

## Impact of Uncertainty on Risk indices in Reservoir Operation

A. Ganji<sup>1</sup>, D. Khalili<sup>1</sup> and M. Homayoun-far<sup>2</sup>

### Abstract

As a result of system complexity and incomplete information, the planning process, the "with" and "without" conditions, the project's performance and impacts, and the benefits and costs are never certain. Accordingly, the valuation of uncertainty is a "must", even on the risk indices as a sub set of uncertainty. This paper focuses on the effects of two main sources of uncertainty; i.e. data and parameter uncertainty, on the risk indices in reservoir simulation and optimization. In reservoir simulation, the effects of uncertainties in simple/disaggregated time series models are studied on the well-known reservoir efficiency indices; i.e. volumetric and occurrence reliabilities. Two additional risk indices; i.e. vulnerability and resilience are also studied. A stochastic dynamic programming model (DPR) is used to study the effects of data continuity uncertainty on reservoir operation rule. In this case the effects of data continuity uncertainty on two indices of Reliability and Losses have been evaluated. Two reservoirs under construction in Fars province, IRAN, have been selected for case study. The results show that the incorporation of uncertainty (i.e. data/parameter uncertainty) in simulation and optimization impact the risk indices differently as the flow variability condition and reservoir storage and operation changes. These results can help the designer to select the appropriate risk indices for reservoir operation.

**Keywords:** Risk, Uncertainty, Reservoir management.

## تاثیر عدم اطمینان بر معیارهای مخاطره در مدیریت مخزن

آرمان گنجی<sup>۱</sup>، داور خلیلی<sup>۱</sup> و مهراون همایون‌فر<sup>۲</sup>

### چکیده

در شرایطی که یک سیستم پیچیده مورد مطالعه قرار می‌گیرد یا در مورد آن اطلاعات زیادی در دسترس نیست، طراحی، پیش‌بینی و ارزیابی راندمانها، نتیجه نهایی اجرای پروژه و سود و زیانهای حاصله از آن چندان دقیق نخواهند بود. در چنین شرایطی ارزیابی تاثیر عدم اطمینان، حتی بر شاخصهای خطرپذیری که خود زیر مجموعه‌ای از عدم اطمینان به حساب می‌آیند، ضروری است. هدف اصلی از این مقاله معرفی و بررسی تاثیر دو عامل بروز عدم اطمینان (عدم اطمینان آماری و عدم اطمینان پارامتری) بر معیارهای مخاطره مورد استفاده در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مخزن می‌باشد. در قسمت شبیه‌سازی، تاثیر عدم اطمینان آماری و پارامتری بر معیارهای متداول مخاطره (معیار اعتمادپذیری حجمی و معیار اعتمادپذیری شمارشی) و همچنین دو معیار دیگر مخاطره (آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری) بررسی می‌گردد. در قسمت بهینه‌سازی تاثیر وارد کردن عدم اطمینان بر کارایی قانون کاربری مخزن بررسی می‌شود. در این خصوص تاثیر عدم اطمینان آماری بر دو معیار مخاطره (قابلیت اعتماد پذیری شمارشی و هدرروی) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور دو مخزن در حال ساخت استان فارس برای مطالعه انتخاب می‌شوند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان خواهد داد که وارد کردن عدم اطمینان (آماری یا پارامتری) بسته به واریانس جریانهای ورودی به مخزن سد و مدیریت مخزن و آب رها شده از آن، تاثیرات و نتایج متفاوتی را بر شاخصهای مخاطره ایجاد می‌کند. نتایج چنین تحقیقاتی می‌تواند طراحان را در انتخاب شاخصهای مناسب مخاطره برای مدیریت مخزن یاری دهد.

**کلمات کلیدی:** خطرپذیری، عدم اطمینان، مدیریت مخزن سد

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran  
2- Graduate student, Department of Water Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

<sup>۱</sup> - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران  
<sup>۲</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران.

نموده و مشخص کردند که پارامتر عدم اطمینان نقش مهمی در بهبود نتایج محاسبات دارد.

علاوه بر عدم اطمینان شاخصهای مخاطره (Risk) و کاربردهای آن توسط محققان متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. (Cai (1999) و Cai et al. (2003) ذکر می‌کنند که دخالت شاخصهای مخاطره در تصمیم‌گیری‌ها ضروری می‌باشد. مهندسین زراعی ارتش آمریکا روشها و تکنیک‌های استفاده از شاخصهای مخاطره را در طراحی و ارزیابی پروژه‌ها بررسی نموده است. مطالعات دیگری نیز بوسیله Fiering (1982)، Hashimoto et al. (1982a, b)، Moy et al. (1986) و Karamouz et al. (2003) انجام شده است.

از نقطه نظر مفهومی، مخاطره زیر مجموعه‌ای از عدم اطمینان است، چراکه تمامی شرایط مخاطره آمیز نامشخص (متاثر از عدم اطمینان) هستند (Tung, 1996). همانگونه که قبلاً نیز ذکر شد، مطالعات گسترده‌ای در زمینه دو معیار مستقل مخاطره و عدم اطمینان انجام شده است. اما بررسی تاثیر عدم اطمینان پارامتری و آماری بر شاخصهای مخاطره کمتر مورد توجه بوده است. مطالعه حال حاضر سعی دارد تا ارتباط میان عدم اطمینان و مخاطره را بگونه‌ای روشن‌تر بیان کند. به این منظور تاثیر وارد کردن عدم اطمینان پارامتری و آماری در بهینه‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور از تعریف ارائه شده توسط Ang and Tang (1984) برای عدم اطمینان پارامتری (به معنی تخمین ناکافی از پارامترهای مدل) و عدم اطمینان آماری (به معنی عدم وجود اطلاعات کافی) استفاده شد. در این راستا اثر عدم اطمینان بر معیارهای شناخته شده‌ی راندمان کاربری مخزن (معیار اعتماد پذیری حجمی<sup>۵</sup> و شمارشی<sup>۶</sup>) و نیز دو معیار مخاطره دیگر (برگشت پذیری<sup>۷</sup> و آسیب پذیری<sup>۸</sup>) مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین از یک مدل پویای تصادفی ضمنی نیز برای نشان دادن تاثیر وارد کردن عدم اطمینان آماری در کارایی قوانین کاربری مخزن استفاده خواهد شد.

به طور مختصر در این مقاله مفاهیم عدم اطمینان و مخاطره و تفاوت‌های آنها ارائه می‌شود. بعد از معرفی شاخصهای راندمان کاربری مخزن، دو معیار مخاطره دیگر (برگشت پذیری و آسیب پذیری) به طور خلاصه معرفی می‌شوند. سپس ایده تولید جریانهای مصنوعی و روش وارد کردن عدم اطمینان پارامتری و آماری ارائه می‌شود. در بخش آخر روشهای مورد استفاده به صورت گام به گام توضیح داده

طراحی سیستم‌های منابع آب عموماً تحت تاثیر سطح بالایی از عدم اطمینان و مخاطره قرار می‌گیرد. در هنگام ارائه قوانین کاربری مخزن که جزء کوچکی از ساختار مدیریتی سیستم‌های منابع آب را تشکیل می‌دهند، بایستی موارد پیچیده‌ای از جمله مسائل اقتصادی، اجتماعی و طبیعت پیچیده فرآیندهای طبیعی لحاظ شود. آگاهی و اطلاع درباره این پیچیدگی‌ها و رابطه متقابل آنها غالباً به طور کامل امکان پذیر نیست. با توجه به این مسئله به نظر می‌رسد طراحی‌ها، برآورد شاخصهای کاربری مخزن و تعیین سود و زیان پروژه‌ها، چه در زمانی که از آمار تاریخی استفاده می‌شود و چه در حالتی که آمار مصنوعی به کار برده می‌شود، هرگز به دور از عدم اطمینان نخواهد بود.

محققان تحقیقات متعددی را در زمینه شاخصهای عدم اطمینان و کاربرد آنها در منابع آب انجام داده‌اند. از آن جمله Yen and Ang (1971) عدم اطمینان را به دو گروه عدم اطمینان عینی<sup>۱</sup> و ذهنی<sup>۲</sup> طبقه‌بندی کرده‌اند که نوع عینی آن می‌تواند نتیجه‌ای از رفتار ناشناخته‌ی متغیرهای تصادفی و کمبود داده‌های آماری مورد استفاده باشد و البته تا حدودی قابل برآورد یا تخمین است. ولی نوع ذهنی آن قابل برآورد یا تخمین نیست. Burges and Lettenmaier (1975) ذکر کرده‌اند که عدم اطمینان می‌تواند ناشی از مدل‌های صحیحی باشد که پارامترهای آن به درستی تخمین زده نشده و یا می‌تواند ناشی از مدل ناکارآمد و ناقصی باشد که پارامترهای آن بدرستی تخمین زده شده باشد. Loucks, et al. (1981) وقوع عدم اطمینان را ناشی از عوامل ناشناخته متعددی می‌داند که ممکن است طراحی و مدیریت مخزن را تحت تاثیر قرار دهد و ساده‌ترین راه را جایگزینی مقادیر دارای عدم اطمینان با مقادیر متوسط آنها یا با برخی از مقادیر مرزی آنها می‌داند. Yen et al. (1981) عدم اطمینان را ناشی از طبیعت تصادفی سیستم، ناشی از انتخاب نوع مدل‌ها، ناشی از تخمین پارامترها<sup>۳</sup> یا کمبود آمار<sup>۴</sup> و بالاخره ناشی از نحوه کاربرد مدل‌ها می‌داند. Ang and Tang (1984) خطای پیش‌بینی مدل را ناشی از خطای تصادفی و خطای سیستماتیک دانسته است. Stedinger and Taylor (1982) دریافتند که عدم اطمینان پارامتری می‌تواند بسیار موثرتر از انتخاب نوع مدل از میان طیف مدل‌های مشابه باشد. Tung (1996) عدم اطمینان در منابع آب را ناشی از درک ناکافی از شرایط و حوادث طبیعی می‌داند. Ganji et al. (2001) از یک مدل شبیه‌سازی برای بررسی تاثیر عدم اطمینان آماری و پارامتری بر شاخصهای کاربری مخزن استفاده

شده و مدل‌ها در دو شرایط مختلف از واریانس جریان ورودی (سیستم‌های رودخانه‌ای کر و موند) مورد بررسی قرار می‌گیرند.

## ۲- مفاهیم مخاطره و عدم اطمینان

مخاطره خود زیر مجموعه‌ای از عدم اطمینان می‌باشد اما براساس معیارهایی از مجموعه بزرگتر عدم اطمینان مجزا می‌گردد. در شرایط مخاطره، تصمیم گیرنده از تمامی آلترناتیوهای موجود یک واقعه خبر دارد، اما هر آلترناتیو نیز خود دارای نتایج و برآمدهای احتمالی می‌باشد که تصمیم گیرنده با خروجی آنها آشنا نیست. در این شرایط به هر خروجی یک احتمال وقوع نسبت داده می‌شود. به عبارت دیگر در شرایط عدم اطمینان این احتمال را نمی‌توان برای خروجی‌ها تعیین کرد. در شرایط عدم اطمینان، تصمیم‌گیرنده ممکن است که با تمامی خروجی‌های ممکن آشنا باشد اما قادر به تعیین میزان احتمال وقوع آنها نباشد. بنابراین در شرایط خاص ممکن است مجبور به کنار گذاشتن عدم اطمینان از محاسبات گردد.

کمیسیون برنامه‌ریزی هسته‌ای آمریکا (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1975) در سال ۱۹۷۵ یک تعریف فنی از معیار مخاطره را به صورت زیر ارائه داده است:

$$\text{Risk} = \text{Frequency} * \text{Magnitude} \quad (۱)$$

$$\text{Frequency} = \text{Events} / \text{Unit time} \quad (۲)$$

$$\text{Magnitude} = \text{Consequence} / \text{Event} \quad (۳)$$

$$\text{Risk} = \text{Consequence} / \text{Unit time} \quad (۴)$$

آنچه شرایط مخاطره را از شرایط عدم اطمینان مجزا می‌سازد عبارت است از دسترسی به تخمین عینی از توزیع احتمالاتی در شرایط مخاطره. از نظر ریاضی، مخاطره بوسیله یک متغیر تصادفی و از طریق توزیع‌های احتمالاتی قابل بیان می‌باشد (The Greeley-Polhemus Group, 1992). در ادامه سعی می‌شود تا معیارهای ارزیابی مخاطره در سیستم مخازن از دیدگاه محققان مختلف به طور خلاصه بررسی و معرفی شده و روابط پیشنهادی برای محاسبه‌ی آن ارائه شود.

## ۲-۱- معیارهای مخاطره در سیستم مخازن

مخاطره نقشی کلیدی در ارزیابی پایداری پروژه‌ها دارد (Simonovic, 1997). علاوه بر این، رفتار مخاطره آمیز در مورد یک سیستم مخزن را می‌توان به سادگی با استفاده از میانگین و واریانس متغیرهای مرتبط با مدیریت مخزن بدست آورد. در این

حالت معیارهای راندمان سیستم همانند بازگشت پذیری، شدت وقوع و دوره وقوع حادثه قابل ارزیابی می‌باشد. به این منظور اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری را می‌توان به عنوان معیارهای مخاطره در نظر گرفت.

اعتمادپذیری نشان‌دهنده‌ی احتمال موفقیت یک سیستم بوده و شاخصی برای تعریف مخاطره می‌باشد. تعاریف مشابهی برای قابلیت اعتماد در منابع آب توسط (Ganji (2000), Cai (1999), Karamouz et al. (2003) ارائه شده است. سه شکل متفاوت از قابلیت اعتماد توسط Cai (1999) به صورت زیر ارائه می‌شود:

قابلیت اعتماد شمارشی، که عبارت است از نسبت تعداد دفعاتی که سیستم با شکست مواجه نشده است به طول کل دوره‌ی کاربری مخزن:

$$\text{Reliability (No.of occurrence) (\%)} = \quad (۵)$$

$$\left(1 - \frac{\text{The number of failures in design period}}{\text{The length of design period (year)}}\right) \times 100$$

شکست عبارت است از شرایطی که در آن از محدودیت‌های کاربری سیستم تخطی می‌شود، همانند عدم تامین نیاز آبی هدف، سرریز شدن مخزن یا تخلیه کامل مخزن سد.

قابلیت اعتماد حجمی که به صورت نسبت آب تامین یافته به کل حجم نیاز تعریف می‌شود:

$$\text{Reliability (Volume of allocated water) (\%)} = \quad (۶)$$

$$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{Monthly allocated demand}}{\text{Monthly demand}} \right)$$

قابلیت اعتماد شمارشی که عبارت است از نسبت مدت زمانی از کل دوره‌ی کاربری که سیستم شکست تجربه نمی‌شود به کل طول دوره‌ی کاربری مخزن. شکل‌های متفاوتی از معیارهای اعتمادپذیری (حجمی و شمارشی) همانند شکست و کمبود که پارامترهای کاربری مخزن نامیده می‌شوند، توسط محققان متعددی همانند (Stedinger and Taylor (1982a) مورد استفاده قرار گرفته است. از نقطه نظر ریاضی، شکست مکمل اعتمادپذیری بوده (1-Reliability) و نشان‌دهنده‌ی مقدار کمبود در تامین نیاز می‌باشد.

برگشت پذیری که به آن معیار ارتجاعی نیز گفته می‌شود، عبارت است از احتمال برگشت سیستم از شرایط بحرانی (شکست) به شرایط عادی در یک دوره زمانی معین. برگشت پذیری نیز توسط محققین

$$\begin{cases} CSe_t = (De_t - R_t) & De_t > S_t - S_{t+1} + I_t \\ CSe_t = 0 & De_t \leq S_t - S_{t+1} + I_t \end{cases} \quad (9)$$

$$Se_{n,i} = \sum_{t=if}^{t-1} CSe_t$$

$$Vul = \underset{n,i}{Max}(Se_{n,i}) \quad (10)$$

که در آن  $CSe_t$  کمبود در ماه  $t$ ،  $Se_{n,i}$  کمبود تجمعی آب از ماه  $t_f$  تا انتهای دوره شکست،  $t_f$  ماه آغازین وقوع شکست است.

### ۳- روش انجام مطالعه

در انجام مطالعه فوق از یک مدل شبیه سازی و یک مدل تصادفی ضمنی استفاده شده است که در زیر چهارچوب تئوری آنها ارائه می‌شود.

#### ۳-۱- مدل شبیه سازی کاربری مخزن

مدل شبیه سازی کاربری مخزن از مدل SPIGOT برای تولید جریانهای رودخانه‌ای استفاده می‌کند و همچنین این امکان را در اختیار کاربر قرار می‌دهد تا عدم اطمینان پارامتری را در تخمین پارامترهای مدل دخالت دهد. سپس به منظور محاسبه ظرفیت مورد نیاز مخزن از روش الگوریتم متوالی پیک (Sequent peak algorithm) که توسط Loucks et al. (1981) ارائه شده است، استفاده می‌شود. البته الگوریتم مزبور به منظور محاسبه معیارهای اعتمادپذیری و مخاطره در این مطالعه تغییر می‌یابد.

متعددی از جمله Hashimoto et al. (1982a, b), Fiering (1982) و Cai (1999) و Moy et al. (1986) مورد بررسی قرار گرفته است. برگشت پذیری را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$\begin{cases} CD_{t,y} = 1 & De_t > (S_t - S_{t+1} + I_t = (R_t)) \\ CD_{t,y} = 0 & De_t \leq (S_t - S_{t+1} + I_t) \end{cases} \quad (7)$$

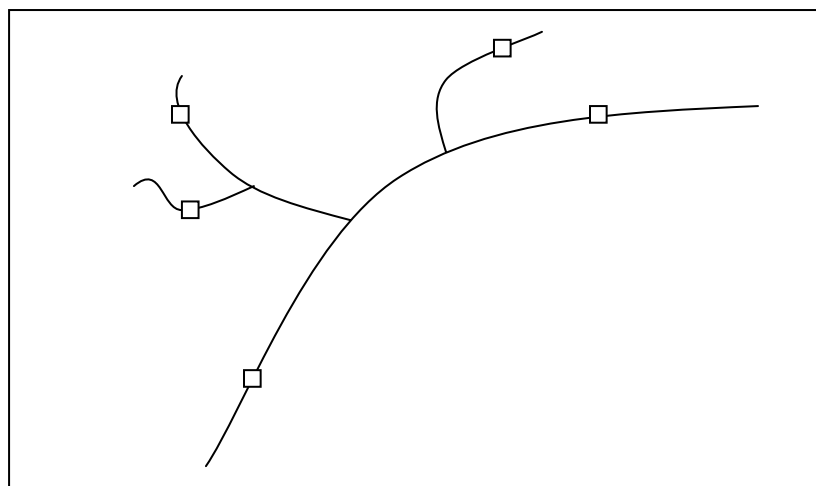
$$D_i = \sum_{y=ty}^y \sum_{t=if}^{t-1} CD_{t,y}$$

$$D = \max_i D_i \quad (8)$$

Max. Reversibility (for a record length of data) =  $(D / 12 * nyear)$

که در آن  $R_t$  میزان رهایی از مخزن در ماه  $t$  بر حسب MCM،  $S_t$  و  $S_{t+1}$  به ترتیب ذخیره مخزن در ماه  $t$  و ماه  $t+1$ ،  $I_t$  جریان ورودی به مخزن در ماه  $t$  بر حسب MCM،  $CD_{t,y}$  معیار شکست ماهانه (صفر یا یک)،  $D_i$  طول دوره شکست،  $D$  ماکزیمم طول دوره شکست (ماه)،  $De_t$  نیاز ماهانه بر حسب MCM،  $t$  شماره ماه،  $t_f$  ماه آغاز وقوع شکست،  $ty$  سال وقوع آغازین وقوع شکست،  $y$  شماره سال در افق طراحی و  $i$  طول دوره شکست در افق طراحی است.

آسیب پذیری نشان دهنده شدت یا میزان شکست یک سیستم (شدت کمبود تجمعی آب) می‌باشد. محققان متعددی مانند Moy et al. (1986), Datta and Burges (1984) در زمینه آسیب پذیری مطالعه کرده اند. Cai (1999) ماکزیمم شدت آسیب در دوره طراحی را تعریف کرده و روابط زیر را ارائه می‌دهد:



شکل ۱- رودخانه کر و موقعیت ایستگاههای هیدرومتری

### ۳-۱-۱- مدل‌های سری زمانی ساده/تفکیکی

(Karamouz and Houck, 1982) از رابطه برگشتی<sup>۱۱</sup> برنامه‌ریزی پویا غیرقطعی به صورت زیر برای یافتن راه حل بهینه استفاده می‌کند:

$$f_{t+1}(S_{t+1}) = \min_{S_t} [Loss(R_t) + f_t(S_t)] \quad (۱۲)$$

که در آن Loss هدرروی حاصل از روش انتخابی مدیریت مخزن،  $S_t$  ذخیره مخزن در ابتدای دوره  $t$  و  $R_t$  رهایی از مخزن در دوره  $t$  می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (۱۳)$$

که در آن  $I_t$  جریان ورودی در زمان  $t$  (معین) است. رهایی از مخزن به فاصله  $R_t^{\min} \leq R_t \leq R_t^{\max}$  محدود می‌شود و شرط اولیه  $f_1(S_1)=0$  می‌باشد. پس از یک بار انجام بهینه‌سازی، رابطه میان مقادیر بهینه‌ی رهایی از مخزن و دو پارامتر حجم مخزن و جریانهای ورودی به مخزن در قالب یک مدل کاربری مخزن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R_t^* = aI_t + bS_t + c \quad (۱۴)$$

که در آن  $a$  و  $b$  و  $c$  ضرایب قانون کاربری مخزن،  $R_t^*$  مقدار بهینه رهایی از مخزن می‌باشد. سپس این رابطه به منظور تخمین کارایی بر روی یک رشته مصنوعی طولانی از جریانهای ورودی به مخزن آزمایش شده و میزان هدرروی با توجه به روش (Karamouz and Houck, 1982) محاسبه می‌گردد. بعد از تخمین رابطه کاربری مخزن و شبیه‌سازی فوق‌الذکر، محدودیت اعمال شده بر روی رهایی از مخزن به صورت زیر تغییر یافته و مجدداً از برنامه بهینه‌سازی پویا برای تخمین مقادیر بهینه رهایی از مخزن استفاده می‌شود.

$$(1 - Bound)R_t^* \leq R_t \leq (1 + Bound)R_t^* \quad (۱۵)$$

محدود کردن دامنه رهایی از مخزن بعد از هر بار اجرای مدل بهینه‌سازی و انجام شبیه‌سازی تکرار شده و بهترین رابطه کاربری مخزن براساس کمترین مقدار هدرروی حاصل از شبیه‌سازی‌های متوالی انتخاب می‌شود.

### ۳-۱-۳- مطالعه موردی

حوزه دو رودخانه موند و کر به عنوان مکانهای مورد مطالعه انتخاب شدند. حوزه رودخانه کر با مساحت ۲۲۳۰ کیلومتر مربع در استان

داده‌های مصنوعی توسط نرم افزار تولید جریانهای رودخانه‌ای SPIGOT تولید شد. در ابتدا پارامترهای تابع توزیع با انطباق گشتاورها حاصل شده و برازش بهترین تابع توزیع توسط اندازه گیری همبستگی کوانتیل‌های حاصل از مشاهدات و تابع توزیع انتخابی (آماره همبستگی فیلیپین (Grygier and Stedinger, 1990) مشخص می‌شود. سپس جریانهای سالانه و ماهانه با استفاده از روش تبدیل Wilson-Hilferty از توزیعهای موجود به توزیع نرمال تبدیل<sup>۹</sup> می‌یابند. SPIGOT از مدل‌های اتورگرسیو درجه یک (AR(1)) برای تولید جریانهای رودخانه‌ای سالانه استفاده می‌کند (مدل SPIGOT قابلیت استفاده از مدل‌های اتورگرسیو با درجه بالاتر را ندارد). داده‌های مصنوعی سالانه سپس توسط مدل‌های زمانی- مکانی تفکیکی<sup>۱۰</sup> به جریانهای ماهانه تفکیک می‌شوند. شکل کلی مدل‌های تفکیکی به صورت زیر است:

$$Z_{nt} = c + \beta Z_{n,t-1} + \gamma_t z_n + \delta_t A_{nt} + V_{nt} \quad (۱۱)$$

که در آن  $Z_{n,t}$  و  $Z_{n,t-1}$  عبارت‌اند از جریانهای ماهانه در زمان  $t$  و  $t-1$ ،  $Z_n$  جریانهای سالانه،  $V_{nt}$  یک متغیر تصادفی مستقل با میانگین صفر،  $A_{nt}$  مجموع وزن دار از جریانهای ماههای قبل و  $c$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\sigma$  ضرایب ثابت هستند. مدل‌های تفکیکی زمانی منجر به ساده‌سازی مدل‌سازی و کاهش تعداد پارامترهای مورد نیاز آن می‌شود و لذا به بهبود تخمین پارامترها کمک نموده و عدم اطمینان پارامتری کاهش می‌یابد (Stedinger and Taylor, 1982). همچنین استفاده از مدل‌های مکانی به آن دلیل که از آمار ایستگاههای مجاور نیز در تخمینها بهره می‌برند، باعث کاهش اثر کمبود آمار و به تبع آن کاهش عدم اطمینان آماری می‌شود.

یکی از مزایای SPIGOT بر دیگر نرم‌افزارهای تولید جریانهای رودخانه‌ای در نظر گرفتن عدم اطمینان پارامتری در هنگام تولید جریانهای رودخانه‌ای است. این قابلیت زمانی که از داده‌هایی با طول آماری کوتاه استفاده می‌شود ارزشمند است، چرا که آماره‌های حاصله معمولاً با آنچه از داده‌های بلندمدت بدست می‌آید، متفاوت است (Grygier and Stedinger, 1990) و در نظر گرفتن عدم اطمینان پارامتری در تولید جریانهای رودخانه‌ای ممکن است بتواند تخمین اعتمادپذیری و نیز پیشگویی وقایع آینده را بهبود بخشد.

### ۳-۱-۲- مدل بهینه‌سازی کاربری مخزن

به منظور بهینه‌سازی کاربری مخزن و ارزیابی پارامترهای مخاطره در مدیریت مخزن یک زیر برنامه (DPR) و یک زیر برنامه شبیه‌سازی به مدل SPIGOT اضافه شد. مدل DPR

همچنین به منظور بررسی رفتار شاخصهای مخاطره و عدم اطمینان در شرایط جریانهایی با واریانس بالا، هر دوی روشهای تفکیکی مکانی و زمانی برای تولید جریانهای رودخانه‌ای در ایستگاه تنگ کارزین (بالا دست سد مخزنی سلمان فارسی) مورد استفاده قرار گرفت. تعداد رشته جریانهای تولیدی در قسمت شبیه سازی، با فرض تخمین نرمال برای تعیین فاصله اطمینان بر روی متوسط و واریانس جمعیتی و در سطح اعتماد ۹۵٪ تعیین شد. با توجه به این روش ۱۰۰ رشته جریان در ایستگاههای براق و چمریز و ۳۸۴ رشته در محل ایستگاه تنگ کارزین تولید شد.

همچنین در قسمت مدل بهینه‌سازی (شکل ۳)، معیارهای اعتمادپذیری و هدرروی حاصل از قوانین بهینه کاربری مخزن در هر دو شرایط جریان ورودی با واریانس کم و زیاد و نیز با در نظر گرفتن عدم اطمینان آماری ارزیابی می‌شود. برای این منظور از تغییر طول داده‌های تاریخی در قسمت شبیه‌سازی استفاده می‌شود. همچنین مقادیر مختلفی از نیاز آبی و حجم مخزن به منظور نشان دادن تاثیر حجم و ظرفیت مخزن بر شاخصهای مخاطره در روند بهینه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای این منظور از مدل شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای برای تولید داده‌های ورودی به مخزن استفاده می‌شود.

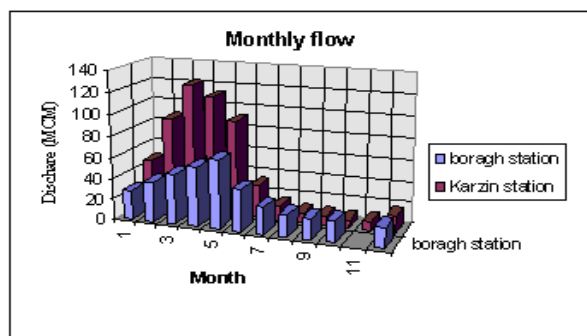
#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- پارامترهای کاربری مخزن (قابلیت اعتماد پذیری حجمی و شمارشی)

در مطالعه‌ای که توسط گنجی و همکاران (۲۰۰۱) انجام شد، تاثیر طول رکورد جریان رودخانه‌ای و وارد کردن عدم اطمینان پارامتری بر طراحی حجم مناسب مخزن سد مورد بررسی قرار گرفت. در شرایطی که واریانس جریان ورودی به مخزن پایین است، اثر وارد کردن عدم اطمینان پارامتری در محاسبات تخمین حجم مخزن بیشتر از دو برابر کردن طول دوره رکورد آماری می‌باشد. اگر چه در شرایط جریان با واریانس بالا، تاثیر هر دوی موارد فوق قابل توجه می‌باشد.

در مقاله حال حاضر، تاثیر وارد کردن عدم اطمینان پارامتری، در کنار عدم اطمینان آماری و اثر آن بر معیارهای مخاطره و اعتمادپذیری مورد بررسی قرار می‌گیرد. سه معیار طراحی شده بر اساس اعتمادپذیری برای ارزیابی اثر عدم اطمینان آماری و پارامتری مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). شاخص اول (ردیف اول، ستون ۲) به طور ساده اختلاف میان مقادیر معیار اعتمادپذیری حاصل از طول رکوردهای آماری ۱۷ و ۳۰ سال را نشان می‌دهد. شاخص دوم

فارس قرار دارد. سیستم مخزنی رودخانه کر آب مصرفی سه میلیون نفر را در زمینه‌های کشاورزی، صنعتی، شرب و نیز تولید نیروی برق، تفریحات آبی و جریان پایه‌ی محیط زیستی تامین می‌کند. سد درودزن دارای حداکثر ظرفیت ۱۰۰۰ میلیون متر مکعب بوده و در شمال شهر شیراز قرار دارد (شکل ۱ را نگاه کنید). سد مالاصدرا نیز بر روی شاخه‌ای از رودخانه کر (دزد کر) و در بالادست سد درودزن قرار دارد و دارای ظرفیت ۴۱۴ میلیون متر مکعب بوده و متوسط جریان ورودی ۷۲/۴۳ و انحراف از معیار ۴۷/۲۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. سد سلمان فارسی در حوزه رودخانه موند با حجم ذخیره ۱۴۰۰ میلیون متر مکعب در استان فارس قرار دارد. هدف اصلی این سد تامین نیاز آبی کشاورزی است. متوسط جریان ورودی به مخزن سد ۴۶/۴۷ و انحراف از معیار ۴۴/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. در مقایسه با حوزه رودخانه کر، جریان ورودی به مخزن در حوزه رودخانه موند دارای واریانس بالاتری است (شکل ۲).



شکل ۲- متوسط جریان ماهانه رودخانه کر و موند

##### ۴-۱-۳- روند تولید جریانهای رودخانه‌ای در شبیه سازی و بهینه سازی

در شبیه سازی جریانهای رودخانه‌ای، از هر دوی مدل‌های زمانی و مکانی SPIGOT استفاده شد. به منظور بررسی اثر واریانس جریان بر مدل‌سازی‌ها، دو حوزه موند و کر که دارای واریانس جریانهای ورودی متفاوت بودند، انتخاب شدند. در مطالعه انجام شده بر روی حوزه کر، ایستگاه هیدرومتری براق انتخاب شد (شکل ۱). از آنجایی که ایستگاه براق دارای طول رکورد تاریخی کوتاهی بود، هر دوی مدل‌های تفکیکی مکانی و تفکیکی زمانی برای تولید جریانهای رودخانه‌ای استفاده شدند. در هر دوی روشها عدم اطمینان پارامتری در تعیین معیار مخاطره و مدیریت مخزن استفاده شد. علاوه بر این، بدلیل کوتاه بودن طول دوره آماری ایستگاه تنگ براق و به منظور بررسی اثر عدم اطمینان آماری (طول دوره رکورد) بر روی معیارهای مخاطره، آنالیز عدم اطمینان با استفاده از آمار ایستگاه چمریز (بر روی رودخانه کر) که دارای آمار طولانی مدت است، انجام شد.

ردیف ۲، ستون دوم) میانگین تغییرات در معیار اعتمادپذیری را به ازای ۴ سال کاهش طول دوره آماری نشان می‌دهد. ماکزیمم و مینیمم شدت تغییرات در معیار اعتمادپذیری نیز به عنوان شاخص سوم در ردیف ۳ ستون ۲ آورده شده است. تاثیر عدم اطمینان پارامتری نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ برای مخزن سد ملاصدرا و برای چهار حجم مختلف مخزن نشان داده شده است.

همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود شاخص اول یعنی معیارهای اعتمادپذیری حجمی و شمارشی، به طور کاملاً محسوسی با کاهش طول دوره آماری افزایش می‌یابند. این تغییر در مورد معیار اعتمادپذیری حجمی بیش از معیار شمارشی می‌باشد. این مورد به آن دلیل که حساسیت بیشتر یک معیار اعتمادپذیری را نسبت به عدم اطمینان آماری نشان می‌دهد، دارای اهمیت است. نتایج مشابهی نیز برای دو شاخص دیگر در جدول ۱ مشاهده می‌شود. همچنین مقایسه‌ای میان تاثیر عدم اطمینان آماری و پارامتری بر روی سه

شاخص ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که معیارهای قابلیت اعتماد حجمی و شمارشی به میزان زیادی بوسیله پارامتر عدم اطمینان تغییر می‌یابند. به عبارت دیگر در صورت استفاده از طول آماری کوتاه مدت در برآورد این معیارها، با وارد کردن عدم اطمینان پارامتری در محاسبات، می‌توان تا حدود زیادی تخمینها را به تخمینهایی که بر اساس یک طول دوره آماری بلند مدت بدست آمده، نزدیک نمود. البته نتایج مزبور نشان می‌دهد که نزدیکی میان معیارهای قابلیت اعتمادپذیری حجمی که از تحلیل رکورد بلندمدت و کوتاه مدت حاصل شده، محسوس تر از نزدیکی میان معیارهای قابلیت اعتمادپذیری شمارشی است. بنابراین به نظر می‌رسد معیار قابلیت اعتمادپذیری حجمی معیار مناسبتری برای بررسی اطمینان پذیری در مدل‌های کاربری مخزن در شرایط واریانس کم جریان ورودی به مخزن می‌باشد. اما از آنجایی که روند مشخصی در تغییر شاخصها معرفی شده در مورد جریانهایی با واریانس بالا وجود ندارد، نتیجه‌گیری مشابهی را در این مورد نمی‌توان انجام داد.

جدول ۱- مقایسه میان تغییر شاخصهای اعتماد پذیری نسبت به تغییر در میزان آمار و دخالت عدم اطمینان پارامتری (نتایج شبیه سازی برای شرایط واریانس کم جریان)

انواع عدم اطمینان	تعبیر در شاخص اعتماد پذیری	Required storage ratio (MAF)	نوع شاخص اعتماد پذیری (%)		
			شمارشی	حجمی	
	اختلاف میان شاخصهای اعتماد پذیری حاصل از بزرگترین و کوچکترین طول دوره‌ی آماری در دسترس	۴۵ ۵۵ ۷۰ ۸۵	۰/۷۸ ۰/۶۷ ۰/۴۰ ۰/۳۷	۰/۷۳ ۰/۵۶ ۰/۵۸ ۰/۶۰	
اعمال عدم اطمینان آماری حاصل از کاهش در طول دوره‌ی آماری	میانگین شدت تغییرات در اعتماد پذیری در اثر کاهش طول دوره‌ی آماری (Ave. slope)	۴۵ ۵۵ ۷۰ ۸۵	۰/۱۶ ۰/۲۳ ۰/۲۲ ۰/۳۵	۰/۳۹ ۰/۴۹ ۰/۷۸ ۱/۵۵	
	ماکزیمم و مینیمم شدت تغییرات در اعتمادپذیری در اثر کاهش دوره‌ی آماری (گام چهار ساله)	۴۵ ۵۵ ۷۰ ۸۵	*-۰/۱ *-۰/۲ *-۰/۲ *-۰/۱	*-۰/۲۵ *-۰/۲۷ *-۰/۴ *-۰/۱۶	*-۰/۵ *-۰/۴۲ *-۰/۹۹ *-۰/۵۸
اعمال عدم اطمینان پارامتری	اختلاف در قابلیت اعتمادپذیری حاصل از کاربرد دوره رکورد طولانی و کوتاه مدت	۴۵ ۵۵ ۷۰ ۸۵	۰/۵۹ ۰/۵۱ ۰/۳۸ ۰/۱۶	۰/۷۳ ۰/۵۷ ۰/۴۶ ۰/۵۰	

\* حداقل شدت تغییرات اعتماد پذیری (گام ۴ ساله)

\* حداکثر شدت تغییرات اعتماد پذیری (گام ۴ ساله)

#### ۴-۲- آسیب پذیری و برگشت پذیری

عدم اطمینان پارامتری در محاسبات بیش از ۱۰۰٪ افزایش طول دوره آماری در شرایط واریانس کم جریان رودخانه‌ای است.

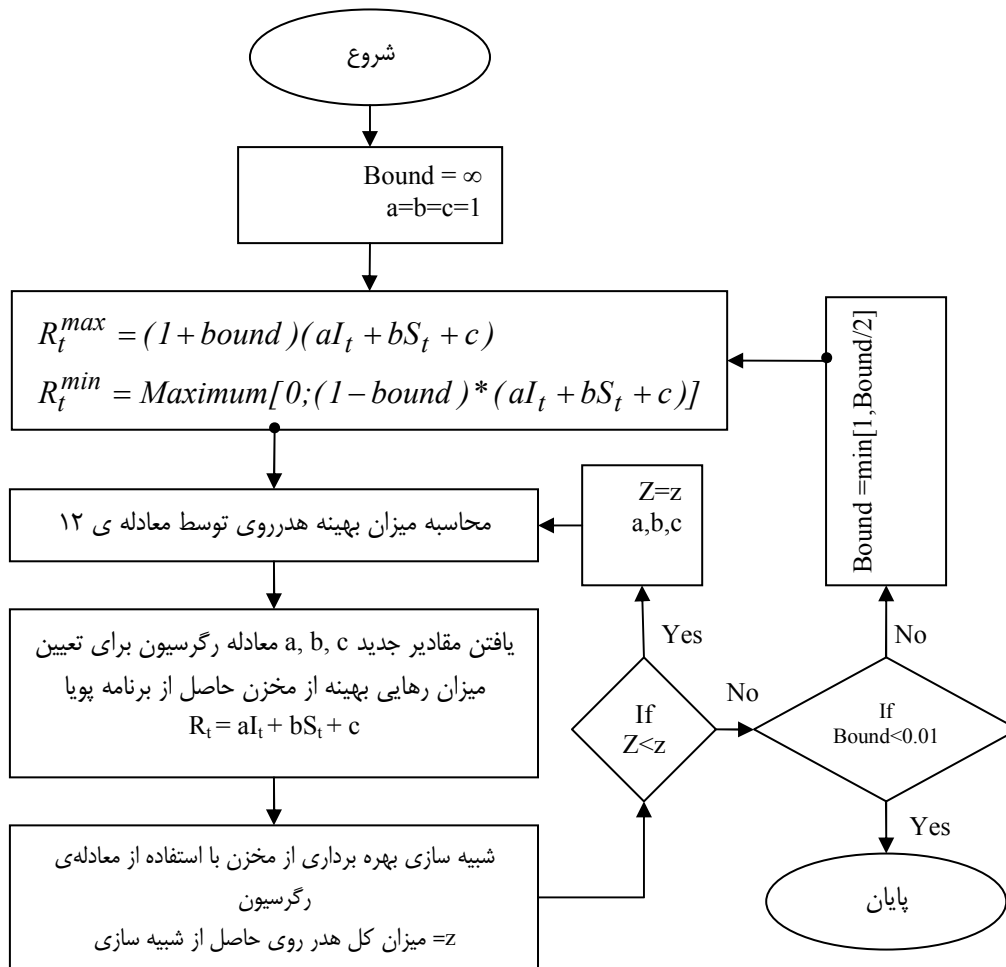
شکل ۶ نتایج حاصل از شبیه‌سازی را برای معیار حداکثر بازگشت‌پذیری در ایستگاه چمریز نشان می‌دهد. برای این منظور از یک دوره آماری ۳۰ ساله، یک بار بدون در نظر گرفتن عدم اطمینان پارامتری و یک بار همراه با عدم اطمینان پارامتری استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۹۰٪ مقادیر شبیه‌سازی از مقدار تاریخی کمتر نیست. همچنین می‌توان مشاهده نمود که وارد کردن عدم اطمینان پارامتری باعث تغییر محسوس در کوانتیل‌های پایین نمودار جعبه‌ای و نزدیک‌تر شدن آن به نتایج حاصل از آمار تاریخی شده است.

روش مشابهی برای مطالعه آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری بر روی رودخانه موند که دارای واریانس جریان بالاست انجام شد. شکل ۷ توزیع مقادیر شبیه‌سازی شده آسیب‌پذیری را برای سطح تامین نیاز آبی ۷۰٪ نشان می‌دهد که به صورتی کاملاً نامنظم با تغییر در طول رکورد آماری تغییر می‌نماید. در این نمودار میزان آسیب‌پذیری تاریخی کمتر از مقادیر شبیه‌سازی شده برآورد شده است که نتیجه واریانس بالای جریان و عدم کفایت داده‌های آماری تاریخی برای برآورد آسیب‌پذیری در شرایط واریانس بالای جریان است. تغییرات بالای مقادیر شبیه‌سازی شده نیز در اثر همین تغییرات زیاد جریان ورودی است که عملاً عدم کفایت مدل‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. اما با این حال مقایسه میان نتایج رکورد آماری ۳۰ ساله و ۱۷\* ساله در نمودار ۷ به خوبی اثر ورود نمودن عدم اطمینان پارامتری را در محاسبات آشکار می‌سازد. این مقایسه نشان می‌دهد، هنگامی که واریانس جریان ورودی بالاست و امکان استفاده از مدل‌هایی با تعداد زیاد پارامترها به دلیل طول کم آمار وجود ندارد، عدم اطمینان پارامتری تا چه حد می‌تواند باعث نزدیک‌تر شدن تخمین‌ها به شرایطی شود که از طول دوره آماری بالا استفاده شده است.

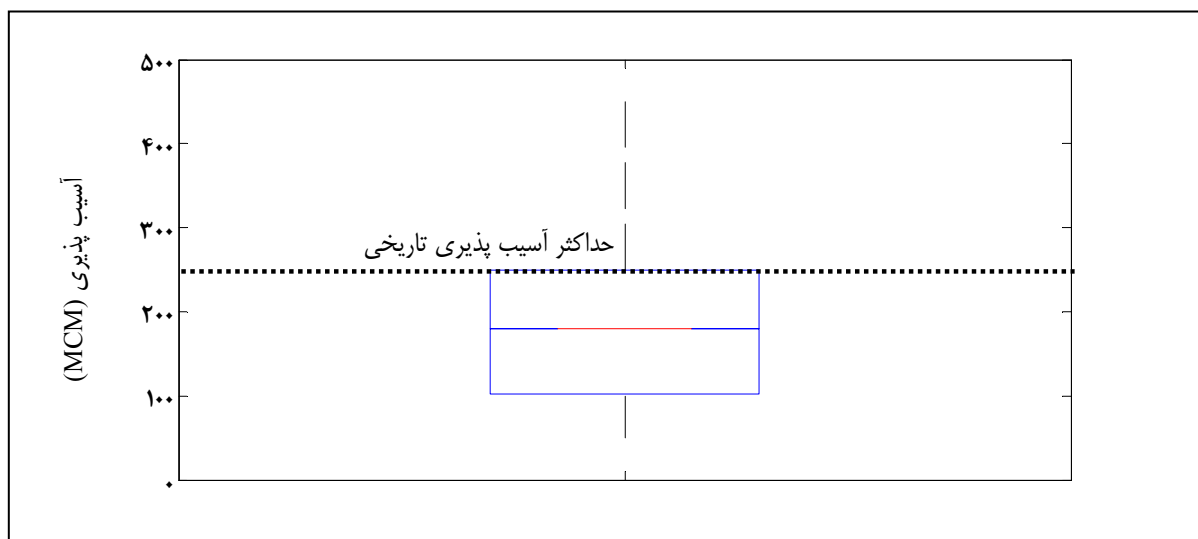
حداکثر اعتماد پذیری نیز در ایستگاه تنگ کارزین با استفاده آمار ۳۰ ساله و یک بار با در نظر گرفتن عدم اطمینان پارامتری و یک بار بدون در نظر گرفتن آن محاسبه گردید. شکل ۸ توزیع معیار حداکثر برگشت‌پذیری را نشان می‌دهد. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که معیار حداکثر برگشت‌پذیری حاصل از رکورد تاریخی در سطح اطمینان ۹۰٪ کمتر از واقعیت تخمین زده شده و عدم اطمینان آماری تأثیر کمی بر روی تابع توزیع این معیار داشته است.

شکل ۴ نمودار جعبه‌ای مربوط به مقادیر آسیب‌پذیری حاصل از مدل شبیه‌سازی‌ای است که پارامترهای آن بر اساس اطلاعات استخراجی از یک رکورد تاریخی ۱۷ ساله تخمین زده شده است. آمار استفاده شده مربوط به ایستگاه تنگ براق در بالادست سد مخزنی ملاصدرا می‌باشد که توسط یک مدل تفکیکی زمانی شبیه‌سازی شده است. نمودار جعبه‌ای ارائه شده به ترتیب از بالاترین خط نمودار به پایین، مقادیر احتمال وقوع ۹۹٪، ۷۵٪، ۲۵٪، و ۱٪ را نمایش می‌دهد و نقطه سیاه میانی احتمال ۵۰ درصد و بیشتر را نشان می‌دهد. شکل ۴ به خوبی مشخص می‌کند که آسیب‌پذیری حاصل از آمار تاریخی (با یک خط منقطع نشان داده شده) با احتمال ۷۵٪ بر آسیب‌پذیری حاصل از شبیه‌سازی منطبق است و در سطح اطمینان ۹۰٪ کمتر از مقادیر شبیه‌سازی شده نیست (روش مقایسه در Loucks, et al., 1981 "ص ۱۶۵" آورده شده است). بنابراین به نظر می‌رسد در شرایط واریانس کم جریان، استفاده از جریانهای تاریخی منجر به تخمین نامناسبی از معیار آسیب‌پذیری نخواهد شد. اما به منظور اطمینان از این نتیجه و بررسی اثر عدم اطمینان پارامتری و آماری بر نتایج شبیه‌سازی فوق، ایستگاه چمریز با دوره آماری طولانی و شرایط هیدرولوژیکی مشابه در پایین دست این ایستگاه انتخاب شد. این بار نیز آمار ۳۰ ساله این ایستگاه با استفاده از مدل‌های تفکیکی زمانی شبیه‌سازی شد و معیار آسیب‌پذیری برای سطوح متفاوتی از تامین نیاز آبی پایین دست (۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪) محاسبه گردید. شبیه‌سازی همچنین بر اساس پارامترهای تخمین زده شده از آمار کوتاه مدت همین ایستگاه (۱۷ ساله) و البته با در نظر گرفتن عدم اطمینان پارامتری در تخمین پارامترها انجام شد. نمودار ۵ نتایج را برای حالتی که ۷۰٪ از نیاز پایین دست تامین شود، نشان می‌دهد. شماره‌هایی که در بالای هر نمودار جعبه‌ای قرار دارد، نشان‌دهنده‌ی آن است که مدل شبیه‌سازی، ارائه شده براساس یک رکورد آماری مشخص، با چه احتمالی مقدار آسیب‌پذیری‌ای بیش از آسیب‌پذیری استخراج شده از آمار تاریخی تولید می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که اثر طول دوره آماری در برآورد معیار آسیب‌پذیری کم بوده و در تمامی موارد مقدار ارائه شده توسط مدل شبیه‌سازی کمتر از مقدار آسیب‌پذیری حاصل از آمار تاریخی می‌باشد. اما هنگامی که عدم اطمینان پارامتری در محاسبات وارد می‌شود، حتی با طول دوره ۱۷ ساله، معیار آسیب‌پذیری حاصل از شبیه‌سازی به تاریخی نزدیک می‌شود. اگرچه چنین تغییراتی تنها ثابت می‌کند که استفاده از رکوردهای کوتاه مدت برای شبیه‌سازی آسیب‌پذیری باعث کم برآورد شدن آن نمی‌شود، اما می‌توان به یک نکته دیگر هم توجه داشت که مطابق با این نتایج اثر وارد کردن

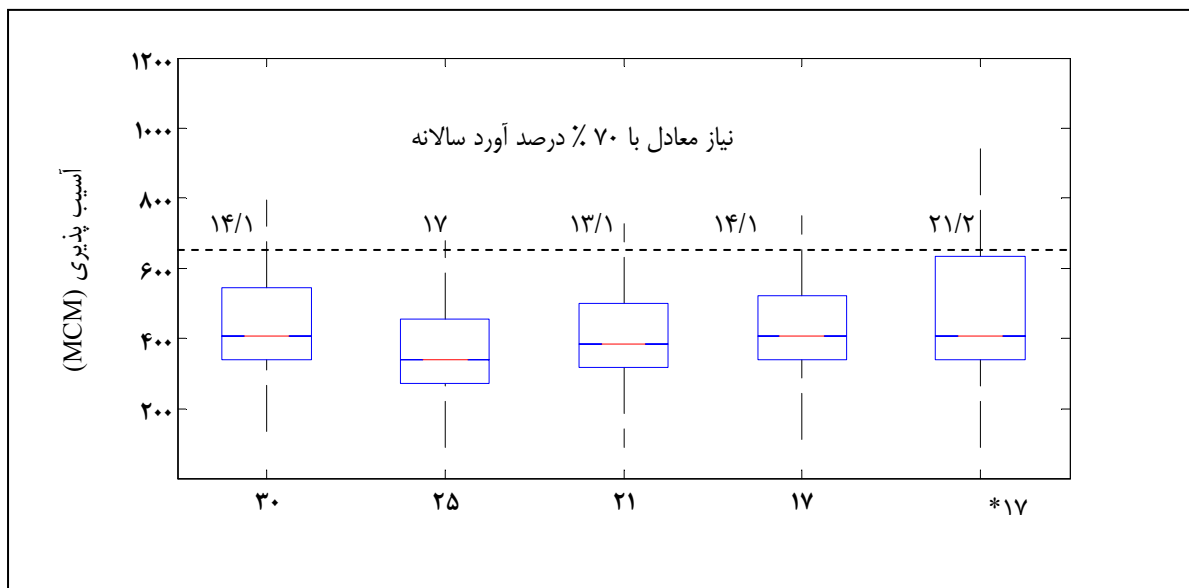




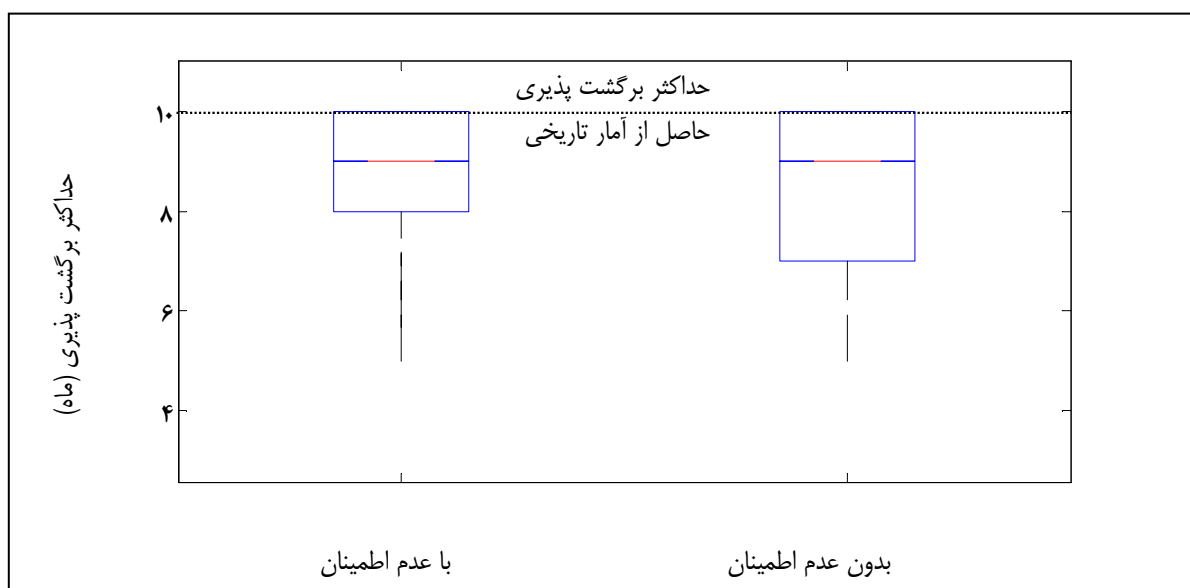
شکل ۳- الگوریتم مدل برنامه ریزی مخزن، [Karamouz and Houck (1982)]



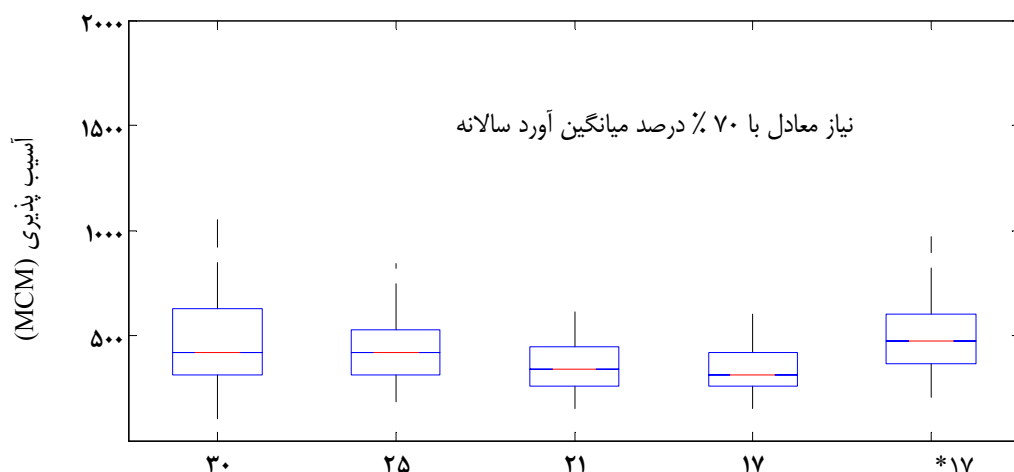
شکل ۴- معیار آسیب پذیری (حداکثر شدت خشکسالی) برآورد شده از سری های تاریخی و مصنوعی در ایستگاه تنگ براق برای تامین نیاز ۷۰٪



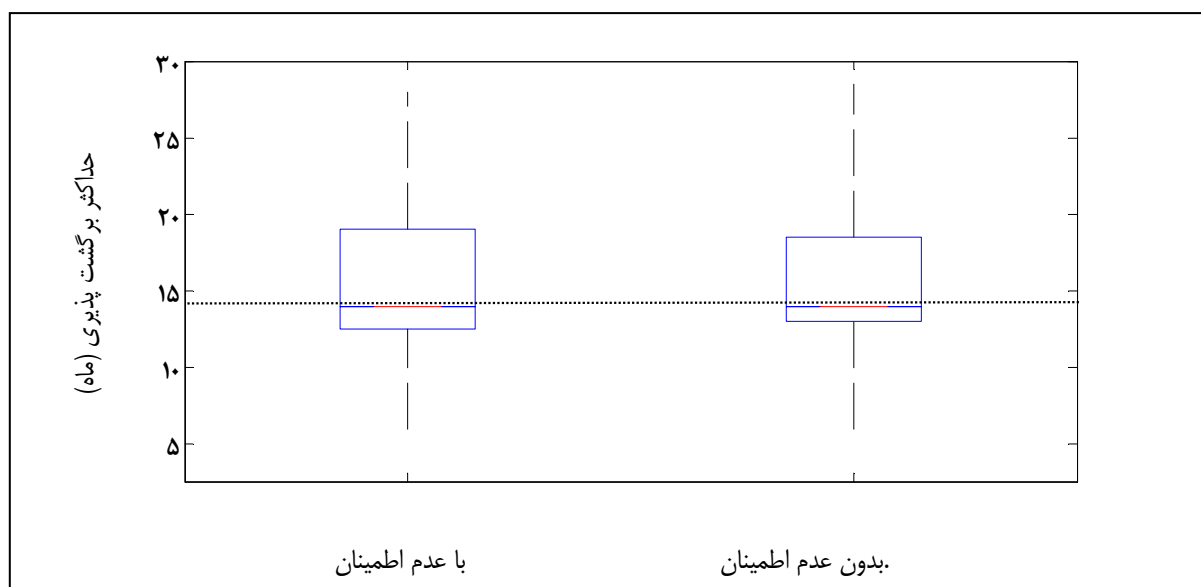
شکل ۵- نمودار جعبه‌ای توزیع معیار آسیب پذیری در ایستگاه چمریز  
(خط منقطع مقدار آسیب پذیری تاریخی را نشان می‌دهد)



شکل ۶- توزیع معیار حداکثر بازگشت پذیری در ایستگاه چمریز  
(خط منقطع مقدار برگشت پذیری تاریخی را نشان می‌دهد)



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای معیار آسیب پذیری برای ایستگاه تنگ کارزین (خط منقطع مقدار آسیب پذیری تاریخی را نشان می‌دهد)



شکل ۸- تابع توزیع ماکزیمم بازگشت پذیری برای ایستگاه تنگ کارزین (خط منقطع مقدار برگشت پذیری تاریخی را نشان می‌دهد)

کاربری مخزن را برای سد مخزنی ملاصدرا و در ۴ سطح فرضی ذخیره مخزن و ۲ طول متفاوت از جریان ورودی نشان می‌دهد (شرایط جریان ورودی با واریانس کم). این مقادیر هدر روی از مخزن، ممکن است در اثر کاهش دامنه مجاز تغییرات رهایی از مخزن در مدل بهینه‌سازی DPR افزایش یا کاهش یابند. این نتایج در جدول ۲، ستون ۷ آورده شده است. علامت ستاره (\*) نشان دهنده‌ی آن است که حداقل هدرروی مربوط به قانون کاربری مخزن

۳-۴ اثرات وارد کردن عدم اطمینان بر نتایج مدل‌های بهینه‌سازی مدیریت مخزن

به منظور بررسی وارد نمودن عدم اطمینان آماری بر نتایج نهایی مدل‌های بهینه‌سازی کاربری مخزن، یک مدل تصادفی پویا به نام DPR که به طور مستقیم از کیفیت آمار تاثیر می‌پذیرد، انتخاب شد. برای این منظور از تغییر طول داده‌های تاریخی جریان رودخانه‌ای استفاده می‌شود. جدول ۲ مقادیر هدرروی حاصله از کاربرد قانون

جدول ۳ نتایجی غیر مشابه با جدول ۲ را درباره شرایط جریان ورودی با واریانس بالا به مخزن نشان می‌دهد. قوانین کاربری در این حالت برای طول رکورد آماری بلندمدت‌تر بهتر عمل کرده و هدرروی نسبی کمتری را ایجاد کرده‌اند. ضمن آنکه قوانین کاربری مخزن با افزایش محدودیت جریان خروجی از مخزن بهبود یافته‌اند. اما با این حال نتایج مدل DPR را باید با احتیاط در این شرایط به کار برد. حقیقت آن است که محدودسازی خروجی از مخزن باعث کاهش تغییرپذیری حجم مخزن سد و مقدار رهایی از مخزن شده و همبستگی مدل کاربری مخزن را افزایش می‌دهد که این خود باعث ایجاد رابطه‌ای قوی‌تر میان متغیر مستقل و وابسته و در نهایت کاهش هدرروی نسبی می‌شود. اما نکته اساسی آن است که معیارهای اعتمادپذیری که در شکل ۹ نشان داده شده است، به شدت در مورد مخازن کوچک و متوسط کاهش می‌یابند. بنابراین به نظر می‌رسد از این مدل، در شرایط جریان با واریانس بالا، تنها برای مخازن بزرگ که تحت فشار زیاد مصرف و یا ورودی به مخزن نیستند، می‌توان استفاده کرد.

در شرایطی بوده که رهایی از مخزن به فاصله  $R_t^{\min} \leq R_t \leq R_t^{\max}$  محدود می‌شود و علامت (♣) مربوط به حالتی است که حداقل هدرروی مربوط به محدوده باریک‌تری از رهایی از مخزن باشد. علامت (-) نشان دهنده آن است که با کاهش دامنه رهایی از مخزن هدرروی افزایش یافته است و بنابراین بهترین قانون کاربری مخزن همان قانونی است که از مرحله اول بهینه‌سازی مدل DPR (یعنی در محدوده رهایی از مخزن  $R_t^{\min} \leq R_t \leq R_t^{\max}$  حاصل شده است (شکل ۳ را مشاهده کنید). هرچند که نتایج جدول ۲ اولین قانون کاربری الگوریتم DPR را به عنوان قانون کاربری بهینه پیشنهاد می‌کند اما با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان هدرروی مربوط به قانون کاربری مخزن، در هنگام استفاده از آمار کوتاه مدت، به میزان زیادی نسبت به میانگین سالانه جریان رودخانه کاهش می‌یابد و این نگرانی را در مورد اثر منفی عدم اطمینان آماری بر روی محاسبات، در شرایط واریانس جریان کم، ایجاد می‌کند.

جدول ۲- میانگین ماهانه هدرروی آب در اثر استفاده از قوانین کاربری مخزن ملاصدرا در رودخانه کر

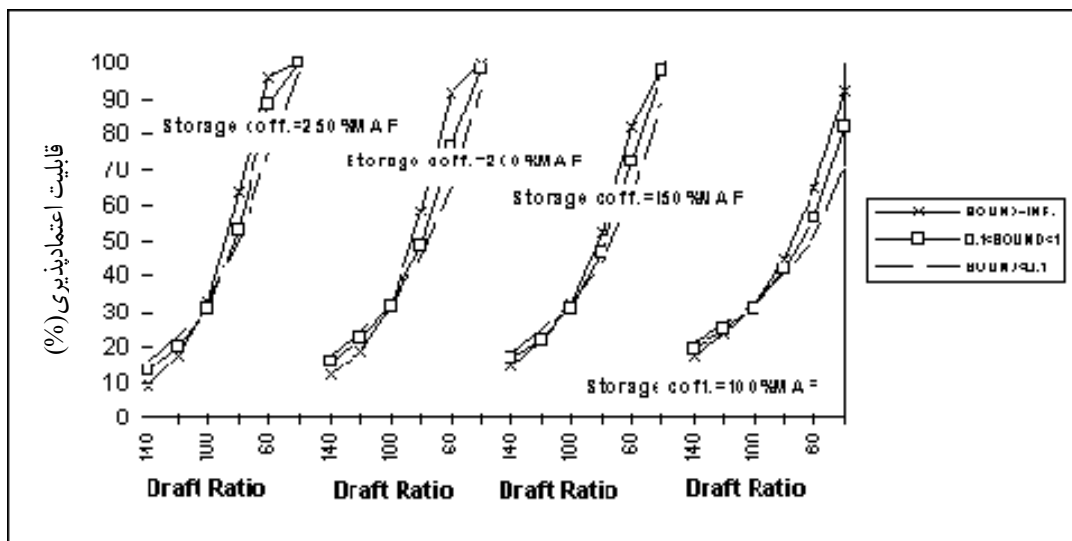
طول رکورد رشته‌های جریان تاریخی	میانگین جریان‌های رودخانه‌ای (m <sup>3</sup> /Month)	ضریب تغییرات (%)	ظرفیت مخزن به عنوان درصدی از میانگین جریان سالانه (10 <sup>6</sup> )			
			۵۰	۷۰	۱۰۰	۱۴۰
			هدر روی قانون کاربری			
۱۹۷۰-۱۹۸۵	۳۵/۳۰۹	۸۵	۲/۰۶ (-)	۱/۹۹ (-)	۱/۳۱ (-)	۱/۰۴* (-♣)
۱۹۷۰-۱۹۸۰	۴۰/۱۱۸	۶۷	۲/۰۱ (-)	۱/۲۷ (-)	۰/۷۲ (-)	۰/۴۲ (-)

\* میانگین ماهانه هدرروی مربوط به اولین قانون کاربری می‌باشد.  
(-) افزایش هدرروی در اثر اعمال محدودیت در قانون کاربری

جدول ۳- میانگین ماهانه هدرروی آب در اثر استفاده از قوانین کاربری مخزن سد قیر در رودخانه موند

طول رکورد رشته‌های جریان تاریخی	میانگین جریان‌های رودخانه‌ای (m <sup>3</sup> /Month)	ضریب تغییرات (%)	ظرفیت مخزن به عنوان درصدی از میانگین جریان سالانه (10 <sup>6</sup> )			
			۵۰	۷۰		
			هدر روی قانون کاربری			
۱۹۷۰-۱۹۹۶	۴۵/۵۶۳	۱۵۰/۵۰	۲۱/۳۹ (۱۹/۵۶)	۱۸/۸۸ (۸/۴۴)	۱۸/۶۷ (۵/۶۵)	* ۱۸/۶۵ (۲/۴۸)♣
۱۹۷۰-۱۹۸۴	۴۵/۵۱۴	۱۵۵/۴۳	۲۳/۰۳ (۲۱/۹۲)	۱۹/۱ (۱۹/۰۸)	۱۸/۶۹ (۱۸/۶۹)	۱۸/۶۵ (۱۲/۲۵)

♣ حداقل ماهانه‌ی هدرروی مربوط به قانون کاربری بهینه بوده است.  
\* میانگین هدرروی مربوط به قانون اولین قانون کاربری



شکل ۹- تغییر در معیار اعتمادپذیری مخزن سد به عنوان تابعی از تامین نسبی نیاز و ضریب ذخیره مخزن در سه سطح مختلف از محدودیت رهایی از مخزن در ایستگاه تنگ کارزین

در شبیه‌سازی مخزن تاثیر کمی بر توزیع معیار برگشت‌پذیری داشت. در نهایت می‌توان نتیجه گفت که با وارد کردن عدم اطمینان پارامتری در محاسبات، نتایج در مورد جریانهای با واریانس کم و زیاد بهبود می‌یابد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Objective
- 2- Subjective
- 3- Parameter uncertainty
- 4- Data uncertainty
- 5- Volumetric reliability
- 6- Occurrence reliability
- 7- Resilience
- 8- Vulnerability
- 9- Transformation
- 10- Temporal or spatial disaggregation
- 11- Recursive relation

#### ۶- مراجع

- Ang, A.H.-S., and Tang, W.H., (1984), *Probabilistic Concepts in Engineering Planning and Decision*, Vol. II, John Wiley and Sons, New York.
- Burges S.J., and Lettenmaier, D.P., (1975), "Probabilistic Methods in Stream Quality management", *Water Resources Bulletin*, 11 (1), pp. 115-130.
- Cai, X., (1999), *Modeling Framework for Sustainable Water Resources Management*, Unpublished Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin.

#### ۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حال حاضر سعی می‌کند تا رابطه میان عدم اطمینان و معیارهای مخاطره را به گونه‌ای روشن‌تر بیان کند. برای این منظور تاثیر وارد کردن عدم اطمینان آماری و پارامتری بر شاخصهای مخاطره مورد بررسی قرار می‌گیرد. سه معیار شناخته شده کاربری مخزن (قابلیت اعتماد حجمی، شمارشی و زمانی) به همراه دو معیار برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای مطالعه اثر عدم اطمینان بر معیارهای مخاطره مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این از یک مدل بهینه‌سازی ضمنی (DPR) به منظور بررسی تاثیر عدم اطمینان آماری بر شاخصهای ارزیابی کارایی مخزن استفاده می‌شود. مجموعه این معیارها به همراه مدل‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی در دو سطح متفاوت واریانس جریان ورودی به مخزن (رودخانه کر و موند) مورد استفاده قرار می‌گیرند تا تاثیر سطح عدم اطمینان آماری بر محاسبات نیز بررسی شود. مطابق با نتایج بدست آمده، به نظر می‌رسد که معیار اعتمادپذیری حجمی معیار قابل اعتمادتری برای بررسی مخاطره در شرایط واریانس پایین جریان باشد. در شرایط واریانس بالای جریان، تغییر معیارهای مخاطره با تغییر در سطح عدم اطمینان آماری به گونه‌ای بود که قضاوت درباره انتخاب معیار بهتر را غیر ممکن می‌ساخت. اما در این میان، معیار آسیب‌پذیری به میزان زیادی به وارد کردن عدم اطمینان پارامتری، در هر دوی حالت جریان با واریانس کم و زیاد، واکنش نشان داد. ولی در مورد عدم اطمینان آماری تنها در شرایط جریان با واریانس بالا تغییرات محسوسی در معیار آسیب‌پذیری مشاهده شد. وارد کردن عدم اطمینان پارامتری نیز

- Kundzewicz, Z. W., and Kindler, J., (1995), "Multiple criteria for evaluation of reliability aspects of water resource systems", *Proceedings of a Boulder Symposium, IAHS pub. no. 231*.
- Loucks, D.P., Stedinger, J.R. and Haith, D.A., (1981), "*Water Resources Planning Analysis*", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 559 pp.
- Moy, W., and Cohon, J. L., and Revelle, C. S., (1986), "A programming model for analysis of the reliability, resilience, and vulnerability of a water supply reservoir", *Water Resources Research*, 22(4), pp. 489-498.
- Simonovic, S. P., (1997), "Risk in sustainable water resources management in Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainties", *IAHS*, Publ. No. 240.
- Stedinger, J. R. and Taylor, M.R., (1982), "Synthetic streamflow generation (Model verification and validation)", *Water Resources Research*, 18(4), pp. 909-917
- The Greeley-Polhemus Group, (1992), "Guidelines for Risk and Uncertainty Analysis in Water Resources Planning", Volume I, U.S. Army Corps of Engineers Water Resources Support Center Institute for Water Resources Fort Belvoir, VA 22060-5586.
- Tung, Y., (1996), "Uncertainty analysis in water resources engineering" Stochastic Hydraulics '96, Editor: Goulter, I. and Tickle, K., A.A. Balkema Publishers, Netherlands, page:29-46.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, (1975), "Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, Rasmussen Report", WASH-1400, Washington, D.C.: Nuclear Regulatory Commission.
- Yen, B.C., Chang, S. T., and Melching, C.S., (1981), "First-order reliability analysis", In B.C. Yen (ed.) Stochastic and Risk analysis in Hydraulic Engineering, *Water Resour. Pub.*, Littleton, CO. pl.
- Yen, B.C., and Ang, A.H.S., (1971), "Risk analysis in design of hydraulic projects", Stochastic Hydraulic, C.L. Chiu, Ed., Proc. First Inter. Symp., University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, 694-701.
- Cai, X., McKinney, D.C., and Lasdon, L., (2003), "A Framework for Sustainability Analysis in Water Resources Management and Application to the Syr Darya Basin", *Water Resources Research*, 38(6), pp. 1085.
- Datta, B. and Burges, S.J., (1984), "Short-Term single, Multi-purpose Reservoir Operation: Importance of Loss Functions and Forecast Errors", *Water Resources Research*, 20(9), pp. 1167-1176.
- Fiering, M. B., (1982), "Alternative indices of resilience", *Water Resources Research*, 18, pp. 33-39.
- Ganji, A., Khalili, D., and Javan, M., (2001), "Uncertainty in the design and simulation of reservoirs", *Iranian Journal of Science and Technology*, Transaction B, 25(B4), pp. 729-736.
- Ganji, A., (2000), Streamflow modelling and analysis of Mollasadra and Salman Farsi reservoirs using time series models of SPIGOT, M.S. thesis, Irrigation Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. 388pp.
- Grygier, J.C. and Stedinger, J.R., (1988), "Condensed disaggregation procedure and conservation corrections for stochastic hydrology. *Water Resources Research*, 24 (10), pp.1570-1584.
- Grygier, J.C. and Stedinger, J.R., (1990), "Technical Description for SPIGOT Software", Cornell Univ. 80 pp.
- Hashimoto, T., Loucks, D.P., and Stedinger, J.R., (1982), "Robustness of water resources systems", *Water Resources Research*, 18(1), pp. 21-26.
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks, D.P., (1982), "Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resources System Performance Evaluation", *Water Resources Research*, 18(1), pp. 14-20.
- Karamouz, M. and Houck, M.H., (1982), "Annual and monthly reservoir operation rules generated by deterministic optimization", *Water Resources Research*, 18(5), pp.1337-1344.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., and Zahraie, B., (2003), "*Water resources system analysis*", Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 33431.

تاریخ دریافت مقاله: ۳ دی ۱۳۸۲

تاریخ اصلاح مقاله: ۵ آذر ۱۳۸۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴ بهمن ۱۳۸۵