt}$: میزان تلفات ناشی از تبخیر از مخزن. (MCM)

EV_t: ارتفاع خالص (تبخیر- بارش). (mm).

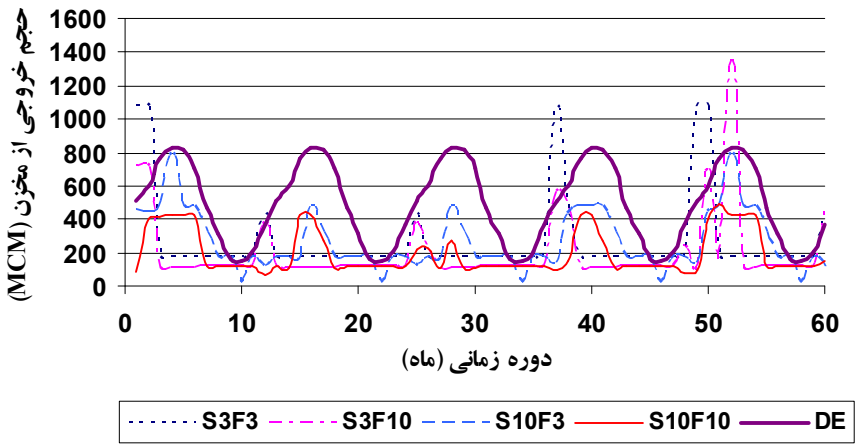
A_{lt} , A_{kt}: به ترتیب: سطح مخزن در ابتدا و انتهای دوره.

این مدل ابتدا به ازای تقسیم بندی ۳ و ۱۰ تایی برای حجم مخزن به دو روش ساوارنسکی و موران و تقسیم بندی ۳ و ۱۰ تایی برای حجم ورودی به مخزن به دو روش طول دسته مساوی و فراوانی مساوی مورد استفاده قرار گرفته است و سپس با استفاده از سیاست های بهینه بدست آمده، برا ی ۵ سال، از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ ،سیاست بهینه بهره برداری از مخزن دز به صورتی که carry over برقرار شود، محاسبه گشته و میزان تابع هدف کل که مجموع $\frac{\mathrm{Re}_{kilt} \quad De_t}{831.1}^2$ برای هر پرید زمانی است، محاسبه گردیده است. لازم به ذکر است که مقصود از استفاده از این تابع هدف، ایجاد کمترین اختلاف میان میزان نیاز De_t و میزان خروجی از مخزن Re_{kilt} می باشد. بنابراین ممکن است در برخی از دوره های زمانی، میزان خروجی از مخزن بزرگتر از میزان نیاز باشد که در این موارد میزان کمبود در تعیین سیاست بهینه ۵ ساله برابر صفر در نظر گرفته شده است.

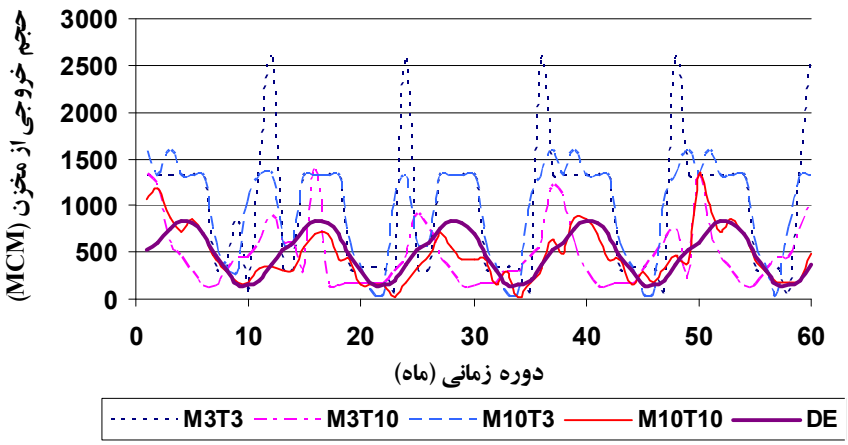
گراف های ماهانه میزان خروجی های مخزن به ازای روش های مختلف تقسیم بندی حجم مخزن و دبی ورودی به مخزن در مقایسه با میزان نیاز پایین دست در طول ۵ سال (۱۹۹۰- ۱۹۹۵) به صورت زیر می باشد:



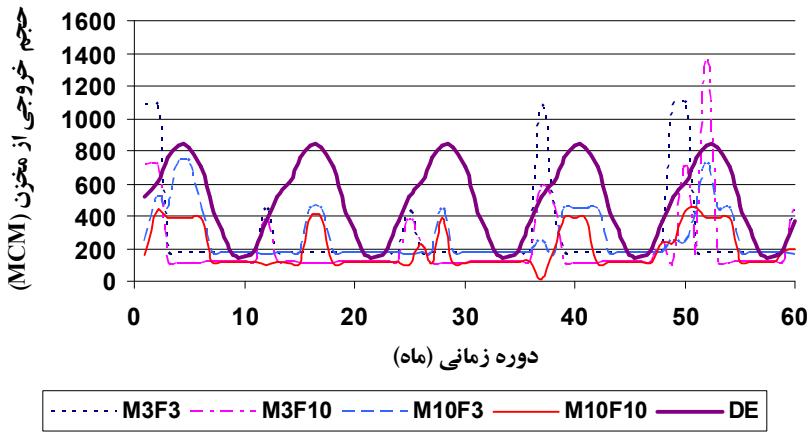
شکل شماره ۳: *گراف مقایسه میزان خروجی از مخزن در تقسیم بندی های متفاوت از روش ساوارنسکی(S) و طول دسته مساوی (T)*



شکل شماره ۴: *گراف مقایسه میزان خروجی از مخزن در تقسیم بندی های متفاوت از روش ساوارنسکی(S) و فراوانی مساوی (F)*



شکل شماره ۵: *گراف مقایسه میزان خروجی از مخزن در تقسیم بندی های متفاوت از روش موران(M) و طول دسته مساوی (T)*



شکل شماره ۶: *گراف مقایسه میزان خروجی از مخزن در تقسیم بندی های متفاوت از روش موران (M) و فراوانی مساوی (F)*

همان طور که در گراف ها مشاهده می شود، در روش های طول دسته مساوی، گراف های خروجی از مخزن ، بالاتر از گراف نیاز پایین دست (در دو روش ساوارنسکی و موران) قرار گرفته اند. در مقابل، در روش فراوانی مساوی، گراف های خروجی از مخزن، پایین تر از گراف نیاز (در هر دو روش ساوارنسکی و موران) قرار گرفته اند و بنابراین، میزان کمبود در روش فراوانی مساوی بیشتر از روش طول دسته مساوی می باشد.

همچنین با توجه به گراف های موجود می توان نتیجه گرفت که هر چه تقسیم بندی حجم مخزن و جریان ورودی به مخزن(در روش طول دسته مساوی) ریزتر (تعداد دسته بندی بیشتر) باشد، منحنی خروجی از مخزن به منحنی نیاز نزدیک تر می شود. البته این جمله به مفهوم کمبود کمتر نمی باشد زیرا در شرایط تقسیم بندی های دیگر چون گراف خروجی از مخزن بالاتر از گراف نیاز قرار دارد، بنابراین کمبود در آن شرایط برابر صفر می شود.

در جداول زیر، مقایسه ای میان روش های مختلف براساس میزان کمبود در طول ۵ سال انجام شده است:

جدول شماره ۱

ساوارنسکی/ طول دسته مساوی	B=((Re-De)/831.1)^2	carry over
S3T3	0.61	2085
S3T10	7.96	2085
S10T3	0.38	2869.38
S10T10	1.48	2555.63

جدول شماره ۲

موران / طول دسته مساوی	B=((Re-De)/831.1)^2	carry over
M3T3	0.61	2085
M3T10	7.96	2085
M10T3	0.127	3061.11
M10T10	1.44	2503.33

جدول شماره ۳

ساوارنسکی / فراوانی مساوی	B=((Re-De)/831.1)^2	carry over
S3F3	12.48	830
S3F10	14.63	830
S10F3	6.75	1300.63
S10F10	10.31	1614.38

جدول شماره ۴

موران / فراوانی مساوی	B=((Re-De)/831.1)^2	carry over
M3F3	12.48	830
M3F10	14.63	830
M10F3	7.23	1387.78
M10F10	10.42	1387.78

همان طور که در تمامی جداول مشاهده می شود، میزان کمبود در طول ۵ سال در شرایطی که حجم مخزن به ۱۰ دسته و جریان ورودی به مخزن به ۳ دسته تقسیم شده اند، دارای کمترین مقدار است. همچنین میزان کمبود در شرایطی که جریان ورودی به مخزن به روش فراوانی مساوی تقسیم بندی شده است، بیشتر می باشد.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

همان طور که در جداول و گراف ها مشاهده می شود، میزان کمبود در شرایطی که جریان ورودی به مخزن با استفاده از روش طول دسته مساوی تقسیم بندی شود، کمتر می باشد. تفاوت موجود میان نتایج دو روش طول دسته مساوی

و فراوانی مساوی می تواند به این دلیل باشد که در روش طول دسته مساوی، تقسیم بندی فقط براساس مینیمم و ماکزیمم ورودی به مخزن صورت می گیرد بنابراین، تعداد داده های موجود در هر دسته با هم متفاوت می باشد و این امکان وجود دارد که مقادیر زیادی به صورت دست بالا در نظر گرفته شوند در صورتی که در روش فراوانی مساوی، شاخص دسته ها براساس مقادیر واقعی موجود تعیین می شوند بنابراین روش فراوانی مساوی به واقعیت نزدیک تر می باشد.

بعلاوه، همان طور که در نتایج مشهود است، روش تقسیم بندی حجم مخزن (ساوارنسکی و موران) در بهبود جواب ها اهمیت چندانی ندارند و تفاوت قابل ملاحظه ای میان جواب های حاصل از این دو روش وجود ندارد.

همچنین، همانطور که در جداول مشاهده می شود، میزان کمبود در شرایطی که حجم مخزن دارای ۱۰ شاخص و میزان وروردی به مخزن دارای ۳ شاخص باشد، دارای کمترین مقدار است. این امر می تواند به این دلیل باشد که به علت تعداد شاخص کم در تقسیم بندی جریان ورودی به مخزن، تعداد زیادی از مقادیر ورودی به مخزن به صورت دست بالا در نظر گرفته شده اند و به صورت متقارن حول شاخص پراکندگی ندارند که این مسئله بیشتر در روش طول دسته مساوی نمایان می شود.

با توجه به نتایج بدست آمده، می توان گفت که هر چه تعداد شاخص ها در تقسیم بندی حجم مخزن و جریان ورودی به مخزن بیشتر باشد، نتایج به حالت واقعی نزدیک تر است و از دست بالا گرفته شدن مقادیر در تعداد تقسیمات کم و رسیدن به نتایج مطلوب تر نمی توان در جهت رسیدن به یک سیاست بهینه استفاده کرد چون مبنای بهینه سازی براساس استفاده از داده های واقعی است و اثر دادن واقعیت، در تعداد شاخص زیاد در جریان ورودی به مخزن نمایان می-شود.

۵- مراجع

[1] Yeh, W.W.-G.(1985) ‘ Reservoir management and operations models a state-of-the-art review’, Water Resour. Res.21(12), 1797-1818.

[2] Louks, D.P., Sidinger and Haith, 1981, "Water resources system planning and analysis", Prentic Hall. Englewood Cliffs.