



بررسی روابط ظرفیت ذخیره - آبدهی - عملکرد (storage - yield - performance) در سیستمهای چندمخزنه

سحر آهنگرز نوزی^۱، مجید منتصری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

szenozi@yahoo.com

خلاصه

موقعی که منابع آب کمیاب باشند، استفاده از سیستمهای ذخیره منفرد ناکارا خواهد بود، در اینصورت مخازن را بصورت مرتبط با هم طراحی و بهره برداری میکنند تا آب تحویلی از سیستم بیشینه و تلفات ناشی از سرریز شدن کمینه گردد. در صورتیکه سیستم بصورت چندمخزنه مورد طراحی قرار گیرد، حجم ذخیره کل کاهش می یابد که در مورد کمی سازی چنین کاهشی مطالعات زیادی صورت نگرفته است. در این مطالعه، به بررسی سیستمهای چندمخزنه با روش الگوریتم حداکثرهای متوالی (SPA) برای بدست آوردن مزایای طراحی یکپارچه مخازن بر روی روابط ظرفیت ذخیره - آبدهی - عملکرد مخازن در سه سد مخزنی باراندوزچای، شهرچای و نازلوچای - استان آذربایجانغربی پرداخته میشود. برای این منظور با روش شبیه سازی Monte Carlo سری های مصنوعی جریان ماهیانه رودخانه تولید و سپس با اعمال شاخص های عملکرد مخزن و روش اصلاح شده SPA، به بررسی و مقایسه نتایج طراحی بصورت سیستمهای منفرد و چندمخزنه پرداخته می شود. نتایج نشان می دهد برای یک آبدهی مشخص، طراحی بصورت سیستم چندمخزنه منجر به ذخیره حداقل ۱۰٪ در ظرفیت ذخیره موردنیاز در مقایسه با سیستمهای منفرد می گردد.

کلمات کلیدی: سیستمهای چندمخزنه، شبیه سازی، روش SPA، شاخص های عملکرد مخزن، تحلیل سیستم

مقدمه

در گذشته مخازن بصورت منفرد طراحی می شدند که این سیستمها بصورت تک منظوره یا چندمنظوره مورد بهره برداری قرار می گرفتند. طراحی و بهره برداری مخازن منفرد آسان است ولی موقعی که مقدار منابع آبی اندک و کمیاب باشد، استفاده از این نوع سیستمها غیرموثر و ناکارا خواهد بود. امروزه، سیستمهای منابع آب شامل مجموعه ای از مخازن هستند که بصورت مرتبط با هم مورد بهره برداری قرار می گیرند، تا میزان آب تحویلی از سیستم را بیشینه و تلفات ناشی از سرریز شدن را کمینه نمایند [۱]، که بخاطر طبیعت پیچیده آنها اطلاعات زیادی در مورد روابط ذخیره- آبدهی- عملکرد در سیستم چندمخزنه موجود نمی باشد. معمولاً در مرحله طراحی، مساله تعیین حجم مفید مورد نیاز مخزن برای تقاضا مورد نظر با قابلیت اعتمادپذیری مشخص می باشد. بدیهی است که در طراحی بصورت چندمخزنه، ظرفیت ذخیره سیستم کمتر از حالتی است که سیستم بصورت منفرد و تک گانه طراحی شده باشد. مطالعات اندکی در مورد کاهش ظرفیت ذخیره در طراحی بصورت چند مخزنه و ارتباط آن با تغییرات شاخص های عملکرد مخزن صورت گرفته است. برای مثال، پالمر و همکاران در سال ۱۹۸۲ برای ۴ مخزن که بصورت مرتبط با هم مورد بهره برداری قرار گرفته بودند، میزان افزایش در میزان آب تحویلی را بدست آوردند. کار آنها بر اساس داده های تاریخی و بدون توجه به ضریب اعتمادپذیری انجام شد. همچنین آنها در مطالعاتشان از استوکستیکی بودن جریان و اثرات ناشی از تلفات تبخیر صرفنظر کرده بودند [۲].

مدلسازی سیستمها به دو روش شبیه سازی (simulation method) و بهینه سازی (optimization method) انجام می گیرد. در تحلیل سیستمهای پیچیده، مدلهای ریاضی برای بهینه سازی سیستم وجود ندارد و چون در روشهای بهینه سازی امکان مدل کردن تمامی شرایط واقعی سیستم امکانپذیر نمی باشد، مدلهای شبیه سازی به عنوان مناسبترین ابزار مورد استفاده قرار می گیرند. شبیه سازی روشی است که برای هر ترکیبی از مشخصات طرح و سیاستهای بهره برداری امکان ارزیابی سریع عملکرد مورد انتظار سیستم را فراهم می آورد. همچنین این روش قابلیت اعمال شاخص های عملکرد سیستم یعنی قابلیت اعتماد زمانی، آسیب پذیری و برگشت پذیری را بطور همزمان دارد [۳].

در این مطالعه با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو، برای سه سد مخزنی باراندوزچای، شهرچای و نازلوچای در استان آذربایجانغربی سری های مصنوعی



جریان ماهیانه رودخانه تولید می شود. بنابراین در این مطالعه محدودیت استفاده از داده های تاریخی را نخواهد داشت. سپس مخازن ابتدا بصورت منفرد و سپس بصورت چندمخزنه تحلیل می شوند. برای تحلیل مخازن از روش SPA استفاده شده است، که در تحلیل بصورت چندمخزنه سیاست بهره برداری space rule نیز دخالت داده شده است [۵،۴]. در نهایت به بررسی روابط ظرفیت ذخیره - آبدهی - عملکرد پرداخته می شود.

تحلیل طراحی و عملکرد مخزن

طراحی مخزن عبارتست از تعیین حجم مفید مورد نیاز مخزن بطوریکه تقاضا مورد نظر با قابلیت اعتمادپذیری مشخصی تامین شوند. معیارهای عملکرد مخزن شامل ضریب اعتمادپذیری، برگشت پذیری، آسیب پذیری و انعطاف پذیری می باشند [۶].

- شاخص قابلیت اعتماد زمانی (Time-based Reliability):

قابلیت اعتماد زمانی در واقع به صورت، احتمال اینکه سیستم در طول دوره بهره برداری به صورت بهره برداری نرمال (بدون شکست) باشد، تعریف می شود و رابطه ریاضی آن به صورت زیر می باشد.

$$\delta = (1 - \frac{f}{T}) \quad (1)$$

δ : قابلیت اعتماد زمانی ($0 \leq \delta \leq 1$), f : تعداد کل دوره های شکست, T : تعداد کل دوره بهره برداری.

- شاخص سرعت برگشت پذیری (Resilience):

این شاخص بیانگر آنست که سیستم ذخیره با چه سرعتی از حالت شکست به حالت بهره برداری نرمال برخواهد گشت و رابطه ریاضی آن به صورت زیر می باشد.

$$\lambda = \frac{1}{\frac{f}{f_s}} \quad (2)$$

λ : سرعت برگشت پذیری, f_s : تعداد سری دوره های شکست پیوسته f : تعداد کل دوره های شکست.

- شاخص آسیب پذیری (Vulnerability):

این شاخص بیانگر شدت یا اندازه خود شکست است، که به صورت نسبت کل آب عرضه شده در طول دوره های شکست به کل تقاضا در طول همان دوره های که شکست اتفاق افتاده است می باشد؛ که به صورت زیر تعریف می شود.

$$\eta = \frac{\left(\sum_{t \in f} R_t^* - \sum_{t \in f} R_t \right)}{\sum_{t \in f} R_t^*} \quad (3)$$

η : بزرگی شکست, R_t^* : تقاضای مورد نظر در طول t امین دوره شکست, R_t : مقدار آب رها شده از سیستم در طول t امین دوره شکست.

- شاخص انعطاف پذیری (Sustainability):

لاکس در سال ۱۹۹۷ به منظور تعیین مقدار شاخص انعطاف پذیری مخزن در طراحی و بهره برداری، سه شاخص قابلیت اعتماد زمانی، سرعت برگشت پذیری و آسیب پذیری را به صورت زیر با هم ترکیب کرد [۷].

$$\varphi = \delta \lambda (1 - \eta) \quad (4)$$

φ : شاخص انعطاف پذیری, δ : قابلیت اعتماد زمانی, λ : سرعت برگشت پذیری, η : آسیب پذیری.

در طراحی مخازن منفرد، برای هر مقدار از شاخص های ضریب اعتمادپذیری و آسیب پذیری از روش الگوریتم حداکثرهای متوالی اصلاح شده SPA که در آن تلفات تبخیر از سطح مخزن بطور صریح وارد شده است، استفاده می شود. برای استفاده از روش حداکثرهای متوالی در سیستم چندمخزنه، روش SPA مخازن منفرد را با استفاده از سیاست بهره برداری space rule اصلاح و برای سیستم چندمخزنه بسط داده می شود.

تولید جریان های مصنوعی

در مطالعات سیستم های منابع آب اگر تنها از داده های جریان یا بارندگی ثبت شده استفاده شود، امکان آزمون طرحها و برنامه ریزی های مختلف برای سری بارندگی و جریان که احتمالاً در آینده رخ خواهند داد، وجود نخواهد داشت. بطوریکه در صورت استفاده از داده های جریان مصنوعی امکان تولید جریان های که احتمال وقوع آنها در آینده وجود دارد، می باشد. این امر بررسی عملکرد سیستم ذخیره در طرحها و برنامه ریزی های مختلف را فراهم می نماید و این کار سبب درک بهتر از عملکرد سیستم می شود و می توان طرح و برنامه ریزی مناسبی را برای سیستم انتخاب کرد. مدل های تولید جریان رودخانه ای برای تولید سری های متناوب از جریان رودخانه، با مشخصات آماری مشابه با داده های تاریخی بکار برده می شود.

چنین سری های متناوبی بطور تواما خصوصیات سری های جریان رودخانه که ممکن است در آینده اتفاق بیفتد را توصیف می کنند. جریان های تولید شده بوسیله مدل های تصادفی می توانند خشکسالی های شدیدتر از داده های تاریخی را ایجاد نمایند؛ بنابراین سری های جریان رودخانه تولید شده به طور مصنوعی می تواند به عنوان اساسی برای شبیه سازی مخزن بکار رود. در این مطالعه ابتدا جریان های سالیانه توسط مدل پارامتریک تصادفی سالیانه $AR(1)$ برای دو حالت منفرد و چندگانه تولید شد، که رابطه ریاضی این مدل بطور عمومی بصورت زیر میباید:

$$q_{i+1} = \bar{q} + \rho(q_i - \bar{q}) + (s\sqrt{1-\rho^2})z_i \quad (5)$$

q_i و q_{i+1} : جریان های سالیانه مربوط به i امین و $i+1$ امین سال، \bar{q} : میانگین جریان های سالیانه داده های مشاهداتی، s : انحراف معیار جریان های سالیانه، ρ : ضریب همبستگی جریان های سالیانه با تاخیر یک، z_i : پارامتر مستقل تصادفی با توزیع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و واریانس واحد.

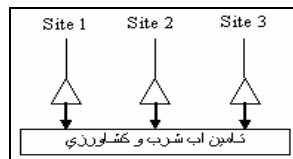
برای استفاده از این مدل لازم است که جریان های سالیانه دارای توزیع احتمالی نرمال باشند، برای داده های که دارای توزیعی غیر از توزیع نرمال باشند لازم است که به توزیع نرمال تبدیل شوند و از داده های تبدیل شده استفاده شود.

برای تولید جریان های ماهیانه از مدل والنسیا - شاکی استفاده شد، که برای استفاده از این مدل، داده های سالیانه تولید شده بوسیله مدل $AR(1)$ به عنوان داده های ورودی مدل فرض می شود که توسط مدل والنسیا - شاکی به جریان های ماهیانه توزیع می گردند.

ترکیب مدل $AR(1)$ و والنسیا - شاکی در تولید داده های جریان امکان حفظ مشخصات آماری جریان های رودخانه ای در دو سطح سالیانه و ماهیانه را فراهم می کنند بطوریکه در سطح سالیانه مقدار میانگین، انحراف معیار و ضریب همبستگی با تاخیر یک موجود بین داده ها حفظ می شود و در سطح ماهیانه نیز پارامترهای آماری از قبیل میانگین، انحراف معیار، ضریب چولگی ماه های مختلف و همبستگی داده های ماهیانه با داده های سالیانه و همبستگی بین ماه های مختلف حفظ می شود. همچنین در تولید داده بصورت چندگانه، همبستگی جریان سالیانه بین سایتها نیز حفظ می گردد [۸].

سیستم ذخیره مورد مطالعه

سیستم شامل سه سد مخزنی نازلو چای، شهرچای و باراندوزچای واقع در استان آذربایجان غربی می باشد. سیستم مخازن ذخیره مذکور بمنظور تامین آب شرب و کشاورزی شهرستان ارومیه و اراضی دشت ارومیه طرح و در حال احداث می باشند (شکل ۱).



شکل (۱) نمایش شماتیک سیستم چندمخزنه مورد مطالعه

بهره برداری از این مخازن با هدف برآورده شدن تقاضاها در همه دوره ها و یا برآورده شدن حداقل ۷۰٪ تقاضاها در طی دوره خشکسالی می باشد. خلاصه اطلاعات هیدرولوژی این سایت ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) خصوصیات هیدرولوژیکی سایت ها

محل	نام	میانگین جریان سالیانه (mcm)*	ضریب تغییرات جریان سالیانه	توزیع برتر	بارندگی (mm)	تبخیر از سطح آزاد آب (mm)
۱	نازلوچای	۴۴۶,۴۶	۰,۴۱۱	لاگ نرمال سه پارامتره	۴۱۹,۰	۹۳۳
۲	شهرچای	۲۱۸,۱۷	۰,۳۰۳	لاگ نرمال سه پارامتره	۳۹۶,۸	۱۰۰۲,۴
۳	باراندوزچای	۲۹۳,۹۱	۰,۳۰۲	لاگ نرمال سه پارامتره	۳۵۲,۵	۱۲۹۴

* میلیون مترمکعب

بررسی داده های جریان به منظور بررسی همگنی های جریان رودخانه های مورد مطالعه از روش منحنی جرم مضاعف استفاده شده است. این روش نشان داد که داده های سایت های مورد مطالعه از همگنی برخوردار هستند. به منظور بررسی تصادفی بودن داده ها نیز از روش Run test استفاده شد که معیار محاسبه شده توسط این روش در محدوده مجاز قرار داشت. به منظور بررسی پایداری داده ها از تست ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن که سازمان هواشناسی جهانی (WMO, 1988) پیشنهاد کرده است، استفاده شد. نتایج این تست نیز نشان داد که سری زمانی جریان مربوط به هر ۳ سایت ایستا بوده و



فاقد هرگونه گرایش در خصوصیات آماری میباشند. برای انتخاب مناسب ترین توزیع احتمالی برای داده های جریان سالیانه و ماهیانه از تست Probability plot correlation coefficient استفاده شد. نتایج این تست نشان داد که برای هر سه سایت توزیع لاگ نرمال سه پارامتره به عنوان توزیع مناسب برای داده های ماهیانه و سالیانه می باشد.

برای تحلیل مخزن ابتدا به طول سال های آماری، داده های مصنوعی توسط مدل های تصادفی نامبرده شده تولید شد و سپس این داده ها به عنوان داده های ورودی برای تحلیل مخزن مورد استفاده قرار گرفت. هفت گزینه برای تقاضا کل سالیانه به صورت (۲۰٪-۳۰٪-۴۰٪-۵۰٪-۶۰٪-۷۰٪-۸۰٪) مقدار متوسط جریان سالیانه (MAF) در نظر گرفته شد. آسیب پذیری به صورت (۵٪، ۱۰٪،، ۵۰٪) برای شرایط شکست مخزن در نظر گرفته شد. قابلیت اعتماد زمانی به صورت (۱۰۰٪، ۹۹٪، ۹۸٪، ۹۷٪، ۹۶٪، ۹۵٪، ۹۳٪، ۹۰٪) فرض شد. نوع تقاضا نیز به صورت متغیر در طول ماه های سال در نظر گرفته شد. تحلیل مخزن برای ۱۰۰۰ سری داده تولید شده انجام گرفته است.

نتایج

• دوره بحرانی

دوره بحرانی در طراحی مخازن عبارت است از شدیدترین دوره خشکی موجود در داده های تاریخی می باشد. سیستمهای مخازن ذخیره بر اساس طول دوره بحرانی به دو دسته سیستمهای درون سالی و برون سالی تقسیم می شوند. سیستم های درون سالی دوره بحرانی کمتر از ۱۲ ماه خواهند داشت و از اینرو حداقل یکبار در طول سال خالی، پر و سرریز خواهند شد. برای تحلیل این سیستم ها لازم است حتما از داده های ماهیانه استفاده شود که در صورت استفاده از داده های سالیانه مقدار حجم برآورد شده برای مخزن کوچکتر خواهد بود. در حالیکه سیستمهای برون سالی دوره بحرانی خیلی بیشتر از ۱۲ ماه دارند؛ یعنی چندین سال لازم است که سیستم از حالت پر به حالت خالی برسد یا از حالت خالی به حالت پر و سرریز برسد. تحلیل این سیستم ها می تواند براساس داده های سالیانه با دقت قابل قبولی انجام پذیرد. دانستن طول دوره بحرانی و همچنین رفتار دقیق مخزن، قبل از طراحی، در انتخاب نوع اطلاعات مورد نیاز (ماهیانه یا سالیانه) برای تحلیل مخزن کمک می کند.

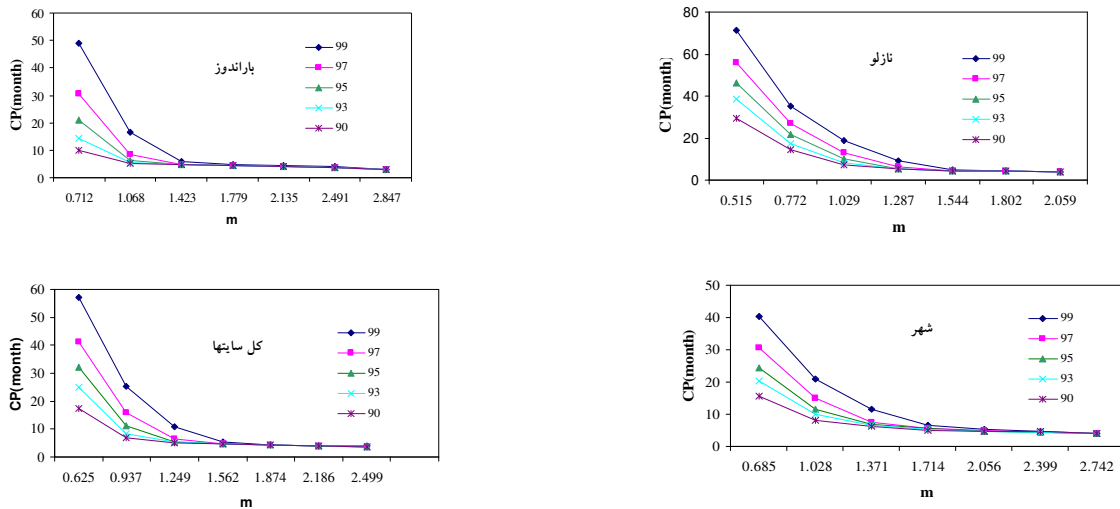
یکی از معیارهای که بطور وسیع در منابع برای تعیین نوع رفتار مخزن مورد استفاده واقع می شود پارامتر تقاضای استاندارد شده یا پارامتر m می باشد که به صورت $m=(1-D)/C_v$ تعریف می شود. طول دوره بحرانی علاوه بر فاکتور های تقاضا (D) و ضریب تغییرات جریان سالیانه (C_v) در رابطه تقاضای استاندارد شده تابعی از شاخص های عملکرد مخزن (آسیب پذیری و ضریب اعتمادپذیری) نیز می باشد. در این روش رفتار سیستم های مخازن ذخیره باز $m>1$ بعنوان سیستم درون سالی و باز $m<1$ بعنوان سیستم برون سالی طبقه بندی می شوند.

تحلیل مخزن برای ۱۰۰۰ سری داده تولید شده انجام گرفته و طول دوره بحرانی در هر سری برای مقدار تقاضا (مثلا ۸۰٪ متوسط جریان سالیانه) و با قابلیت اعتماد زمانی (مثلا ۹۸٪) و آسیب پذیری (به عنوان مثال ۳۰٪) مشخص با استفاده از تحلیل مخزن تعیین گردید. مقدار متوسط دوره بحرانی بدست آمده از ۱۰۰۰ سری به منظور تحلیل همبستگی بین دوره بحرانی و پارامتر m مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ تغییرات دوره بحرانی بدست آمده را در برابر پارامتر m برای قابلیت اعتماد زمانی و آسیب پذیری ۳۰٪ در هر یک از سایتها نشان می دهد. در جدول ۲ طول دوره بحرانی حاصل از تحلیل مخزن برای تقاضا، ضریب اعتمادپذیری مختلف و آسیب پذیری ۳۰٪ برای دو مدل منفرد و چندگانه ارائه شده است.

- روند تغییرات دوره بحرانی نسبت به پارامتر m خطی نبوده بلکه مشابه روند نمایی می باشد. با افزایش پارامتر m طول دوره بحرانی کاهش پیدا می کند.
- دوره بحرانی در یک قابلیت اعتماد زمانی مشخص با افزایش شکست پذیری، کاهش پیدا می کند، بطوریکه در تقاضا زیاد، شدت کاهش دوره بحرانی با افزایش شکست پذیری، زیاد می باشد.
- کاهش ضریب اعتمادپذیری، طول دوره بحرانی را کاهش می دهد.

جدول (۲) مقدار طول دوره بحرانی حاصل از تحلیل منفرد (Model 1) و چندگانه (Model 2) مخزن برای تقاضا و ضریب اعتمادپذیری مختلف برای آسیب پذیری ۳۰٪

سایت	مدل	Demand /MAF (%)						
		20	30	40	50	60	70	80
($\delta=100\%$)								
باراندوز	Model(1)	3.66	4.13	4.61	5.31	9.02	25.21	66.26
شهر	Model(1)	4.58	5.14	5.87	8.8	15.78	25.85	49.96
نازلو	Model(1)	4.15	4.74	7.12	14.04	25.67	44.52	88.31
کل سایتها	Model(2)	3.99	4.28	5.06	7.9	17.31	34.8	72.36
($\delta=98\%$)								
باراندوز	Model(1)	2.92	3.73	4.18	4.52	5.2	10.82	38.69
شهر	Model(1)	4.03	4.51	5.12	6.04	8.74	17.56	35.26
نازلو	Model(1)	4.02	4.12	4.69	7.51	15.83	30.91	64.01
کل سایتها	Model(2)	3.67	4.07	4.33	4.81	8.15	19.9	47.34



شکل (۲) نمایش تغییرات دوره بحرانی با پارامتر تقاضا استاندارد شده در قابلیت اعتماد زمانی مختلف و بزرگی شکست ۳۰٪ برای تقاضاهای متغیر

• توزیع تجربی ظرفیتهای ذخیره

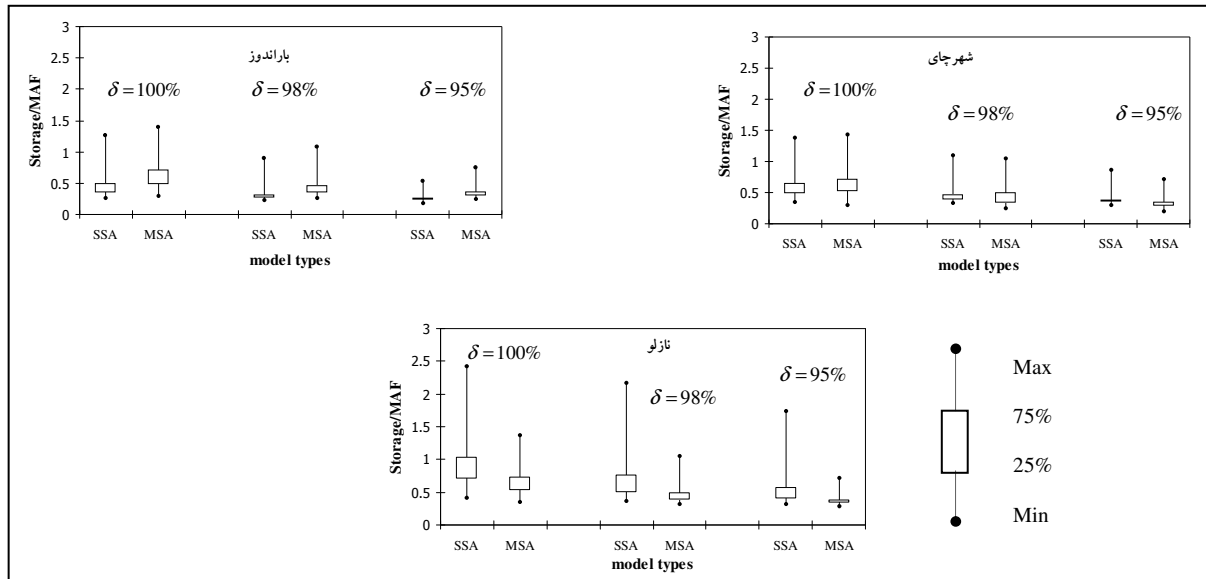
در این مطالعه از نمودارهای جعبه ای برای نمایش توزیع تجربی ظرفیتهای ذخیره استفاده شده است و برای اینکه نتایج بصورت کلی نشان داده شوند، ظرفیت ذخیره مفید مخزن با تقسیم بر متوسط جریان سالانه تاریخی استاندارد می شود و در تحلیل نتایج از ظرفیت ذخیره نرمالیزه شده S_{norm} استفاده می شود.

$$S_{norm} = \frac{K_a^*}{\bar{q}} \quad (۶)$$

که در آن K_a^* ظرفیت ذخیره مفید مخزن و \bar{q} متوسط جریان سالانه ثبت شده می باشد. ظرفیتهای ذخیره برآورد شده از دو مدل منفرد و چندگانه در جدول (۳) با هم مقایسه شده اند. همانطور که ملاحظه می شود، ظرفیت ذخیره مخزن زمانی که مخازن بصورت مرتبط با هم عمل می کنند از مجموع ظرفیت ذخیره در حالتیکه مخازن بصورت جداگانه مورد بهره برداری قرار می گیرند، کمتر می باشد. برای مثال در جدول (۳) ظرفیت ذخیره برای تقاضای ۳۰٪ متوسط جریان سالانه و ضریب اعتمادپذیری ۱۰۰٪ در تحلیل بصورت منفرد، مجموعاً ۱۲۷،۷۲ میلیون متر مکعب می باشد، که این ذخیره حدود ۶،۴۹٪ بزرگتر از ظرفیت ذخیره موردنیاز برآوردشده از تحلیل بصورت چندگانه می باشد. این افزایش برای ضریب اعتمادپذیری ۹۸٪ تقریباً دو برابر می شود. از مهمترین مزایای تحلیل مخازن بصورت چندگانه، صرفه جویی در فضای تخصیص یافته برای ظرفیت ذخیره می باشد. در این روش، لزومی ندارد برای تامین تقاضاها از همه مخازن استفاده شود. معمولاً از مخازنی که مقدار جریان ورودی بیشتری نسبت به دیگر مخازن دارند، به تکرار برای تامین تقاضاها استفاده می شوند. سیاست بهره برداری مورد استفاده در روش الگوریتم حداکثرهای متوالی، قاعده space rule، بر اساس کاهش سرریزهای غیر ضروری توسط اختصاص فضایی مطابق با جریانات ورودی مورد انتظار به هر مخزن می باشد. در کل، هدف اصلی از طراحی و مدیریت مخازن چندگانه، اقتصادی کردن فضای ذخیره اختصاص یافته برای تامین تقاضاهای

جدول (۳) متوسط ظرفیت های برآورد شده از تحلیل مخزن بصورت منفرد و چندگانه برای تقاضاها و ضریب اعتمادپذیری ۱۰۰٪ و آسیب پذیری ۳۰٪

سایت	capacity (mcm)	Demand/MAF(%)						
		20	30	40	50	60	70	80
$\delta=100\%$								
باراندوز	Model(1)	9.52	24.26	40.67	59.21	82.49	130.50	254.60
	Model(2)	23.75	42.83	59.62	79.86	111.40	182.98	326.33
شهر	Model(1)	18.73	31.37	45.00	61.15	86.15	126.28	193.92
	Model(2)	8.87	17.22	31.75	49.36	81.19	136.64	242.66
نازلو	Model(1)	41.28	72.09	109.53	164.99	255.08	402.23	668.88
	Model(2)	32.18	59.89	88.95	125.52	183.90	288.72	499.30
کل سایتها	Model(1)	69.53	127.72	195.20	285.35	423.72	659.01	1117.40
	Model(2)	64.81	119.94	180.32	254.74	376.50	608.34	1068.28
	Difference(%)	7.28	6.49	8.25	12.02	12.54	8.33	4.60



شکل (۳) نمودار جعبه ای ظرفیتهای ذخیره برای مدل‌های منفرد (SSA) و چندگانه (MSA) برای تقاضای ۷۰٪ متوسط جریان سالیانه و ضریب اعتماد پذیری های مختلف

سیستم می باشد. در تحلیل چندگانه، اقتصادی بودن ظرفیت ذخیره بجز سایت باراندوز در بقیه سایتها مشاهده می شود. سایت باراندوز بعلت اینکه کمترین ضریب تغییرات را در جریانات ماهیانه و سالیانه را در مقایسه با دیگر سایتها دارد، در تحلیل SPA چندگانه، ظرفیت ذخیره بیشتری را بخود اختصاص می دهد.

• تاثیر تلفات تبخیر

یکی از عوامل موثر در تعیین دقیق حجم ذخیره، میزان تلفات ناشی از تبخیر از سطح مخازن ذخیره می باشد، بطوریکه در نظر نگرفتن تلفات تبخیر باعث خواهد شد میزان آبدهی مخزن و ظرفیت ذخیره مخزن کمتر از حد برآورد شوند. میزان تاثیر تلفات تبخیر توسط بارش به مخزن سد تعدیل می شود؛ البته میزان تعدیل به مقدار نسبی بارندگی و تبخیر از مخزن وابسته است. له له در سال ۱۹۸۷ نشان داد که وارد کردن میزان تلفات تبخیر در تحلیل مخزن باعث افزایشی در حدود ۳۰٪ در حجم مفید مخزن می شود [۹].

جدول (۴) متوسط ظرفیت مفید و تلفات تبخیر برای تقاضاها و ضرایب اعتماد پذیری مختلف با استفاده از مدل‌های منفرد و چندگانه

سایت	مدل	داده	Demand/MAF(%)						
			20	30	40	50	60	70	80
باراندوز	Model(1)	K_a^*	9.521	24.26	40.665	59.211	82.488	130.498	254.595
		EV	1.101	1.439	1.787	2.192	3.494	10.608	43.888
		EV/ K_a^* (%)	11.564	5.932	4.394	3.702	4.236	8.129	17.238
	Model(2)	K_a^*	23.751	42.828	59.623	79.864	111.404	182.979	326.327
		EV	1.443	1.856	2.273	3.312	7.17	18.482	60.613
		EV/ K_a^* (%)	6.0755	4.3336	3.8123	4.1470	6.4360	10.1006	18.5743
شهر	Model(1)	K_a^*	18.727	31.368	45.004	61.149	86.151	126.281	193.917
		EV	0.775	0.988	1.219	1.741	3.065	5.659	12.797
		EV/ K_a^* (%)	4.1384	3.1497	2.7086	2.8471	3.5577	4.4813	6.5992
	Model(2)	K_a^*	8.873	17.22	31.747	49.361	81.192	136.642	242.656
		EV	0.601	0.709	0.909	1.339	2.914	7.129	21.954
		EV/ K_a^* (%)	6.7734	4.1173	2.8633	2.7127	3.5890	5.2173	9.0474
نازلو	Model(1)	K_a^*	41.277	72.092	109.529	164.988	255.076	402.229	668.884
		EV	1.429	1.719	2.383	4.46	9.144	20.006	57.067
		EV/ K_a^* (%)	3.4620	2.3845	2.1757	2.7032	3.5848	4.9738	8.5317
	Model(2)	K_a^*	32.182	59.89	88.951	125.515	183.899	288.724	499.299
		EV	1.371	1.644	1.948	2.721	5.552	12.889	38.455
		EV/ K_a^* (%)	4.2601	2.7450	2.1900	2.1679	3.0190	4.4641	7.7018



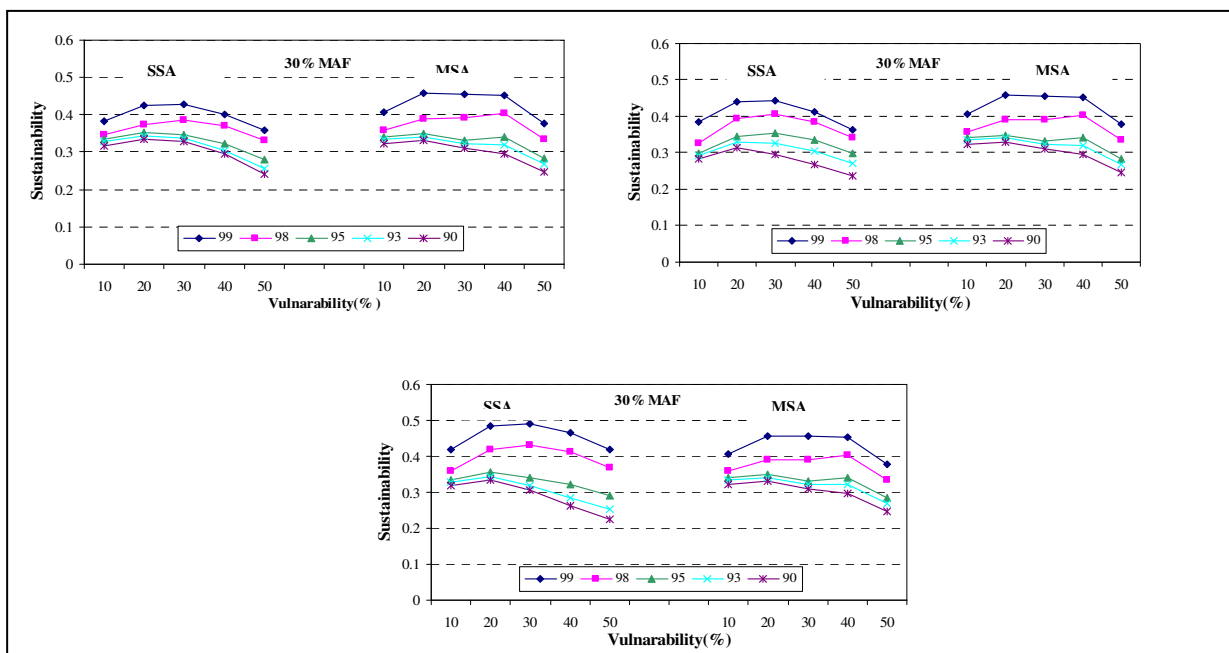
جدول (۴) شامل نتایج تبخیر از مخزن برای تقاضاهای مختلف برای دو حالت منفرد و چندگانه می باشد. علت اینکه از نسبت تلفات تبخیر به حجم مفید مخزن استفاده می شود اینست که این نسبت با افزایش میزان تقاضا، افزایش نیابد. نمودار نسبت تغییرات تبخیر در مقابل تقاضا، شکل مقعر دارد؛ یعنی نمودار تغییرات تبخیر در تقاضاهای خیلی کم یعنی در جاییکه رفتار سیستم کاملاً برون سالی است، بیشترین مقدار را دارد. بطوریکه کمترین مقدار این نسبت بین تقاضاهای ۴۰ تا ۶۰ درصد متوسط جریان رودخانه می باشد. با توجه به جدول (۴) ملاحظه می شود برای تقاضاهای کم با کاهش ضریب اعتمادپذیری، میزان ظرفیت ذخیره کاهش می یابد؛ همچنین با افزایش ضریب اعتمادپذیری، میزان تلفات تبخیر افزایش می یابد، بنابراین با افزایش ضریب اعتمادپذیری، نسبت تلفات تبخیر به ظرفیت مفید مخزن، کاهش می یابد. در حالیکه در تقاضاهای بزرگتر با افزایش ضریب اعتماد پذیری، نسبت تلفات تبخیر به ظرفیت مفید مخزن کاهش می یابد. همانطور که جدول (۴) نشان می دهد، نسبت تلفات تبخیر به حجم مفید مخزن در تحلیل بصورت چندگانه کمتر از مقدار برآوردی آن از تحلیل بصورت منفرد می باشد.

• شاخص های عملکرد سیستم ذخیره

عموماً سیستم های مخازن ذخیره برای بهره برداری در شرایط نرمال یعنی تامین تقاضای طرح، طراحی می شوند. اما بدلیل بروز دوره خشکی شدیدتر از دوره خشکی مشاهداتی یا بدلیل تغییر ناگهانی در الگوی تقاضا آب (رها سازی آب)، ممکن است سیستم در زمان بهره برداری دچار شکست شود. به منظور ارزیابی سیستم تحت شرایط شکست (یعنی تامین بخشی از تقاضا طرح) از شاخص های عملکرد مخزن یعنی ضریب اعتماد پذیری، برگشت پذیری و آسیب پذیری استفاده می کنند. همانطوری که در فصل ۳ توضیح داده شد، قابلیت اعتماد زمانی نشان دهنده این است که سیستم طی دوره بهره برداری با چه مقدار احتمالی در حالت بهره برداری نرمال خواهد بود، شاخص آسیب پذیری بیانگر اندازه کمبود تقاضا طرح (شدت شکست) در طول دوره شکست می باشد و شاخص برگشت پذیری بیانگر احتمال برگشت سیستم از حالت شکست به حالت بهره برداری نرمال می باشد. این سه شاخص تصویر کاملاً روشنی از عملکرد مخزن طی دوره بهره برداری ارائه می کنند.

لاکس در سال ۱۹۹۷ این سه شاخص عملکرد مخزن را در شاخصی بنام شاخص انعطاف پذیری خلاصه کرد. این شاخص برای مقایسه طراحی ها و سیاستهای بهره برداری مختلف در یک سیستم بسیار مناسب می باشد. در بهره برداری سیستم های ذخیره ایده آل ترین سیاست بهره برداری زمانی است که سیستم دارای بیشترین ضریب اعتماد پذیری و برگشت پذیری و کمترین آسیب پذیری باشد. هرچند داشتن چنین سیستمی به خاطر وجود تعامل بین شاخص های عملکرد مخزن، عملاً ممکن نیست.

شکل (۴) روابط بین شاخص انعطاف پذیری، شاخص آسیب پذیری و ضریب اعتمادپذیری را نشان می دهد. این اشکال نشان می دهند که در هر آسیب پذیری مشخص با افزایش میزان تقاضا، میزان شاخص انعطاف پذیری کاهش می یابد. مقایسه شاخص انعطاف پذیری برای سه سطح ضریب اعتمادپذیری ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۸٪ نشان می دهد که تاثیر ضریب اعتمادپذیری بر روی شاخص انعطاف پذیری بسیار کم است. از بین سه معیاری (اعتمادپذیری، برگشت



شکل (۴) تغییرات شاخص انعطاف پذیری نسبت به شاخص آسیب پذیری در ضریب اعتمادپذیری های مختلف و تقاضاهای مشخص در تحلیل بصورت منفرد و چندگانه در سایت باراندوز، شهرچای و نازلو



پذیری و آسیب پذیری) که در شاخص انعطاف پذیری شرکت دارند، ضریب اعتماد پذیری بیشترین مقدار عددی را دارد. همانطور که اشکال نشان می دهند، آسیب پذیری ۳۰٪ برای تقاضاها و ضریب اعتمادپذیری های مختلف دارای بیشترین شاخص انعطاف پذیری می باشد. این نتایج بیانگر تعامل بین شاخص انعطاف پذیری، تقاضا و شاخص آسیب پذیری می باشند که می توانند برای بدست آوردن شاخص انعطاف پذیری موردنظر با همدیگر ترکیب شوند.

نتیجه گیری

- زمانیکه دوره بحرانی سیستم بیشتر از ۱۲ ماه باشد، $m < 1$ و رفتار سیستم برون سالی و زمانیکه دوره بحرانی سیستم کمتر از ۱۲ ماه باشد، $m > 1$ و رفتار سیستم درون سالی است. استفاده از پارامتر تقاضای استاندارد شده (m) به تنهایی برای تشخیص دادن اینکه سیستم درون سالی است یا برون سالی کافی نمی باشد. زیرا این پارامتر به دیگر پارامترهای سیستم از جمله ضریب اعتمادپذیری وابسته است.
- ظرفیت ذخیره سیستم در صورتیکه بصورت چندگانه طراحی شود، کمتر از مجموع ظرفیت ذخیره تک تک مخازن می باشد. در این مطالعه، ظرفیت ذخیره در طراحی بصورت چندگانه ۱۰٪ کمتر از ظرفیت ذخیره در طراحی بصورت تک گانه است. همچنین در تحلیل بصورت چندگانه، به ازای هر شاخص آسیب پذیری و ضریب اعتماد پذیری، میزان شاخص برگشت پذیری و انعطاف پذیری بیشتر از مقادیر آنها در حالت تحلیل بصورت منفرد است.
- بیشتر خصوصیات سیستمهای ذخیره تحت تاثیر درون سالی یا برون سالی بودن سیستم قرار دارند. بعضی از این خصوصیات همانند ضریب تغییرات ظرفیت ذخیره، شاخص برگشت پذیری و شاخص انعطاف پذیری، زمانیکه رفتار سیستم از درون سالی به برون سالی تغییر می کند، تغییر ناگهانی در شکل آنها رخ می دهد.
- اثرات تلفات تبخیر از سطح مخازن بصورت نسبت تلفات تبخیر به حجم مفید مخزن بیان می شود، که وقتی در مقابل تقاضا ترسیم شود، شکلی مقعر خواهد داشت که مینیمم نقطه نمودار در محل انتقال از رفتار درون سالی به برون سالی رخ می دهد. هدف از استخراج این اشکال استفاده از آنها بعنوان یک راهنمای ساده برای تصحیح و اعمال تلفات تبخیر در مخازن در جاهاییکه در آنها هیچگونه داده ای برای تحلیل روابط آبدی - ظرفیت ذخیره مخزن وجود ندارد، می باشد.
- شاخص انعطاف پذیری علیرغم سه شاخص ضریب اعتمادپذیری، آسیب پذیری و برگشت پذیری، شاخص نسبتاً جدیدی در سیستمهای منابع آب است که هر سه شاخص مذکور را در بر دارد. در کل، آسیب پذیری های خیلی کم و خیلی زیاد، شاخص انعطاف پذیری کمتری دارند. در این مطالعه شاخص انعطاف پذیری بهینه در آسیب پذیری ۳۰٪ رخ می دهد.

مراجع

1. Montaseri, M. (1999) Stochastic investigation of the planning characteristics of within-year and over-year resource systems, *Heriot-Watt University, Thesis Submitted for the degree of doctor of philosophy*
2. Palmer, R. N., Smith, J.A., Cohon, J. L., and Revelle, C. S. (1982) Reservoir management in Potomac river basin, *J. Water Resour. Plan. Managt.*, 108(1).
3. Loucks, D. P., Stedinger, J. R., and Haith, D. A. (1981) Water resource systems planning and analysis, *Prentice-Hall, Englewood cliffs, N. J.*
4. Lund, J. R., and Guzman, J. (1999) Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel, *J. Water Resour. Plan. Managt., ASCE*, 125(3):143-153.
5. Paredes, J., and Lund, J. (2005) Refill and drawdown rules for parallel Reservoirs: Quantity and Quality, *J. Water Resour. Plan. Managt.*, 20:359-376.
6. Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks, D.P. (1982) Reliability, Resiliency and Vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, *J. Water Resour. Res.*, 18(1):14-20.
7. Loucks, D. P. (1997) Quantifying trends in system sustainability, *Hydrology Sci. J.*, 42(4): 513-530.
۸. آهنگرزنوی، سحر و منتصری، مجید (۱۳۸۶) تولید داده های مصنوعی در سیستمهای ذخیره منفرد و چندگانه، ارسالی برای سمینار کاهش تبخیر، کرمان
9. Lele, S. M. (1987). Improved algorithms for reservoir capacity calculation incorporating storage-dependent losses and reliability norm, *J. Water Resour. Res.*, 23(10):1819-1823.