

## ارزیابی اثر عدم قطعیت در جریان‌های ورودی و تغییر شاخص‌های

## ارزیابی عملکرد سیستم بر مولفه‌های طراحی مخزن برقابی سد کارون ۵

رهام بختیار و سید جمشید موسوی

**چکیده:** مبنای طراحی و تحلیل سدهای برقابی در دفاتر مهندسی، استفاده از یک مدل شبیه‌سازی بر مبنای اعتمادپذیری (RBS) با استفاده از روش روندیابی متوالی جریان (SSR) و استفاده از یک سری منفرد تاریخی و معلوم از آبدهی ورودی به مخزن در تخمین پتانسیل برقابی است. در این مقاله بررسی تاثیر پارامتر سطح اعتمادپذیری تامین انرژی و نیز عدم قطعیت در سری آبدهی رودخانه بر مولفه‌های طراحی و عملکرد یک مخزن برقابی مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور در ابتدا یک مدل شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن بر مبنای اعتمادپذیری برای تعیین پتانسیل تولیدی انرژی سد برقابی کارون ۵ به عنوان مطالعه موردی به عنوان مدل مبنای تحلیل توسعه یافته است که روند تکراری استفاده از آن منجر به تعیین ظرفیت نصب نیروگاه، بار آب و دبی طراحی در رقومهای نرمال مختلف مخزن می‌گردد. از این مدل برای ارزیابی اثر سطح اعتمادپذیری تامین تقاضای انرژی استفاده شده و ملاحظه گردید تغییر سطح اعتمادپذیری در محدوده ۸۰-۱۰۰ درصد در یک رقوم نرمال مخزن، ظرفیت نصب و انرژی مطمئن سالانه و متوسط انرژی کل سالانه به ترتیب تا ۴۴، ۳۸ و ۱۰ درصد تغییر می‌کند. در ادامه به منظور ارزیابی نقش عدم قطعیت در سری آبدهی رودخانه بر شاخص‌های طراحی و با استفاده از یک مدل سری زمانی اقدام به ساخت سریهای متعدد مصنوعاً تولیدشده از جریان رودخانه گردید. با شبیه‌سازی مونت کارلو بهره‌برداری از مخزن با سریهای مذکور ملاحظه شد که در حالت استفاده از مدل سری زمانی با جریانهای همبسته، انرژی مطمئن بین ۱۴ تا ۱۷ درصد و در حالت مدل آبدهی با جریانهای مستقل بین ۸ تا ۱۷ درصد نسبت به شرایط استفاده از سری آبدهی تاریخی قابل تغییر است. نتایج فوق بیانگر ضرورت احتساب نقش عدم قطعیت جریان و نیز انجام مطالعات بیشتر در انتخاب سطح اعتمادپذیری تامین نیاز انرژی در طراحی سدهای برقابی است، که کمتر در سطح مطالعات کاربردی مورد توجه قرار می‌گیرند.

**واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی، اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری، سری زمانی و ظرفیت نصب

### ۱. مقدمه

مدلهای ریاضی تحلیل سیستم‌های منابع آب عموماً به دو دسته کلی مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تقسیم می‌شوند. مبنای شبیه‌سازی بر آزمون و خطا برای شناسایی جوابهای نزدیک به بهینه است. اعتبار روشهای شبیه‌سازی در توانایی آنها برای حل مدل‌هایی

مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۴/۶ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۵/۸/۲۰ به تصویب نهایی رسیده است.

رهام بختیار، کارشناس ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران،  
[rbakhtyar@iust.ac.ir](mailto:rbakhtyar@iust.ac.ir)

دکتر سید جمشید موسوی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،  
[jmosavi@aut.ac.ir](mailto:jmosavi@aut.ac.ir)

از برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب است که دارای روابط و قیدهای کاملاً غیر خطی هستند. موارد استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به سال‌های قبل از ۱۹۵۰ می‌رسد.

اولین تحقیقات مکتوب ناشران در زمینه توسعه مدل‌سازی سیستم مخزن توسط برنامه آب هاروارد توسط [1] Maass et al. انتشار یافت. نمونه‌های رایج از این مدل‌ها در ابتدا شامل مدل [2] HEC-3 و سپس [3] HEC-5 توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک توسعه یافت و توسط [4] Feldman نیز تشریح شد. انجمن توسعه آب تگزاس<sup>۲</sup> دسته‌ای از مدل‌های شبیه‌سازی آب سطحی را قبل از سال

<sup>2</sup>. Texas Water Development Board

اعتمادپذیری تحلیل شده است. در ارزیابی نقش عدم قطعیت جریان رودخانه یک مدل سری زمانی به جریانهای ثبت شده تاریخی برازش داده شده است.

با توجه به این مدل، سریهای متعدد مصنوعی جریان ورودی در دو حالت فرآیند کاملاً تصادفی و فرآیند با احتساب وابستگی داده‌ها ساخته شده است. سپس از این سریهای مصنوعاً تولید شده در تعیین شاخصهای طراحی مخازن برقایی استفاده گردیده است.

## ۲. مدل شبیه‌سازی بر مبنای اعتمادپذیری (RBS)

در مدل RBS ظرفیت نصب نیروگاه و شاخصهای تولید انرژی به ازای یک مقدار معلوم از رقوم نرمال مخزن با استفاده از یک تحلیل تکراری تعیین می‌شود.

مطابق توصیه انجمن مهندسين آمریکا<sup>[13]</sup> در ابتدا تخمینی از بار آب طراحی اولیه برابر بار آب خالص در ترازای از مخزن که ۲۵ درصد از ذخیره تولید انرژی خالی شده است، انجام گردیده و در ادامه برای بدست آوردن دبی طراحی اولیه از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Q_{d0} = \frac{101.94 \times IC}{H_{d0}} \quad (1)$$

که در آن:

$Q_{d0}$ : دبی طراحی اولیه بر حسب متر مکعب بر ثانیه

$H_{d0}$ : بار آب طراحی اولیه بر حسب متر

$IC$ : ظرفیت نصب اولیه بر حسب مگاوات

برای تعیین پتانسیل انرژی قابل تولید در مقادیر معلوم از ظرفیت نصب و دیگر شاخصهای طراحی، روندیابی متوالی جریان (SSR) در طول دوره برنامه‌ریزی انجام می‌پذیرد. اساس روش روندیابی متوالی جریان، ارضاء معادله پیوستگی جریان در ماههای متوالی به قرار زیر است:

$$S(N, T+1) = S(N, T) + I(N, T) - R(N, T) - E(N, T) - RS(N, T) \quad (2)$$

که در آن:

$S(N, T+1)$ : حجم مخزن در انتهای دوره  $T$  از سال  $N$

$S(N, T)$ : حجم مخزن در ابتدای دوره  $T$  از سال  $N$

$I(N, T)$ : ورودی جریان در دوره  $T$  از سال  $N$

$R(N, T)$ : حجم جریان عبوری از توربین برای تولید انرژی

$RS(N, T)$ : جریان سرریزی در دوره  $T$  از سال  $N$

$E(N, T)$ : حجم تلفات (معمولاً تبخیر) در دوره  $T$  از سال  $N$

عموماً در طراحی مخازن برقایی و درافق بلندمدت از دوره‌های ماهانه استفاده می‌شود و در هر دوره ذخیره مخزن طوری تنظیم شود که تقاضای ماهانه انرژی تأمین گردد.

۱۹۶۰ بسط داد که در ارتباط با فرمول‌بندی طرح آب تگراس بود. از دیگر مدل‌های شبیه‌سازی استفاده شده با قابلیت احتساب اهداف برقایی می‌توان به مدل‌های [5] ACERS و [6] RESER اشاره کرد. نظر به محدودیت مدل‌های شبیه‌سازی در تعیین قواعد بهره‌برداری از مخزن، مدل‌های بهینه‌سازی نیز در حد وسیعی در طراحی و بهره‌برداری از مخازن برقایی بکار رفته است.

[7] Grygier and Stedinger به معرفی روشها و الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستمهای برقایی چند منظوره پرداختند. [8] Reznicec and Simonovic مدل EMSLP مبتنی بر روش برنامه‌خطی را برای بهره‌برداری از مخازن برقایی را برای کاربرد در شبکه برق ایالت Manitoba در کانادا توسعه دادند. تکمیل این کار توسط [9] Reznicec and Simonovic منجر به توسعه مدل مدیریت عمومی انرژی GEMSLP برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم برقایی در افق طولانی‌تر از یک هفته شد. Periera and [10] Pinto از روش برنامه‌ریزی پویای دوگان تصادفی<sup>2</sup> (SDDP) در بهینه‌سازی سیستم‌های بزرگ برقایی استفاده کرد. Diaz and [11] Fontane به بررسی پارامترهای اقتصادی در پروژه‌های برقایی با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی پرداختند. [12] Lund and Guzman به بررسی قوانین بهره‌برداری از نیروگاههای برقایی در سیستمهای مخازن سری و موازی پرداختند. علیرغم محدودیتهای موجود در روش شبیه‌سازی، با توجه به سهولت و توانایی مدل‌های شبیه‌سازی در بیان جزئیات کافی از یک سیستم واقعی، در بسیاری از مطالعات کاربردی به منظور طراحی سدهای برقایی و برای تعیین پتانسیل برقایی یک مخزن، تحلیل بر اساس استفاده از یک مدل شبیه‌سازی بر مبنای اعتمادپذیری (RBS) انجام می‌گیرد.

علیرغم آن فرض سطح اعتمادپذیری ثابت در تأمین نیاز انرژی و نیز استفاده از یک سری جریان ورودی تاریخی منفرد در مدل مذکور اعمال می‌گردد.

هدف این تحقیق بررسی فرآیند طراحی و بهره‌برداری از مخازن برقایی و تحلیل اثرات مربوط به سطح اعتمادپذیری انتخاب شده در تأمین نیاز انرژی و نیز استفاده از یک سری منفرد تاریخی از آبدهی در مدل RBS بر شاخص‌های طراحی نظیر ظرفیت نصب نیروگاه، رقوم نرمال مخزن و پتانسیل برقایی مخازن سدهای برقایی (مقادیر انرژیهای مطمئن، ثانویه و کل) است.

به همین منظور، یک مدل شبیه‌سازی RBS به منظور تعیین شاخصهای طراحی تهیه شده است. این مدل به عنوان مدل مبنا در گام زمانی ماهانه تهیه شده است.

در ارزیابی نقش سطح اعتمادپذیری تأمین نیاز انرژی بر مولفه‌های طراحی و پتانسیل برقایی، از مدل RBS در مقادیر مختلف از سطح اعتمادپذیری استفاده شده و حساسیت نتایج نسبت به پارامتر سطح

<sup>1</sup>. RESER Model

<sup>2</sup>. Stochastic Dual DP

می‌شود. بنابراین انرژی ثانویه یا کمبود انرژی وجود نخواهد داشت. اگر حجم مخزن از حجم کمینه مخزن کمتر باشد، در ماه مورد نظر به اندازه اختلاف دو حجم  $S(N, T)$  و  $S_{\min}$ ، کمبود وجود خواهد داشت. در این حالت، حجم مخزن در انتهای ماه برابر حجم کمینه قرار داده می‌شود و دبی تولید انرژی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} S(N, T+1) &= S_{\min} \\ R(N, T) &= -S_{\min} + S(N, T) + I(N, T) - E(N, T) \end{aligned} \quad (4)$$

که انواع انرژی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R(N, T) = 2.73 \times \left( \frac{H(N, T) + H(N, T+1)}{2} \right) \times R(N, T) \quad (5)$$

$$\text{نیاز ماهانه انرژی} \leq \text{انرژی مطمئن} \quad (6)$$

$$\text{انرژی ثانویه} = 0 \quad (7)$$

اگر حجم مخزن از حجم بیشینه ( $S_{\max}$ ) مخزن بیشتر شد، مقدار حجم آب اضافی در ابتدا صرف تولید انرژی ثانویه و در صورت رسیدن به حداکثر تولید ممکن با توجه به ظرفیت نصب نیروگاه سرریز خواهد شد.

در این شرایط، مقدار انرژی ثانویه تولیدی برابر با تفاوت انرژی مطمئن و انرژی کل می‌باشد.

$$\begin{aligned} S(N, T+1) &= S_{\max} \\ R(N, T) &= -S_{\max} + S(N, T) + I(N, T) - E(N, T) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{انرژی کل} = 2.73 \times \left( \frac{H(N, T) + H(N, T+1)}{2} \right) \times [R(N, T) - R(S, T)] \quad (9)$$

$$\text{نیاز ماهانه انرژی} = \text{انرژی مطمئن} \quad (10)$$

$$\text{انرژی مطمئن} - \text{انرژی کل} = \text{انرژی ثانویه} \quad (11)$$

پس از اینکه محاسبات مراحل قبل بازای مقادیر مفروض از ظرفیت نصب نیروگاه، رقوم نرمال مخزن، رقوم حداقل بهره‌برداری برای تمام دوره‌های افق برنامه‌ریزی انجام شد، بار آب طراحی جدید تعیین می‌شود.

دبی طراحی جدید نیز با توجه به رابطه اصلی توان در نیروگاههای برقی بدست می‌آید. سپس بار آب طراحی بدست آمده با بار آب طراحی اولیه مقایسه می‌شود و چنانچه تفاوت این دو قابل ملاحظه باشد، مراحل قبل با توجه به بار آب طراحی بدست آمده تکرار می‌شود تا تفاوت مذکور به حد قابل قبول (کمتر از ۰.۰۱٪) برسد.

در ادامه انرژی مطمئن، ثانویه و کل سالانه، دبی طراحی، بار آب طراحی و معیارهای ارزیابی عملکرد مخزن، نظیر اعتمادپذیری و شکست‌پذیری محاسبه می‌گردد.

در یک مدل RBS پس از تعیین معیارهای فوق در هر بار اجرای مدل، اگر شاخص اعتمادپذیری با مقدار مطلوب متفاوت گردد، دو حالت زیر متصور است:

۱- معیار حاصل از معیار مفروض کوچکتر است. بنابراین نیاز

لازم به ذکر است که نیاز انرژی ماهانه چنانچه به طور مشخص و بر اساس مطالعات بازار برق موجود نباشد، برابر حاصلضرب ظرفیت نصب در ضریب کارکرد نیروگاه در تعداد ساعات هر ماه در نظر گرفته می‌شود. در دوره‌هایی که جریان ورودی از دبی مورد نیاز برای تولید انرژی بیشتر است، در صورت امکان، این آب اضافی ذخیره می‌گردد تا در دوره‌هایی که جریان ورودی به مخزن پایین است، کمبود بوسیله ذخیره مخزن جبران شود.

برای بدست آوردن تغییرات ذخیره مخزن در هر گام ماهانه و در طول دوره مورد مطالعه، معادله پیوستگی ارضاء می‌شود.

با توجه به اثرات تبخیر، ارضاء معادله پیوستگی در هر گام زمانی مستلزم استفاده از یک تکرار است.

در هر گام زمانی و به منظور ارضای معادله پیوستگی در اولین تکرار، ذخیره انتهای ماه نیز برابر ذخیره ابتدای ماه در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که بار آب (بار هیدرولیکی) در طول یک گام متغیر است، بنابراین محاسبات انرژی بر اساس بار آب میانگین در هر دوره انجام می‌شود.

با استفاده از حجم ذخیره در ابتدا و انتهای هر ماه، حجم میانگین بدست آمده و متناظر با این حجم‌ها، میانگین بار آب و سطح‌های متناظر با آنها محاسبه می‌شود.

با استفاده از بار آب و سطح میانگین، حجم تبخیر و دبی عبوری از توربین برای تولید انرژی بدست می‌آید:

$$R(N, T) = \frac{\text{Demand}(t)}{2.73 \times e \times H} \quad (3)$$

که در آن:

$R(N, T)$ : دبی عبوری از توربین برای تولید انرژی بر حسب متر مکعب بر ثانیه

$\bar{H}$ : بار آب میانگین بر حسب متر

$E(t)$ : ارتفاع ماهانه تبخیر بر حسب متر

$\text{Demand}(t)$ : نیاز ماهانه انرژی

$e$ : راندمان نیروگاه

اگر دبی بدست آمده از حداقل دبی کمتر بود، آن را برابر دبی حداقل و اگر از دبی ماکزیمم بیشتر بود، آن را برابر با ماکزیمم دبی در نظر می‌گیرند. حال با استفاده از معادله پیوستگی، حجم مخزن در انتهای دوره را بدست می‌آورند و متناظر با این حجم ذخیره، بار آب و سطح در انتهای ماه نیز بدست می‌آید.

سپس از بار آب و سطح در ابتدای ماه و بار آب و سطح انتهای ماه، میانگین گرفته می‌شود.

اگر تفاوت بار آب بدست آمده با بار آب فرضی ناچیز بود، فرض انجام شده صحیح بوده است، در غیر اینصورت، محاسبات بالا مجدداً تکرار می‌شود. با توجه به نوسانات حجم ذخیره مخزن، حالت‌های مختلفی ممکن است بوجود بیاید که محاسبه انواع انرژی در هر یک از این حالات مطابق دستورالعمل زیر می‌باشد:

اگر حجم مخزن بین حجم بیشینه و کمینه مخزن ( $S_{\min}$ ) قرار داشت، میزان انرژی کل برابر نیاز انرژی در ماه مورد نظر گرفته

### ۳-۲. تعیین شاخص‌های طراحی در رقوم نرمال مختلف

#### مخزن و اعتمادپذیری معلوم

ازمهمترین شاخصهای طراحی یک طرح برقابی، تعیین و به‌گزینی رقوم نرمال بهره‌برداری و ارتفاع سد نظیر آن است. بدین منظور مدل RBS به ازای رقومهای نرمال مختلف اجرا و برای هر رقوم نرمال، ظرفیت نصب و دیگر شاخصهای برقابی محاسبه می‌شود.

چنین تحلیلی به عنوان مبنا در این بخش مد نظر قرار می‌گیرد تا در ادامه بتوان حساسیت روند فوق و مولفه‌های طراحی متناظر را در برابر واقعیاتی نظیر عدم قطعیت در جریان ورودی و نیز شاخص اعتمادپذیری ارزیابی کرد.

در مدل RBS و در هر رقوم نرمال معیار توقف یا ادامه مدل، کنترل معیار اعتمادپذیری از پیش تعیین شده می‌باشد. تحلیل برای رقومهای نرمال مختلف (ظرفیتهای مختلف مخزن) انجام شده است که نتایج حاصل در جدول (۱) گزارش شده است.

همچنین شکلهای (۱) و (۲) به ترتیب منحنی تداوم جریان ورودی، خروجی توربین و حجم ذخیره مخزن و منحنی تداوم انرژیهای حاصل از اجرای مدل RBS برای یکی از رقومهای نرمال مذکور را نشان می‌دهند.

در شکل (۳) نمودار ظرفیت نصب در مقابل ظرفیتهای ذخیره مختلف مخزن برای حالت اعتمادپذیری ۹۰ درصد رسم شده است. با توجه به نمودار ملاحظه می‌شود که با کاهش حجم ذخیره مخزن برای رسیدن به اعتمادپذیری ۹۰ درصد، ظرفیت نصبهای متناظر نیز کاهش می‌یابد.

دلیل این امر این است که با کاهش حجم مخزن، قابلیت تنظیم آب مخزن کم می‌شود و این موضوع به خصوص در دوره بحرانی بروز کرده و در نتیجه پتانسیل تولید انرژی مطمئن کاهش می‌یابد. بنابراین باید ظرفیت نصب را کم کرده تا نیاز ماهانه انرژی نیز کم شده به گونه‌ای که اعتمادپذیری در سطح ۹۰ درصد ثابت بماند.

انرژی (ظرفیت نصب) کاهش می‌یابد تا اعتمادپذیری مورد نظر افزایش یافته و به میزان مطلوب نزدیک شود.

۲- اعتمادپذیری حاصل از اعتمادپذیری مطلوب بزرگتر می‌باشد. بنابراین نیاز انرژی (ظرفیت نصب) افزایش می‌یابد تا اعتمادپذیری کاهش یافته و به میزان مطلوب نزدیک شود.

روند فوق تا نیل به سطح اعتمادپذیری مطلوب تکرار می‌شود.

لازم به ذکر است که در هر تکرار از مدل در طول افق بهره‌برداری با توجه به مقادیر بار آب و دبی طراحی انتخاب شده و در نتیجه انتخاب نوع توربین مناسب برای کار در این محدوده، محدودیتهایی مربوط به دامنه بار هیدرولیکی حداقل و حداکثر و نیز دبی حداقل و ظرفیت هیدرولیکی توربین در مدل SSR اعمال می‌گردد.

### ۳. تحلیل مدل RBS در طراحی و بهره‌برداری از مخازن

#### برقابی

در این بخش حالت‌های مختلف از استفاده از یک مدل RBS در طراحی و بهره‌برداری از مخزن سد کارون ۵ به عنوان مطالعه موردی بیان شده و سپس نقش عدم قطعیت جریان ورودی بر مولفه‌های طراحی و نیز تغییر معیارهای ارزیابی و اثر آن بر ظرفیت نصب و دیگر مولفه‌های طراحی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### ۳-۱. اطلاعات مربوط به سد کارون ۵ به عنوان مطالعه موردی

رودخانه کارون بعنوان پرآب‌ترین منبع آبی کشور محسوب می‌گردد. حوزه آبریز رودخانه کارون در بالادست محور پیشنهادی سد کارون ۵ در محدوده ۵۰-۴۹ تا ۵۰-۵۱ طول شرقی و ۲۱-۳۱ تا ۲۶-۳۲ عرض شمالی گسترده شده است.

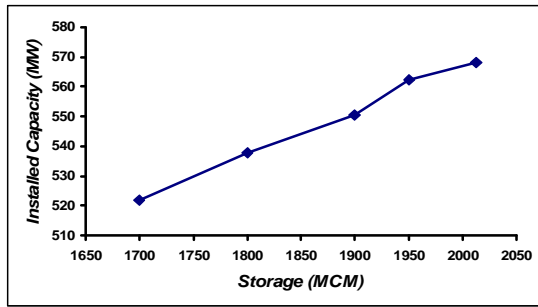
موقعیت جغرافیایی محور پیشنهادی نیز عبارت است از ۴۳-۵۰ طول شرقی و ۳۹-۳۱ عرض شمالی و ارتفاع ۱۰۲۶ متر بالاتر از سطح دریا.

کل حجم مخزن ۲۰۱۳/۱۵ م<sup>۳</sup>م، حجم مرده ۱۲۲۰ م<sup>۳</sup>م، آبدهی متوسط سالانه ۲۴۶۹ م<sup>۳</sup>م و طول تاج ۵۸۵ متر می‌باشد. رقوم نرمال حداکثر مخزن از لحاظ فیزیکی ۱۲۰۰ masl می‌باشد.

جدول ۱. نتایج شبیه‌سازی عملکرد مخزن در رقومهای نرمال متفاوت مخزن - اعتمادپذیری ۹۰ درصد

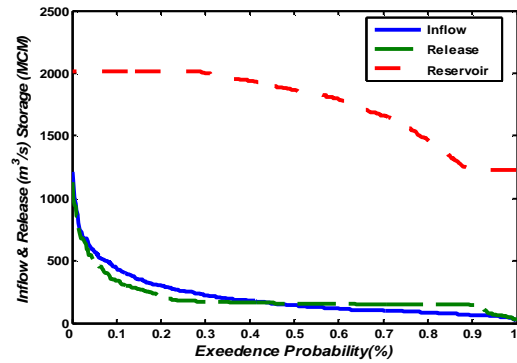
ظرفیت نصب (MW)	انرژی متوسط مطمئن سالانه (GWh)	انرژی متوسط ثانویه سالانه (GWh)	انرژی متوسط کل سالانه (GWh)	بار آب طراحی (m)	دبی طراحی (m <sup>3</sup> /Sec)	رقوم نرمال (masl)	ظرفیت مخزن (MCM)
۵۶۸	۷۲۱/۴	۳۵۷/۶۷	۱۰۷۹/۱	۱۶۲/۵	۳۶۱/۹۶	۱۲۰۰	۲۰۱۳/۱۵
۵۶۲/۶	۷۱۴/۳	۳۵۵/۴	۱۰۶۹/۸	۱۶۱/۶	۳۵۴/۵۵	۱۱۹۸	۱۹۵۰
۵۵۰/۳	۷۱۱/۲	۳۴۹/۳	۱۰۶۰/۶	۱۶۱/۴	۳۵۲/۳	۱۱۹۶/۳	۱۹۰۰
۵۳۸	۶۵۸	۳۶۷/۱	۱۰۵۲/۲	۱۵۷/۴	۳۴۲/۲	۱۱۹۲/۹	۱۸۰۰
۵۲۲	۶۵۵	۳۸۶/۸	۱۰۳۱/۹	۱۵۵/۸	۳۳۷/۵۴	۱۱۸۹/۴	۱۷۰۰

مختلف از اعتمادپذیری تامین انرژی و در رقومهای نرمال معلوم  
ارایه می‌شود.

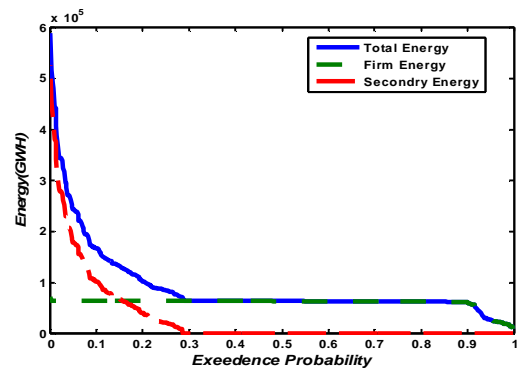


شکل ۳. منحنی تغییرات ظرفیت نصب در مقابل حجم مخزن در اعتمادپذیری ۹۰ درصد

بدین منظور برای هر رقوم نرمال، مدل RBS به ازای مقادیر مختلف پذیرفته شده از اعتمادپذیری تامین نیاز اجرا شده است. جدول (۲) نتایج را به ازای رقوم نرمال ۱۲۰۰ masl نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود که با افزایش اعتمادپذیری، ظرفیت نصب نیروگاه نیز کاهش می‌یابد. هرچه اعتمادپذیری به یک نزدیک تر می‌شود، نرخ کاهش ظرفیت نصب بیشتر می‌شود، زیرا ممکن است در بعضی از ماهها به علت جریان ورودی بسیار کم و حجم ذخیره ناکافی، میزان نقصان انرژی بسیار زیاد باشد که در نتیجه، انرژی مطمئن بسیار کاهش می‌یابد. با افزایش شاخص اعتمادپذیری، انرژی مطمئن و ظرفیت نصب، کاهش و انرژی ثانویه افزایش می‌یابد. با تغییر سطح اعتمادپذیری در محدوده ۸۰-۱۰۰ درصد، به ترتیب ظرفیت نصب به میزان ۴۴ درصد، انرژی مطمئن ۳۸ درصد، انرژی ثانویه ۱۹ درصد و انرژی کل ۱۰ درصد تغییر می‌کنند.



شکل ۱. منحنی‌های تداوم جریان ورودی، جریان خروجی توربین و حجم ذخیره مخزن در اعتمادپذیری ۹۰ درصد و ظرفیت مخزن ۲۰۱۳ م م م



شکل ۲. منحنی‌های تداوم انرژی‌های کل، ثانویه و اولیه در اعتمادپذیری ۹۰ درصد و ظرفیت نرمال ۲۰۱۳ م م م

### ۳-۳. بررسی تاثیر پارامتر سطح اعتمادپذیری تامین نیاز بر شاخصهای برقایی

در این بخش به منظور سنجش نقش سطح اعتمادپذیری مورد نظر بر شاخصهای برقایی یک طرح، نتایج عملکرد مخزن در مقادیر

جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن با سطوح اعتمادپذیری مختلف - رقوم نرمال ۱۲۰۰

دبی طراحی (m3/Sec)	بار آب طراحی (m)	انرژی کل (GWh)	انرژی ثانویه (GWh)	انرژی مطمئن (GWh)	ظرفیت نصب (MW)	اعتمادپذیری
۴۴۷/۸۵	۱۵۷/۳۵	۱۰۳۲/۶	۲۱۸/۰۸	۸۱۴/۵	۶۹۰	۰/۸۰
۴۰۲/۲	۱۵۸/۴۰	۱۰۶۰/۷	۲۹۵/۶	۷۶۵	۶۲۵	۰/۸۵
۳۶۱/۹۶	۱۶۲/۵	۱۰۷۹/۱	۳۵۷/۶۷	۷۲۱/۴	۵۶۸	۰/۹۰
۳۲۹/۹۲	۱۶۱/۵۹	۱۱۰/۱۷	۴۲۹/۹	۶۷۱/۷	۵۲۳	۰/۹۵
۳۲۴/۱۹	۱۶۱/۱	۱۱۱۷/۵	۴۴۹/۱	۶۸۵/۳	۵۱۲	۰/۹۶
۳۰۷/۶۲	۱۶۰/۳۹	۱۱۱۹/۵	۴۹۲/۴	۶۲۷	۴۸۴	۰/۹۷
۲۹۸/۴۶	۱۶۰/۸۷	۱۱۲۴/۶	۵۱۲/۲	۶۱۲/۳	۴۷۱	۰/۹۸
۲۷۳/۱۲	۱۶۰/۱۲	۱۱۴۱/۳	۵۸۰/۶	۵۶۰/۶	۴۲۹	۰/۹۹
۲۷۵/۴۶	۱۶۰/۷۴	۱۱۳۷/۶	۶۳۲/۶۸	۵۰۴/۹۲	۳۸۴	۱

می‌گیرد. با اعمال اعتمادپذیری دوبل ۹۰ درصد، به ترتیب ظرفیت نصب به میزان ۱۱ درصد، انرژی مطمئن به میزان ۱۰ درصد، انرژی ثانویه به میزان ۲۷ درصد و انرژی کل به میزان ۳ درصد تغییر می‌کنند. در حالت اعتمادپذیری دوبل ۸۰ درصد، به ترتیب ظرفیت نصب به میزان ۱ درصد، انرژی مطمئن به میزان ۳ درصد، انرژی ثانویه به میزان ۱۴ درصد و انرژی کل به میزان ۲ درصد تغییر می‌کنند. بنابراین پرواضح است که شاخصهای طراحی نظیر بهترین رقوم نرمال، ظرفیت نصب نیروگاه، مقادیر انرژی تولیدی، دبی و بار آب طراحی تابعی مستقیم از مقدار و نوع تعریف شاخص اعتمادپذیری است. انتخاب سطح مناسب از اعتمادپذیری تابعی از جایگاه و نقش نیروگاه برقایی تحت مطالعه در شبکه تولید انرژی و درجه اتکاء سیستم به انرژی مطمئن مخزن مورد نظر و نیز متصل بودن یا عدم اتصال انرژی تولیدی از آن به شبکه برق سراسری و اعتمادپذیری تامین انرژی مورد نیاز در کل شبکه است.

### جدول ۳. نتایج شبیه‌سازی مخزن با فرض اعمال

#### اعتمادپذیری درون‌سال و متوسط بلند مدت

نوع اعتمادپذیری	ظرفیت نصب (MW)	انرژی مطمئن (GWh)	انرژی ثانویه (GWh)	انرژی کل (GWh)	دبی طراحی (m3/S)
۹۰٪ سالانه و ماهانه	۵۰۷	۶۵۱	۴۵۶	۱۱۰۷	۴۰۱/۷۱
۹۰٪ ماهانه	۵۶۸	۷۲۱/۴	۳۵۷/۶۷	۱۰۷۹/۱	۳۶۱/۹۶
۸۰٪ سالانه و ۹۰٪ ماهانه	۵۶۱	۶۹۴	۴۰۷	۱۱۰۱	۳۸۴/۲۱

### ۴. بررسی نقش عدم قطعیت و سربهای آماری متعدد از

#### فرآیند جریان رودخانه بر شاخصهای برقایی

فرآیند آبدی رودخانه یک فرآیند متاثر از عدم قطعیت و تصادفی است.

در واقع آنچه که تحت عنوان سری تاریخی ثبت شده در طول چندین سال از رفتار و مقدار آبدی رودخانه موجود است، تنها یک نمونه آماری مصداق یافته از تعداد بیشمار از نمونه‌های محتمل است که می‌توانستند یک نتیجه از پدیده تصادفی فوق بوده و جایگزین سری ثبت شده باشند.

توجه بدین واقعیت از این منظر معنی‌دار است که هدف در طراحی و بهره‌برداری مخزن نیل به یک تحقیق واقع‌بینانه از پتانسیل برقایی و سپس تعیین شاخصهای طراحی بر اساس آنچه که می‌تواند در آینده رخ دهد خواهد بود.

از این رو در این بخش تلاش خواهد شد تا تاثیر احتساب عامل فوق و درجه تاثیرگذاری آن بر عملکرد مخزن و شاخصهای طراحی ارزیابی شود.

بدین لحاظ لازم است یک مدل آماری مناسب بر داده‌های تاریخی موجود از جریان رودخانه تطبیق یافته و سپس نمونه‌های متعدد از فرآیند تصادفی فوق، که هریک از آنها یک سری آبدی محتمل در

### ۴-۳. اعمال قید اعتمادپذیری دوبل و تاثیر آن در نتایج مدل

#### RBS

Simonovic [6] برای طراحی مخازن مدلی به نام RESER پیشنهاد کرده است که در آن معیار اعتمادپذیری دوبل در طراحی مخزن با هدف تامین نیاز آبی مطرح شده است. به عبارت دیگر علاوه بر شرط اعتمادپذیری تامین نیاز مطابق تعریف ارائه شده در بخش قبل، قید اعتمادپذیری جدیدی اعمال می‌گردد. بر اساس تعریف بیان شده از شاخص اعتمادپذیری، این امکان وجود دارد که در برخی از سالها نیاز مطمئن ماهانه کاملاً تأمین شود و در بعضی از سالها کمبود شدیدی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر سهم عمده‌ای از کمبودها در برخی از سالهای خشک و یا در ماههای متوالی از یک سال خشک روی دهد. جهت احتراز از بروز چنین حالتی شاخص اعتمادپذیری جدید تحت عنوان اعتمادپذیری سالانه که تضمین کننده این مطلب باشد که در هر یک از سالها نیز یک میزان حداقل از نیاز انرژی تأمین گردد. یعنی اعتمادپذیری مطابق تعریف زیر نیز در مدل گنجانده می‌شود:

$$\text{اعتمادپذیری سالانه} = \frac{\text{تعداد ماههایی از هر سال که نیاز تامین می‌شود}}{\text{تعداد ماههای هر سال} = ۱۲}$$

با اعمال دو معیار اعتمادپذیری ماهانه و سالانه (دوبل) ارزیابی سیستم، محدودیت تامین تقاضای انرژی اکیدتر می‌شود و طبیعتاً ظرفیت نصب و انرژی مطمئن کاهش خواهد یافت. این محدودیت اضافی موجب یکنواختی بیشتر در تولید انرژی در سالهای مختلف از دوره طرح می‌گردد. کاهش در ظرفیت نصب با توجه به مقدار کمبود در برخی از سالها، می‌تواند بسیار شدید باشد. نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در این حالت و در شرایط بدون اعتمادپذیری سالانه و نیز اعمال اعتمادپذیری سالانه ۹۰ و ۸۰ درصد در جدول (۳) آمده است. هر چه سطح اعتمادپذیری کوتاه‌مدت سالانه بزرگتر باشد، درجه تاثیر اعمال آن و تفاوت نتایج حاصل در مقایسه با حالت عدم اعمال اعتمادپذیری دوبل بیشتر است. در عمل و به لحاظ منطقی می‌توان سطح اعتمادپذیری کوتاه‌مدت سالانه را کوچکتر از سطح اعتمادپذیری بلندمدت ماهانه در نظر گرفت. با کاهش رقوم نرمال مخزن، برای رسیدن به سطح اعتمادپذیری مطلوب، ظرفیت نصب، انرژی مطمئن، ثانویه و کل کاهش پیدا می‌کند.

این نتیجه ناشی از این واقعیت است که هر چه حجم آب قابل تنظیم توسط مخزن کمتر شود، میزان انرژی تولیدی کاهش می‌یابد. در ارزیابی نقش سطح اعتمادپذیری و درجه تاثیر آن بر شاخصهای طراحی در رقومهای نرمال معلوم، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطح اعتمادپذیری، ظرفیت نصب، انرژی مطمئن و دبی طراحی کاهش و انرژیهای ثانویه و کل افزایش می‌یابد. با اعمال اعتمادپذیری دوبل، ظرفیت نصب و انرژی مطمئن بیشتر کاهش می‌یابد، اما توزیع انرژی تولیدی حالت یکنواخت‌تری به خود

شاخص طراحی ظرفیت نصب (انرژی مطمئن) به سبب احتساب نقش عدم قطعیت در سری آورد رودخانه حدود ۱۴ تا ۱۷ درصد می‌باشد. علیرغم آن متوسط تغییرپذیری نتایج که از طریق معیار ضریب تغییرات ظرفیت نصب طراحی قابل سنجش است، چندان قابل ملاحظه نیست و ضریب تغییرات ظرفیت نصب نیروگاه در رقومهای نرمال مختلف حدود ۴/۳ درصد می‌باشد.

به منظور ارزیابی تاثیر همزمان عدم قطعیت در جریانها و سطح اعتمادپذیری تحلیل فوق برای دو سطح اعتمادپذیری ۸۵ درصد و ۹۵ درصد تکرار و نتایج در جدول (۵) آمده است. این دو حالت با ظرفیت مخزن برابر ۲۰۱۳ میلیون متر مکعب تحلیل شده است. ظرفیت نصبها در شرایط اعتمادپذیری ۸۵ درصد افزایش چشمگیری نسبت به ظرفیت‌های نصب در شرایط با اعتمادپذیری ۹۵ درصد دارند.

در سطح اعتمادپذیری ۹۵ درصد، احتمال کمتر شدن ظرفیت نصب از ظرفیت نصب تاریخی حدود ۵۰ درصد و این احتمال در سطح اعتمادپذیری ۸۵ درصد حدود ۷۰ درصد می‌باشد. همچنین اختلاف بین میانگین ظرفیت نصب‌های مصنوعی و ظرفیت نصب تاریخی در حالت با سطح اعتمادپذیری ۸۵ درصد به صورت مطلق، کمی بیشتر است. علیرغم آن ضریب تغییرات ظرفیت نصب در سطح اعتمادپذیری ۹۵ درصد برابر ۵/۵ درصد و اندکی بیشتر از سطوح اعتمادپذیری ۹۰ و ۸۵ درصد با ضریب تغییرات به ترتیب ۴/۴ و ۴/۸ درصد است. پتانسیل تغییر در ظرفیت نصب در سطوح اعتمادپذیری ۸۵، ۹۰ و ۹۵ درصد به ترتیب برابر ۱۶، ۱۶/۹ و ۱۸/۶ درصد می‌باشد. بنابراین تغییر سطح اعتمادپذیری بر میزان اثرگذاری عامل عدم قطعیت چندان محسوس نمی‌باشد.

در ادامه نقش توام عدم قطعیت جریان رودخانه و نیز شاخص شکست‌پذیری بررسی می‌گردد. شکست‌پذیری حداکثر برای هر ماه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$landa(N,T) = \frac{Demand(N,T) - Efirm(N,T)}{Demand(N,T)} \quad (12)$$

$landa(N,T)$ : شکست‌پذیری حداکثر در سال  $N$  و ماه  $T$

$Efirm(N,T)$ : انرژی مطمئن ماهانه در سال  $N$  و ماه  $T$

سپس شکست‌پذیری میانگین از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$landa_{ave}(N,T) = \frac{\sum_{N=1}^N \sum_{T=1}^T landa(N,T)}{N \times T} \quad (13)$$

در سطوح اعتمادپذیری ۰/۹۵ و ۰/۹۰، شکست‌پذیری میانگین برای ۲۰۰ سری زمانی مصنوعی محاسبه شده است. شکل (۸) منحنی تداوم شاخص شکست‌پذیری سریهای مصنوعی با اعتمادپذیری ۰/۹۰ و حجم ۲۰۱۳ میلیون متر مکعب را برای این سری‌ها نشان می‌دهد.

آینده است، تولید شوند. سپس روند تعیین شاخصهای برقابی بجای آنکه فقط بر استفاده از یک سری آینده تاریخی بنا شود، به‌ازای تعداد به لحاظ آماری کافی از سری‌های مصنوعاً تولید شده مبتنی گردد و نتیجتاً توزیع آماری برخی از مولفه‌های طراحی نظیر ظرفیت نصب نیروگاه و یا انرژی مطمئن تعیین شود.

همچنین به منظور ارزیابی احتساب و عدم احتساب وجود همبستگی زمانی (سریال) در مقادیر آینده، تحلیل ذکر شده برای دو حالت مختلف یعنی فرض فرآیند استوکستیک کاملاً تصادفی و فرآیند مشتمل بر احتساب همبستگی سریال بین مقادیر جریان رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

پس از برآزش مدل سری زمانی مناسب و به انتخاب مدل ARMA(1,1) به عنوان مدل مطلوب، تعداد ۲۰۰ سری زمانی مصنوعی ۴۳ ساله ساخته شد.

تعداد نمونه‌ها (سریهای زمانی) به‌گونه‌ای تعیین گردید که پس از آن تعداد، مشخصات آماری مولفه‌های طراحی تحت تاثیر تعداد نمونه‌ها نباشد. در ابتدا، اعتمادپذیری اعمال شده صرفاً از نوع اعتمادپذیری متوسط بلندمدت است.

برای ظرفیت ذخیره‌های مختلف مخزن و رقوم‌های نرمال مختلف، ظرفیت نصب سری‌های تولید شده محاسبه گردید. نتایج مدل RBS برای ۲۰۰ سری تولید شده در ۵ ظرفیت نصب مخزن انجام شده است.

بررسی نمودارهای تداوم ظرفیت نصب نشان می‌دهد که در دو حجم ۱۹۵۰ و ۲۰۱۳ میلیون متر مکعب (شکل ۷)، احتمال بیشتر شدن یا کمتر شدن ظرفیت نصب از ظرفیت نصب تاریخی، تقریباً برابر ۵۰ درصد می‌باشد، در صورتیکه این احتمال کمتر شدن ظرفیت نصب در حجم ۱۹۰۰ میلیون متر مکعب ۶۴ درصد، حجم ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب ۶۰ درصد و ۱۷۰۰ میلیون متر مکعب ۲۸ درصد می‌باشد. درضمن بیشتر ظرفیت نصبها در حول و حوش ظرفیت نصب سری تاریخی می‌باشند. اگرچه مقادیر میانگین شاخصهای طراحی نظیر ظرفیت نصب نیروگاه حاصل از سریهای متعدد جریان رودخانه به مقادیر حاصل از سری تاریخی نزدیک است، لیکن بررسی تغییرپذیری و مقادیر حداکثر و حداقل شاخصهای طراحی نشان می‌دهد که نقش احتساب عدم قطعیت حاصل از سریهای مختلف می‌تواند معنی‌دار باشد. برای مثال ظرفیت نصب نیروگاه در شرایط استفاده از سری منفرد تاریخی آورد رودخانه در رقوم نرمال ۱۲۰۰ برابر ۵۶۸ مگاوات است، در حالیکه حداکثر ظرفیت نصب حاصل از تحلیل مبتنی بر استفاده از سریهای مختلف برابر ۶۶۴ مگاوات می‌باشد (جدول ۴) که بیانگر پتانسیل تغییر این شاخص به میزان ۱۷ درصد می‌باشد. همچنین حداقل ظرفیت نصب در این حالت برابر ۴۹۰ مگاوات نتیجه شده است که حدود ۱۴ درصد کمتر از ظرفیت نصب بدست آمده از تحلیل سری تاریخی منفرد است.

بررسی نتایج ذکر شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که در رقومهای نرمال مختلف مخزن و در اعتمادپذیری ۹۰٪، پتانسیل تغییر

جدول ۴. مشخصه‌های آماری ظرفیت نصب سری‌های تولید شده و ظرفیت نصب سری تاریخی - مدل RBS - اعتمادپذیری ۹۰ درصد

۵۲۲	۵۳۵	۵۵۸	۵۶۲	۵۶۸	ظرفیت نصب سری تاریخی (MW)
۱۷۰۰	۱۸۰۰	۱۹۰۰	۱۹۵۰	۲۰۱۳	حجم ذخیره مخزن (MCM)
۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	اعتمادپذیری
۵۱۶/۶۳	۵۴۰/۸۷	۵۵۶/۷۱	۵۶۳/۴	۵۷۰/۵۷	میانگین ظرفیت نصبها (MW)
۵۶۹	۶۰۴	۶۳۹	۶۵۴	۶۶۴	ماکزیمم ظرفیت نصبها (MW)
۴۴۸	۴۶۲	۴۷۳	۴۷۹	۴۹۰	مینیمم ظرفیت نصبها (MW)
۱۴/۲	۱۳/۶	۱۵/۲	۱۶/۴	۱۶/۹	درصد بیشترین تغییر
۰/۰۴۳	۰/۰۴۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	ضریب تغییرات
۰/۷۱	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۵۳	احتمال کمتر بودن ظرفیت نصب شده از ظرفیت نصب تاریخی

جدول ۵. تغییرات ظرفیت نصب در تحلیل مبتنی بر سری‌های مصنوعی در سطوح مختلف اعتمادپذیری

حجم ذخیره مخزن (MCM)	اعتماد پذیری	ظرفیت نصب سری تاریخی	میانگین ظرفیت نصب سریها	واریانس ظرفیت نصبها	ماکزیمم ظرفیت نصبها	مینیمم ظرفیت نصبها	ضریب تغییرات ظرفیت نصبها
۲۰۱۳	۰/۸۵	۶۱۰	۶۲۵	۸۷۱/۷۲	۷۰۸	۵۴۶	۰/۰۴۸۳
۲۰۱۳	۰/۹۰	۵۶۸	۵۷۰	۶۳۳	۶۶۴	۴۹۰	۰/۰۴۴۰
۲۰۱۳	۰/۹۵	۵۳۱	۵۲۳	۸۵۷/۳۱	۶۱۵	۴۳۳	۰/۰۵۵۰

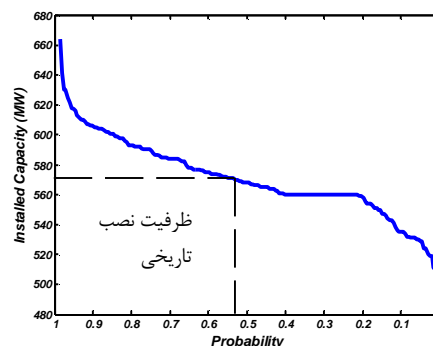
جدول ۶. مشخصه‌های آماری شاخص شکست پذیری سریهای مصنوعی در دو سطح اعتمادپذیری - رقوم نرمال ۱۲۰۰

حجم ذخیره مخزن (MCM)	اعتماد پذیری	شکست پذیری	میانگین ظرفیت نصب	واریانس ظرفیت نصب	ماکزیمم ظرفیت نصب	مینیمم ظرفیت نصب	ضریب تغییرات
۲۰۱۳	۰/۹۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲۶	۰/۱۶۸۸	۰/۰۳۱۵	۰/۰۰۹	۰/۱۸۱۴
۲۰۱۳	۰/۹۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲۱	۰/۶۵۶۱	۰/۰۵۳۱	۰/۰۲۹	۰/۱۹۱۶

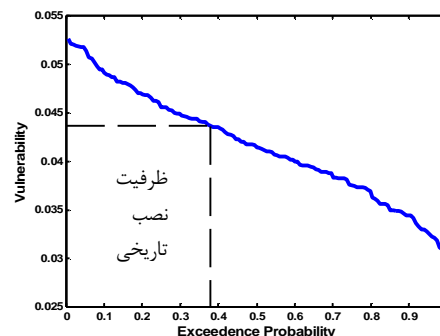
در این نمودار، شکست‌پذیری سری تاریخی نیز مشخص شده است. جدول (۶) مشخصه‌های آماری شاخص شکست‌پذیری سریهای مختلف را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که عامل عدم قطعیت در سری آینده می‌تواند شاخص شکست‌پذیری را (به عنوان یکی از شاخصهای مهم دیگر ارزیابی عملکرد مخزن) حدود ۱۸ تا ۱۹ درصد تغییر دهد.

احتمال اعتمادپذیری دابل وقتی به جای سری تاریخی از سریهای مختلف استفاده شده است، باعث کاهش ظرفیت نصب می‌شود. ظرفیت نصب سری تاریخی با اعمال اعتمادپذیری دابل ۹۰ درصد ۵۰۷ مگاوات است، در صورتی که میانگین ظرفیت نصب سری‌های تاریخی برابر ۵۰۰ مگاوات بدست می‌آید. همچنین احتمال کمتر شدن ظرفیت نصب سری‌های مصنوعی از سری تاریخی حدود ۶۵ درصد می‌باشد.

در جدول (۷) مقایسه بین ظرفیت نصب با اعتمادپذیری منفرد و دابل برای سری تاریخی و میانگین سری‌های تولید شده آمده است. تحلیل فوق برای سطح اعتمادپذیری میان مدت ۸۰ درصد و اعتمادپذیری بلندمدت ۹۰ درصد تکرار شده است که نتایج آن در جدول (۷) آمده است. ملاحظه می‌شود که مطابق انتظار میانگین ظرفیت نصبها در مقایسه با تحلیل قبل که هر دو سطح اعتمادپذیری بلندمدت و میان مدت ۹۰ درصد بوده‌اند، افزایش یافته و به مقدار ۵۵۸ مگاوات می‌رسد. مقدار ظرفیت نصب سری تاریخی



شکل ۷. منحنی تداوم ظرفیت نصب سریهای مصنوعی با اعتمادپذیری ۹۰ درصد و حجم ۲۰۱۳ م م



شکل ۸. منحنی تداوم شاخص شکست‌پذیری سریهای مصنوعی با اعتمادپذیری ۹۰ درصد و حجم ۲۰۱۳ م م



در حالت اخیر، تفاوت زیادی با ظرفیت نصب در حالتی که اعتمادپذیری میان مدت سالانه در نظر گرفته نمی‌شود، ندارد. به عبارتی دیگر، میزان اثرگذاری عامل عدم قطعیت سری جریان رودخانه بر مولفه‌های طراحی به صورت نسبی چندان تابعی از اعمال یا عدم اعمال اعتمادپذیری میان مدت نیست، به گونه‌ای که ضریب تغییرات ظرفیت نصب در این جدول بین ۴/۴ تا ۵/۳ درصد و حداکثر درصد تغییر آن از ۱۶/۶ تا ۱۷/۲ درصد است. در صورت وجود همبستگی‌های قابل ملاحظه در مقایسه با ترم تصادفی یک مدل سری زمانی، شباهت بیشتری بین سریهای متعدد مصنوعاً تولید شده با سری تاریخی وجود خواهد داشت. در این شرایط درجه تاثیر تحلیل مونت کارلو مشابه آنچه پیشتر انجام شد در ادامه برای ارزیابی اثر عدم قطعیت در رودخانه‌هایی که ماهیتا دارای نوسانات تصادفی بیشتری بوده و وجود همبستگی‌های زمانی بین مقادیر آورد رودخانه کم‌رنگ است، تحلیل مساله با فرض استقلال کامل متغیر تصادفی جریان رودخانه تکرار شده و سریهای متعدد مصنوعی با استفاده از آن تولید گردیده است. توزیع لگاریتمی نرمال انتخاب شده و به جریان هر ماه توزیع مذکور لیکن پارامترهای مختلف برازش یافته و اقدام به تولید داده‌های مصنوعی بر اساس توزیع لوگ گردید. در ابتدا اعتمادپذیری از نوع اعتمادپذیری متوسط بلندمدت در نظر گرفته شده است. برای حجم‌های مختلف مخزن و رقوم‌های نرمال مختلف، ظرفیت نصب سری‌های تولید شده محاسبه شده است. این شبیه‌سازی برای ۱۰۰ سری تولید شده در ۴ حجم مختلف مخزن انجام و نتایج آن در جدول (۸) ارائه شده است. در دو حجم ۱۹۰۰ و ۲۰۱۳ میلیون متر مکعب، احتمال کمتر شدن ظرفیت نصب از ظرفیت نصب تاریخی، به ترتیب برابر ۳ و ۶ درصد می‌باشد، در صورتیکه احتمال کمتر شدن ظرفیت نصب در حجم ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب، ۷ درصد و در حجم ۱۷۰۰ میلیون متر مکعب، ۶ درصد می‌باشد. مقدار اکثر ظرفیت نصب‌ها از مقدار ظرفیت نصب

سری تاریخی بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر ظرفیت نصب سری‌های تولیدی در رقوم‌های مختلف مخزن، حدود ۳۰ مگاوات بیشتر از ظرفیت نصب سری تاریخی در همان رقوم است. در ادامه علاوه بر اعمال عدم قطعیت در جریانهای ورودی مستقل، تغییرات شاخص اعتمادپذیری نیز لحاظ شده است. این تحلیل برای چهار سطح اعتمادپذیری ۸۰، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد در ظرفیت مخزن ۲۰۱۳ میلیون متر مکعب انجام و نتایج آن در جدول (۹) آمده است. در حالتی که اعتمادپذیری مطلوب ۸۰ درصد باشد، ظرفیت نصب سریهای مصنوعی تولید شده بین ۶۶۴ مگاوات تا ۷۵۸ مگاوات تغییر می‌کند. در حالت با اعتمادپذیری ۹۵ درصد، ظرفیت نصب‌ها بین ۴۷۵ تا ۵۹۸ مگاوات و با اعتمادپذیری ۱۰۰ درصد، ظرفیت نصب‌ها بین ۳۸۱ تا ۴۷۲ مگاوات تغییر می‌کند. ظرفیت نصب‌ها در شرایط اعتمادپذیری ۸۰ درصد افزایش چشمگیری نسبت به ظرفیت‌های نصب در شرایط با اعتمادپذیری ۹۵ و بخصوص ۱۰۰ درصد دارند. به منظور بررسی اثر احتساب اعتمادپذیری دوبل در شرایط جریانهای مستقل در جدول (۱۰) مقایسه بین ظرفیت نصب با اعتمادپذیری بلندمدت و دوبل برای سری تاریخی و میانگین سری‌های تولید شده آمده است. ظرفیت نصب شده سری تاریخی با اعمال اعتمادپذیری دوبل ۹۰ درصد ۵۰۷ مگاوات است، در صورتی که میانگین ظرفیت نصب سری‌های مصنوعی برابر ۵۳۱/۶ مگاوات می‌باشد. همچنین احتمال کمتر شدن ظرفیت نصب سری‌های مصنوعی از سری تاریخی حدود ۷۰ درصد می‌باشد. در جدول (۱۰) مقایسه بین ظرفیت نصب با اعتمادپذیری بلندمدت و دوبل برای سری تاریخی و میانگین سری‌های تولید شده آمده است.

#### جدول ۷. ظرفیت نصب با اعتمادپذیری بلندمدت و دوبل برای سری تاریخی و میانگین سری‌های تولید شده - رقوم نرمال ۱۲۰۰

نوع اعتمادپذیری	میانگین ظرفیت نصبها	ماکزیمم ظرفیت نصبها	مینیمم ظرفیت نصبها	ضریب تغییرات	ظرفیت نصب سری تاریخی	حداکثر درصد تغییر
بلند مدت ۹۰%	۵۷۰/۵۷	۶۶۴	۴۹۰	۰/۰۴۴	۵۶۸/۲	۱۶/۹
بلندمدت و میان مدت ۹۰%	۵۰۰/۶۳	۵۹۴	۴۲۰	۰/۰۵۳	۵۰۷	۱۷/۲
میان مدت ۸۰% و بلندمدت ۹۰%	۵۵۸/۰۴	۶۵۴	۴۸۰	۰/۰۴۶	۵۶۱	۱۶/۶

#### جدول ۸. مشخصه‌های آماری و شاخصهای برقابی سریهای تولید شده با جریانهای مستقل

ظرفیت نصب سری تاریخی (MW)	۵۶۸	۵۵۸	۵۳۵	۵۲۲
حجم ذخیره مخزن (MCM)	۲۰۱۳	۱۹۰۰	۱۸۰۰	۱۷۰۰
میانگین ظرفیت نصبها (MW)	۶۰۰/۷۲	۵۹۰/۱	۵۶۰/۸۴	۵۴۰/۸
ماکزیمم ظرفیت نصبها (MW)	۶۶۵	۶۲۷	۶۰۲	۵۶۶
مینیمم ظرفیت نصبها (MW)	۵۴۸	۵۳۳	۵۰۵	۴۹۴
ضریب تغییرات	۰/۰۳۲	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲۱
حداکثر درصد تغییر	۱۷/۱	۱۲/۴	۱۲/۵	۸/۴

جدول ۹. اطلاعات آماری شاخص ظرفیت نصب حاصل از سربهای مصنوعی با جریانهای مستقل در اعتمادپذیری های مختلف

حجم ذخیره مخزن (MCM)	اعتماد پذیری	ظرفیت نصب سری تاریخی	میانگین ظرفیت نصب سربها	واریانس ظرفیت نصب سربها	ماکزیمم ظرفیت نصب	مینیمم ظرفیت نصب	ضریب تغییرات
۲۰۱۳	۰/۸۰	۶۹۰	۷۱۹/۲	۱۶۸/۹	۷۵۸	۶۶۴	۰/۰۱۷
۲۰۱۳	۰/۹۰	۵۶۸	۶۰۰/۷۲	۳۵۵/۳	۶۶۵	۵۴۸	۰/۰۳۲
۲۰۱۳	۰/۹۵	۵۳۲	۵۳۷/۶	۲۹۸/۸	۵۹۸	۴۷۵	۰/۰۳۲
۲۰۱۳	۱	۳۸۴	۴۳۲/۷	۳۵۰/۲	۴۷۲	۳۸۱	۰/۰۴۳

جدول ۱۰. ظرفیت نصب با اعتمادپذیری بلندمدت و دابل ۹۰ درصد برای میانگین سری های تولیدشده با جریانهای مستقل

نوع اعتمادپذیری	میانگین ظرفیت نصبها	ماکزیمم ظرفیت نصبها	مینیمم ظرفیت نصبها	ضریب تغییرات ظرفیت نصبها	ظرفیت نصب سری تاریخی
متوسط بلند مدت	۶۰۰/۷۲	۵۹۸	۴۷۵	۰/۰۳۲	۵۶۸/۲
دابل	۵۳۱/۶	۵۶۳	۴۲۰	۰/۰۳۵	۵۰۷

## ۵. خلاصه و نتیجه گیری

هدف اصلی در این مقاله، ارزیابی اثرات عدم قطعیت در جریانهای ورودی و شاخصهای ارزیابی عملکرد سیستم بر مولفه های طراحی یک مخزن برقایی بوده است. به همین منظور، یک مدل شبیه سازی از نوع SSR تکراری و بر مبنای اعتمادپذیری تامین تقاضای انرژی (RBS) در گام زمانی ماهانه تهیه گردید تا با استفاده از این مدل، بهترین رقوم نرمال، رقوم حداقل بهره برداری، دبی و بار آب طراحی به طریقی بدست آیند که بتوان حداکثر پتانسیل تولید انرژی مطمئن را در یک سطح اعتمادپذیری معلوم بدست آورد. سد کارون ۵ به عنوان مطالعه موردی انتخاب و از آمار رودخانه کارون در محل این سد استفاده گردید. ابتدا حالت های مختلف بهره برداری از مخزن شامل بررسی نقش تغییر معیارهای ارزیابی و بطور مشخص سطح اعتمادپذیری در تامین تقاضای انرژی و اثر آن بر ظرفیت نصب شده و دیگر شاخصهای طراحی مورد بررسی قرار گرفتند. در این مرحله، ابتدا بهره برداری با سطح اعتمادپذیری ۹۰ درصد و رقوم نرمال مختلف مخزن مورد نظر قرار گرفت. برای هر رقوم نرمال، دبی طراحی، بار آب طراحی، ظرفیت نصب و انرژی های متوسط سالانه کل، مطمئن و ثانویه محاسبه شدند و منحنی تغییرات انرژی تولیدی در طی دوره آماری، منحنی تداوم جریانهای ورودی، خروجی و حجم ذخیره مخزن و منحنی های تداوم انرژی های کل، ثانویه و اولیه رسم شدند. از نقطه نظر نتایج عمومی ملاحظه شد که با کاهش حجم ذخیره مخزن و برای رسیدن به اعتمادپذیری مشخص، مقادیر ظرفیت نصب نیروگاه، انرژی کل، انرژی اولیه و ثانویه متناظر نیز کاهش می یابد.

به منظور سنجش نقش سطح اعتمادپذیری مورد نظر بر شاخصهای برقایی یک طرح، نتایج عملکرد مخزن در مقادیر مختلف از اعتمادپذیری تامین نیاز انرژی و در چند رقوم نرمال ارایه و مقادیر ظرفیت نصب، دبی طراحی، انرژی کل، انرژی ثانویه و انرژی مطمئن در اعتمادپذیری های مختلف عرضه گردید. ملاحظه شد که با افزایش شاخص اعتمادپذیری، ظرفیت نصب شده نیروگاه و انرژی مطمئن

کاهش پیدا می کند و انرژی ثانویه افزایش می یابد. بطور کلی با افزایش ظرفیت نصب تا حدود ۴۳۰ مگاوات، انرژی کل متوسط سالانه افزایش و پس از آن کاهش نشان می دهد.

در ادامه علاوه بر اعتمادپذیری بلندمدت، اعتمادپذیری میان مدت سالانه نیز اعمال شد و تأثیر احتساب اعتمادپذیری دابل در نتایج مدل شبیه سازی RBS بررسی گردید. این محاسبات در حالتیکه دو نوع اعتمادپذیری بلندمدت و سالانه برابر یا متفاوت باشند، مقایسه شد و ملاحظه گردید که با اعمال اعتمادپذیری دابل، ظرفیت نصب شده و انرژی مطمئن کاهش می یابد، اما توزیع انرژی تولیدی حالت یکنواخت تری به خود می گیرد. با کاهش سطح اعتمادپذیری میان مدت سالانه نسبت به اعتمادپذیری بلندمدت، میزان کاهش در مقادیر ظرفیت نصب و تولید انرژی مطمئن ناشی از اعمال اعتمادپذیری دابل کمتر می شود.

همچنین با افزایش سطح اعتمادپذیری، شاخص شکست پذیری عملکرد مخزن کاهش می یابد. همانطور که اشاره شد انتخاب سطح مناسب از اعتمادپذیری تابعی از جایگاه و نقش نیروگاه برقایی تحت مطالعه در شبکه تولید انرژی و درجه اتکاء سیستم به انرژی مطمئن مخزن مورد نظر و نیز متصل بودن یا عدم اتصال انرژی تولیدی از آن به شبکه برق سراسری و اعتمادپذیری تامین انرژی مورد نیاز در کل شبکه است. بنابراین تعیین و انتخاب بهترین سطح اعتمادپذیری خود نیازمند انجام مطالعات بیشتر است که در این رابطه در برخی از کشورها نظیر برزیل و بر اساس مطالعات اقتصادی، اعتمادپذیری مناسب و هزینه عدم تامین نیاز تعیین شده است.

در ادامه برای ارزیابی نقش عدم قطعیت جریان بر شاخصهای طراحی مخزن، در شرایط احتساب همبستگی زمانی جریانها یک مدل سری زمانی و در شرایط فرض جریانهای مستقل یک توزیع آماری مناسب به جریانهای تاریخی برآزش یافت و از آنها برای ساخت سری های زمانی متعدد از فرآیند رودخانه استفاده گردید. سربهای مصنوعی تولید شده، مدل RBS برای هر سری به صورت جداگانه اجرا گردید و نتایج مربوط به متغیرهای طراحی نظیر ظرفیت نصب و یا پتانسیل تولید انرژی با حالتی که در آن از یک

[5] Sigvaldson, O.T., "A Simulation Model for Operation a Multipurpose Multireservoir System", Water Resource Res., Vol 12, No.2, 1976, pp. 263-278.

[6] Simonovic, S.P., "Reservoir Systems Analysis: Closing Gap Between Theory and Practice", Water Resources Planning and Management, Vol. 118, No. 3, 1992, Paper No. 1053, ASCE.

[7] Grygier, J.C., and Stedinger, J. R., "Algorithms for Optimizing Hydropower System Operation", Water Resource Res., Vol. 21, No. 1, 1985, pp. 1-10.

[8] Reznicek, K.K., Simonovic, S. P., "An Improved Algorithm for Hydropower Optimization", Water Resou. Res., Vol. 26, No. 2, 1990, pp. 189-198.

[9] Reznicek, K.K., Simonovic, S. P., "Issues in Hydropower Modeling Using GEMSLP Algorithm", Water Resource Planning and Management, Vol. 118, No. 1, 1992, pp. 54-70.

[10] Pereira, M. V. F., and Pinto, L. M. V. G., "Stochastic optimization of a multi reservoir hydroelectric system: A Decomposition Approach", Water Resource Res., Vol. 21, No. 6, 1985, pp.779-792.

[11] Diaz, G.E., and Fontane, D.G., "Hydropower Optimization via Sequential Quadratic programming", Water Resources Planning and Management, Vol. 115, No. 6, 1989, pp. 715-733

[12] Lund, J., Guzman, J., "Some Derived Operating Rules for Reservoirs in Series or in Parallel", J. of Water Resource Planning and Management, Vol. 125, NO. 3, 1999, pp. 143-153.

[13] *Engineering and Design Hydropower*, Department of the Army Corps of Engineers, Office of the Chief of Engineers, 1989.

سری تاریخی استفاده می‌شود، مقایسه شد.

نتایج حاکی است گر چه مقادیر میانگین شاخص‌های طراحی نظیر ظرفیت نصب نیروگاه حاصل از سری‌های متعدد جریان رودخانه به مقادیر حاصل از سری تاریخی نزدیک است، لیکن بررسی تغییرپذیری و مقادیر حداکثر و حداقل شاخصهای طراحی نشان می‌دهد که نقش احتساب عدم قطعیت حاصل از سریهای مختلف می‌تواند معنی‌دار باشد. برای مثال ظرفیت نصب نیروگاه در شرایط استفاده از منفرد تاریخی آورد رودخانه در رقوم نرمال ۱۲۰۰ برابر ۵۶۸ مگاوات است، در حالیکه حداکثر ظرفیت نصب حاصل از تحلیل مبتنی بر استفاده از سری‌های مختلف همبسته برابر ۶۶۴ مگاوات می‌باشد که بیانگر پتانسیل تغییر این شاخص به میزان ۱۷ درصد می‌باشد. همچنین حداقل ظرفیت نصب نیروگاه در این حالت برابر ۴۹۰ مگاوات نتیجه شده است که حدود ۱۴ درصد کمتر از ظرفیت نصب بدست آمده از تحلیل سری تاریخی منفرد است.

### منابع

[1] Maass, A., M., M., Hufschmidt, R., Dorfman, H., A., Thomas, Jr., S., A., Marglin, and G., M., Fair, *Design of Water Resource Systems*, Harvard University Press. Cambridge, Mass., 1962.

[2] Hydrologic Engineering Center, *HEC-3 Reservoir System Analysis Technical Report*, U. S. army Corps of Eng., Davis, Calif, June. 1971.

[3] Hydrologic Engineering Center, *HEC-5 Reservoir System Operation for flood Control and Conservation*, User manual, technical report, U. S. army Corps of Eng., Davis, Calif, June. 1974.

[4] Feldman, A., D., "HEC models for water Resources System Simulation: Theory and Experience", Adv. Hydrosoci., Vol 12, edited by V.T. Chow, 1981, pp. 297-423, Academic, Orlando, Fla.