

تعیین مقدار بهینه شاخص عملکرد آسیب پذیری در سیستم‌های مخازن ذخیره با استفاده از شاخص پایداری (Sustainability Index)

صالح محمدی کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه ارومیه و کارشناس آب‌های سطحی شرکت آب
منطقه‌ای استان گلستان
مجید منتصری استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

چکیده

سیستم‌های مخازن ذخیره دارای نقش اساسی در کنترل آب‌های سطحی و تأمین آب مورد نیاز کشاورزی، شرب، تولید برق و ... می‌باشند به همین دلیل مطالعه دقیق رفتار این سیستم‌ها به منظور تأمین آب مورد تقاضا به صورت رضایت‌بخش ضروری می‌باشد، بررسی رفتار مخازن ذخیره به ویژه در سال‌های کم آبی از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد، بطوری در دوره‌های بحرانی همواره آب تأمین شده توسط مخازن کمتر از مقدار تقاضا می‌باشد. این تحقیق به بررسی عملکرد مخازن درون سالی و برون سالی تحت مقادیر مختلف آسیب‌پذیری در دوره‌های بحرانی می‌پردازد. برای تعیین عملکرد بهینه سیستم‌های ذخیره، شاخص پایداری و برای تحلیل مخزن روش SPA اصلاح شده، مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی عملکرد مخازن تحت مقادیر مختلف آسیب‌پذیری در سایت‌های مورد مطالعه نشان می‌داد که در سیستم‌های مخازن ذخیره درون سالی اعمال محدودیت در رهاسازی آب در دوره‌های بحرانی اگر به اندازه ۲۵٪ مقدار تقاضا مورد نظر باشد سیستم ذخیره عملکرد بهینه خواهد داشت و این موضوع در سیستم‌های برون سالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص آسیب‌پذیری (اعمال محدودیت) ۲۵٪ الی ۴۰٪ باشد.

کلمات کلیدی: شاخص پایداری، روش SPA، مخازن ذخیره درون سالی، مخازن ذخیره برون سالی، شاخص آسیب‌پذیری.

The Optimal Vulnerability Index (as Performance Index) in Reservoir Systems using the Sustainability Index

S. Mohammady Golestan Regional Water Co.

M. Montaseri Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture,
University of Urmia

Abstract

Water reservoir systems have important role to control the surface water and provide various demands, such as irrigation, domestic, industrial and hydroelectric power generation. Therefore, it is necessary to study the behavior of these systems to provide demand satisfactorily. Assessment the reservoir system behavior during the drought periods is very important. Water release, always is less then the demand during the drought period. This study, assess the performance of within-year and over-year reservoir systems under different values of vulnerability index. Sustainability index was used to obtain the optimal performance of reservoir systems. Reservoir system was simulated using modified SPA method. Assessment of reservoir performance under different values of vulnerability index in sites showed that the sustainability for within-year system is generally maximum at 25% vulnerability and for over-year system is maximum at 35%-40% vulnerability.

Key words: Sustainability, SPA method, Within-year system, Over-year system, Vulnerability.

۱- مقدمه

سیستم‌های ذخیره (سدها) ممکن است در طول دوره بهره‌برداری شان تحت دامنه وسیعی از تقاضاها و شرایط مختلف هیدرولوژیکی از قبیل خشک سالی و ترسالی قرار بگیرند به همین دلیل یکی از بحث‌های مهم در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های مخازن ذخیره، توصیف عملکرد احتمالی این سیستم‌ها در آینده، تحت شرایط مختلف تقاضا و حالت‌های هیدرولوژیکی ممکن، در طول دوره بهره‌برداری آنها می‌باشد. پیشتر، عملکرد احتمالی سیستم‌های منابع آب توسط میانگین و واریانس سود و ضرر یا بعضی از پارامترهای بهره‌برداری توصیف می‌شد [۱]. Hashimoto و همکارانش در سال ۱۹۸۲ برای ارزیابی عملکرد احتمالی سیستم‌های ذخیره در طول دوره بهره‌برداری شاخص‌های قابلیت اعتماد، آسیب‌پذیری و شاخص سرعت برگشت‌پذیری را معرفی کردند. این شاخص‌ها تصویر روشن‌تری از وضعیت و عملکرد سیستم‌های مخازن ذخیره در دوره‌های شکست ارائه می‌کنند. دوره شکست در بهره‌برداری سیستم‌های ذخیره، دوره‌ای می‌باشد که طی آن دوره، سیستم توانایی تأمین بخشی از تقاضا را دارد [۱۰].

سیستم‌های مخازن ذخیره براساس رفتار عمومی شان به دو دسته سیستم‌های درون سالی (Within-year) و سیستم‌های برون سالی (Over-year) تقسیم می‌شوند. سیستم‌های درون سالی به سیستم‌های اطلاق می‌شود که دوره بحرانی (CP) کمتر از ۱۲ ماه دارند و حداقل یکبار در طول سال خالی و پر می‌شوند، در بعضی از سدها برای اینکه سیستم از حالت پر به حالت خالی برسد چندین سال طول می‌کشد که به آنها سیستم‌های برون سالی اطلاق می‌شود [۱۱]. دوره بحرانی (CP) عبارت است از فاصله زمانی که یک مخزن ذخیره از حالت پر به حالت خالی می‌رسد [۶].

۲- شاخص‌های عملکرد مخازن ذخیره

۱-۱- شاخص قابلیت اعتماد (Reliability)

سیستم‌های مخازن ذخیره در طول دوره بهره‌برداری، ممکن است به مدت چندین ماه یا سال دچار شکست شوند، که برای ارزیابی تعداد دوره‌های شکست یک سیستم در طول دوره بهره‌برداری از شاخص قابلیت اعتماد استفاده می‌کنند، این شاخص، به صورت مقدار احتمال اینکه سیستم در طول دوره عملکرد خود در حالت بهره‌برداری نرمال (بدون شکست) قرارگیرد، تعریف می‌شود [۱] رابطه ریاضی قابلیت اعتماد زمانی به صورت زیر می‌باشد.

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

δ : قابلیت اعتماد زمانی ($0 \leq \delta \leq 1$)

f : تعداد کل دوره‌های شکست

T : تعداد کل دوره بهره‌برداری

۲-۲- شاخص سرعت برگشت‌پذیری (Resiliency)

برای ارزیابی توانایی یک سیستم ذخیره در برگشت از حالت شکست به حالت بهره‌برداری نرمال، از شاخص سرعت برگشت‌پذیری استفاده می‌شود. بطوریکه رابطه ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد [۱]:

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

λ : شاخص سرعت برگشت‌پذیری

f_s : تعداد سری دوره‌های شکست پیوسته (دوره‌های شکستی

که به صورت متوالی اتفاق افتاده است)

f : تعداد کل دوره‌های شکست

۳-۲- شاخص آسیب‌پذیری (Vulnerability)

شاخص آسیب‌پذیری، بیانگر شدت (مقدار) کمبود در طی دوره شکست می‌باشد. Hashimoto و همکارانش در سال ۱۹۸۲ مقدار شاخص آسیب‌پذیری را به صورت میانگین کمبودهای ماکزیمی که در هر سری شکست پیوسته اتفاق افتاده است، در نظر گرفتند. Zongxue, X. و همکارانش در ۱۹۹۶ شاخص آسیب‌پذیری را به صورت نسبت تمام آب عرضه شده در طول دوره‌های شکست به کل تقاضا در طول همان دوره‌های شکست، توصیف کردند. که رابطه ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد.

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

η : شاخص آسیب‌پذیری

R_t : آب خروجی از مخزن در طول t امین دوره شکست

R_t^* : تقاضا در نظر گرفته شده طرح برای t امین دوره شکست

f : تعداد کل دوره‌های شکست

در این مطالعه نیز از رابطه (۳) برای بیان شاخص آسیب‌پذیری استفاده شده است.

۴-۲- شاخص پایداری (Sustainability)

در یک سیستم ذخیره مقدار شاخص‌های قابلیت اعتماد، آسیب‌پذیری و سرعت برگشت‌پذیری به یکدیگر وابسته

می‌باشند. به عنوان مثال برای یک تقاضا با مقدار شاخص قابلیت اعتماد مشخص، توانایی سیستم در برگشت از حالت شکست به حالت بهره‌برداری نرمال با تغییر میزان آسیب‌پذیری تغییر می‌کند. بطوریکه یک روند همگرایی بین شاخص‌های عملکرد مخزن وجود ندارد [۷]. بدین دلیل مقایسه سیاست‌های بهره‌برداری به ازاء مقادیر مختلف شاخص‌های عملکرد مخزن مشکل می‌باشد. از اینرو Loucks در سال ۱۹۹۷ برای حل مشکل مذکور شاخص پایداری که ترکیبی از ۳ شاخص، قابلیت اعتماد زمانی، آسیب‌پذیری و سرعت برگشت پذیری می‌باشد، را به عنوان شاخص عملکرد جدید مخزن معرفی کرد. این شاخص معیار بسیار مناسبی برای مقایسه گزینه‌های مختلف سیاست‌های بهره‌برداری سیستم‌های ذخیره در مرحله طراحی و همچنین برای برآورد الگوی بهره‌برداری بهینه سیستم‌های در حال بهره‌برداری می‌باشد، هنگام مقایسه گزینه‌های مختلف، گزینه‌ای که دارای بیشترین مقدار شاخص پایداری باشد به عنوان گزینه بهینه در نظر گرفته می‌شود [۴]. که بیان ریاضی شاخص پایداری به صورت رابطه (۴) می‌باشد:

می‌باشند. به عنوان مثال برای یک تقاضا با مقدار شاخص قابلیت اعتماد مشخص، توانایی سیستم در برگشت از حالت شکست به حالت بهره‌برداری نرمال با تغییر میزان آسیب‌پذیری تغییر می‌کند. بطوریکه یک روند همگرایی بین شاخص‌های عملکرد مخزن وجود ندارد [۷]. بدین دلیل مقایسه سیاست‌های بهره‌برداری به ازاء مقادیر مختلف شاخص‌های عملکرد مخزن مشکل می‌باشد. از اینرو Loucks در سال ۱۹۹۷ برای حل مشکل مذکور شاخص پایداری که ترکیبی از ۳ شاخص، قابلیت اعتماد زمانی، آسیب‌پذیری و سرعت برگشت پذیری می‌باشد، را به عنوان شاخص عملکرد جدید مخزن معرفی کرد. این شاخص معیار بسیار مناسبی برای مقایسه گزینه‌های مختلف سیاست‌های بهره‌برداری سیستم‌های ذخیره در مرحله طراحی و همچنین برای برآورد الگوی بهره‌برداری بهینه سیستم‌های در حال بهره‌برداری می‌باشد، هنگام مقایسه گزینه‌های مختلف، گزینه‌ای که دارای بیشترین مقدار شاخص پایداری باشد به عنوان گزینه بهینه در نظر گرفته می‌شود [۴]. که بیان ریاضی شاخص پایداری به صورت رابطه (۴) می‌باشد:

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

φ : شاخص پایداری

δ : شاخص قابلیت اعتماد زمانی

λ : شاخص سرعت برگشت‌پذیری

η : شاخص آسیب‌پذیری

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- تحلیل مخزن

به منظور بررسی تغییرات شاخص پایداری نسبت به شاخص آسیب‌پذیری در سیستم‌های مخازن ذخیره لازم است ابتدا سیستم‌ها ی ذخیره با توجه به جریان ورودی، میزان تقاضا و میزان تلفات ناشی از تبخیر و نشست آب شبیه‌سازی شود و سپس با استفاده از نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی مخزن مقدار شاخص پایداری سیستم در شرایط مختلف تعیین گردد.

برای تحلیل مخزن روش Sequent Peak Algorithm (SPA) اصلاح شده مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از معادله توازن جرمی به صورت زیر استفاده می‌شود.

$$k_t = \begin{cases} k_{t-1} + R_t + EV_t - Q_t; & \text{اگر مثبت باشد} \\ 0.0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (5)$$

$$k_a = \max(k_t); t = 1, \dots, T$$

۳-۲- تولید جریان‌های مصنوعی
 در مطالعات سیستم‌های منابع آب اگر تنها از داده‌های جریان یا بارندگی ثبت شده استفاده شود امکان آزمون طرح‌ها و برنامه‌ریزی‌های مختلف برای بارندگی‌ها و جریان‌های که احتمالاً در آینده رخ خواهند داد وجود نخواهد داشت که این موضوع امکان بررسی عملکرد سیستم ذخیره تحت شرایط مختلف هیدرولوژی در طرح‌ها و برنامه‌ریزی‌های مختلف را فراهم می‌نماید و سبب درک بهتر از عملکرد سیستم می‌شود و می‌توان طرح و برنامه‌ریزی مناسبی را برای سیستم انتخاب کرد [۲ و ۳]. مدل‌های تولید جریان رودخانه‌ای که می‌توانند سری جریان‌های رودخانه‌ای، با مشخصات آماری مشابه داده‌های تاریخی تولید نمایند بطوری که جریان‌های تولید شده بوسیله این مدل‌ها قابلیت ایجاد خشک سالی‌های شدیدتر از داده‌های تاریخی را دارد [۳].

مدل‌های مختلفی برای تولید داده‌ها وجود دارد، بطوری‌که محققان در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که مدل‌های ساده سالیانه از قبیل مدل AR(1) با استفاده از مدل‌های توزیع و پخش (Disaggregation Models) برای تولید جریان ماهیانه به منظور شبیه‌سازی مخزن دقیق هستند [۵]. در این مطالعه نیز به منظور تولید داده‌های مصنوعی سالیانه از مدل AR(1) و به منظور توزیع جریان‌های سالیانه به جریان‌های ماهیانه از مدل Valencia-Schaake استفاده شد [۹]. در این مطالعه ابتدا جریان‌های سالیانه توسط مدل پارامتریک تصادفی سالیانه AR(1) تولید شد. که رابطه ریاضی این مدل بصورت زیر می‌باشد:

$$q_{i+1} = \bar{q} + \rho(q_i - \bar{q}) + (s\sqrt{1-\rho^2})z_i \quad (6)$$

که در این رابطه:

q_i و q_{i+1} : جریان‌های سالیانه مربوط به i امین و $i+1$ امین سال است

\bar{q} : میانگین جریان‌های سالیانه داده‌های مشاهداتی

S : انحراف معیار جریان‌های سالیانه

ρ : ضریب همبستگی جریان‌های سالیانه با تأخیر یک (Lag-one Serial Correlation Coefficient)

Z_i : پارامتر مستقل تصادفی با توزیع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و واریانس واحد.

برای استفاده از این مدل لازم است که جریان‌های سالیانه دارای توزیع احتمالی نرمال باشند. برای داده‌هایی که دارای توزیعی غیر از توزیع نرمال باشند لازم است که به توزیع نرمال تبدیل شوند و از داده‌های تبدیل شده استفاده شود. رابطه ریاضی مدل توزیع مورد استفاده در این مطالعه (مدل وال-سیا شاک) به صورت زیر می‌باشد:

$$X_i = AZ_i + BV_i \quad (7)$$

X_i : یک بردار از جریان‌های ماهیانه تولید شده با میانگین صفر
 Z_i : یک بردار از جریان سالیانه تولید شده با توزیع نرمال و میانگین صفر

A, B : ماتریس ضرایب که از داده‌های مشاهداتی بدست می‌آید
 V_i : یک بردار از متغیرهای تصادفی نرمال استاندارد شده می‌باشد
 ترکیب مدل AR(1) و وال-سیا شاک در تولید داده‌های جریان، امکان حفظ مشخصات آماری جریان‌های رودخانه‌ای را در دو سطح سالیانه و ماهیانه فراهم می‌کند.

در این تحقیق ۳ سد مخزنی نازلو چای، شهرچای و باراندوزچای واقع در استان آذربایجان غربی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سیستم مخازن ذخیره مذکور بمنظور تأمین آب شرب و کشاورزی شهرستان ارومیه و اراضی دشت ارومیه طرح و در حال احداث می‌باشند که خلاصه اطلاعات هیدرولوژی این سایت‌ها در جدول (۱) آمده است.

۳-۴- بررسی داده‌های جریان

داده‌های جریان رودخانه‌های مورد مطالعه قبل از بکارگیری در تحلیل و شبیه‌سازی سیستم مخازن ذخیره به منظور اطمینان از دقت و صحت آنها از نظر همگنی، تصادفی بودن، ایستایی بودن و توزیع برتر داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

بمنظور بررسی همگنی داده‌ها از روش منحنی جرم مضاعف استفاده شده است. این روش نشان داد که داده‌های سایت‌های مورد مطالعه از همگنی برخوردار هستند. به منظور بررسی تصادفی بودن داده‌ها نیز از روش Run test استفاده شد. که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است به منظور بررسی پایداری داده‌ها از تست Spear man's rank order correlation که سازمان هواشناسی جهانی توصیه کرده است استفاده شد [۱۳].

نتایج محاسبه شده برای داده‌های هر ۳ سایت در جدول (۲) ارائه شده است. مدل‌های تولید جریان‌های تصادفی از قبیل مدل AR(1) و وال-سیا-شاک بر این فرض استوار هستند که داده‌های جریان دارای توزیع احتمالی نرمال هستند [۸]. به منظور تعیین توزیع مناسب برای داده‌های جریان سالیانه و ماهیانه توزیع‌های احتمالی نرمال، لاگ نرمال دو پارامتره، لاگ نرمال سه پارامتره، پیرسن تیپ سوم و لاگ پیرسن تیپ سوم مورد بررسی قرار گرفت. برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع احتمالی از تست (PPCC) Probability Plot Correlation Coefficient استفاده شد [۱۲]. نتایج نشان داد که برای هر سه سایت توزیع لاگ پیرسن تیپ سوم (LP(III)) به عنوان توزیع مناسب برای داده‌های ماهیانه و سالیانه می‌باشد.

۳-۵- ترکیب‌های مختلف تقاضا، قابلیت اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری در تحلیل مخزن

تحلیل مخزن برای ۱۰۰۰ سری داده‌های تولید شده جریان توسط مدل‌ها انجام گرفت، بطوری‌که طول دوره‌های آماری هر سری به اندازه طول سال‌های آماری داده‌های مشاهداتی (۴۹ سال) می‌باشد. و داده‌های هر سری به عنوان داده‌های ورودی برای تحلیل مخزن مورد استفاده قرار گرفت. هر سری برای ترکیب‌های مختلفی از نوع و مقدار تقاضا، قابلیت اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری مورد تحلیل قرار گرفت. گزینه‌های در نظر گرفته شده برای آنها به صورت زیر است:

- ۱- هفت گزینه برای تقاضا کل سالیانه به صورت ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪ مقدار متوسط جریان سالیانه (MAF).
- ۲- ده گزینه برای آسیب‌پذیری به صورت ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪،، ۵۰٪ برای شرایط شکست مخزن
- ۳- هشت گزینه برای قابلیت اعتماد زمانی به صورت ۱۰٪، ۹۹٪، ۹۸٪، ۹۷٪، ۹۶٪، ۹۵٪، ۹۳٪، ۹۰٪

۴- نوع تقاضا به دو صورت ثابت و متغیر در طول ماه‌های سال پس از تحلیل مخزن در هر سری مقدار شاخص سرعت برگشت‌پذیری سیستم برای مقدار و نوع تقاضا مشخص با قابلیت اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری معین، محاسبه گردید. سپس مقدار متوسط ۱۰۰۰ سری شاخص سرعت برگشت برای هر ترکیب از مقدار و نوع تقاضا و قابلیت اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری، برای تعیین شاخص پایداری سیستم مورد استفاده قرار گرفت.

۴- نتایج

شکل (۱) نمودار تغییرات شاخص پایداری را نسبت به آسیب‌پذیری در یک تقاضا با قابلیت اعتماد زمانی مختلف، نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات هیدرولوژیکی سایت‌ها

سایت	سال‌های آماری	میانگین (MCM)	مشخصات آماری داده‌های سالیانه جریان			بارندگی (mm)	تبخیر از سطح آزاد آب (mm)
			ضریب تغییرات	ضریب چولگی	ρ		
۱ نازلو	۴۹	۴۴۶.۴۶	۰.۴۱۱	۱.۱۰	۰.۳۲	۴۱۹.۰	۹۳۳.۰
۲ باراندوز	۴۹	۲۹۳.۹۱	۰.۳۰۲	۱.۱۳	۰.۲۸	۳۵۲.۵	۱۲۹۴.۰
۳ شهرچای	۴۹	۲۱۸.۱۷	۰.۳۰۳	۰.۸۸	۰.۰۹	۳۹۶.۸	۱۰۰۲.۴

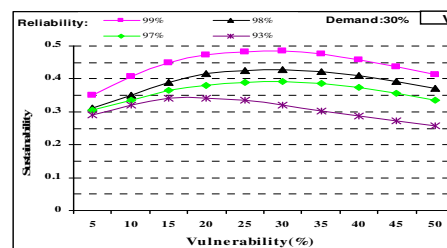
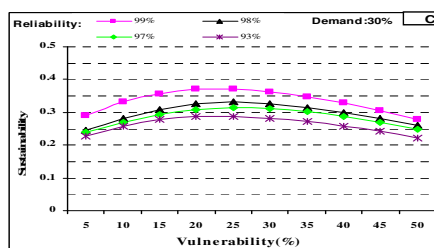
ρ : ضریب همبستگی جریان‌های سالیانه با تأخیر یک (Lag-one Serial Correlation Coefficient) ، MCM: میلیون متر مکعب

جدول ۲- نتایج تست ایستایی و تست تصادفی بودن داده‌های سالیانه جریان در سایت‌های مورد مطالعه

سایت	تست تصادفی بودن داده‌ها		تست ایستایی بودن داده‌ها	
	مقدار محاسبه شده	حد مجاز	مقدار محاسبه شده	حد مجاز
باراندوزچای	-۰.۷۳	±۱.۹۶	-۱.۶۹	±۲.۰۱
نازلوچای	-۱.۹۱	±۱.۹۶	-۱.۱۴	±۲.۰۱
شهرچای	-۰.۷۳	±۱.۹۶	-۰.۰۱	±۲.۰۱

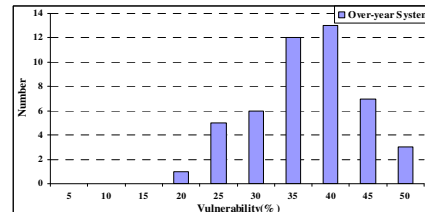
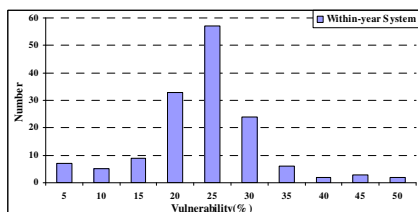
سالی ماکزیم تعداد حالت‌های که در آنها شاخص پایداری دارای بیشترین مقدار می‌باشد در آسیب‌پذیری ۲۵٪ اتفاق افتاده است ولی در سیستم‌های برون سالی این مقدار به طرف آسیب‌پذیری‌های بیشتر (۳۵٪ و ۴۰٪) شیفت پیدا کرده است. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که در سیستم‌های درون سالی دوره بحرانی بسیار کوچکتر از یک سیستم برون سالی می‌باشد. لذا اعمال محدودیت تا رسیدن به یک بهره‌برداری نرمال در سیستم درون سالی دوره کمتری (حدود چند ماه) را شامل می‌شود در صورتی که در سیستم‌های برون سالی اعمال محدودیت ممکن است برای چند سال لازم باشد. و اعمال آسیب‌پذیری بیشتر امکان بازگشت سیستم از مرحله شکست به مرحله بهره‌برداری نرمال را سریعتر فراهم می‌کند.

در این نمودار ملاحظه می‌شود که عموماً شاخص پایداری ابتدا با افزایش آسیب‌پذیری، افزایش پیدا می‌کند و سپس در یک مقدار از آسیب‌پذیری به حداکثر مقدار خود رسیده و در ادامه با افزایش آسیب‌پذیری، این شاخص کاهش پیدا می‌کند. بررسی تغییرات شاخص پایداری نسبت به شاخص آسیب‌پذیری در تقاضاهای مختلف نشان می‌دهد که شاخص پایداری با افزایش تقاضا، کاهش پیدا می‌کند همچنین شاخص پایداری در تقاضاهای کمتر، حساسیت بیشتری نسبت به آسیب‌پذیری نشان می‌دهد، بطوری که این حساسیت در تقاضاهای بالاتر، کاهش پیدا می‌کند. شکل (۲) برای آسیب‌پذیری‌های مختلف، تعداد حالت‌های که در آنها شاخص پایداری بیشترین مقدرا را داشته است برای سیستم‌های درون سالی و برون سالی نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در سیستم‌های درون



شکل ۱- نمودار تغییرات شاخص پایداری نسبت به شاخص آسیب‌پذیری در یک تقاضا مشخص با قابلیت اعتماد زمانی مختلف، برای

تقاضا متغیر (V) و تقاضا ثابت (C)، سایت: نازلوچای



شکل ۲- نمایش هیستوگرامی تعداد حالت‌های که در هر مقدار از شاخص آسیب‌پذیری، شاخص پایداری در سیستم‌های درون سالی با برون سالی دارای بیشترین مقدار بوده است

- [2] Locks, D. P. and E. Van Beek., " water Resource systems planning and Management- an introduction to methods, models and applications", UNESCO/ Deft Hydraulics, 2005.
- [3] Loucks, D. P.; "Quantifying trends in system sustainability", Hydrology Sci. J., 42(4), 513-530, 1997.
- [4] McMahon T.A., Adebayo J. Adeloje, Senlin Zhou. " Understanding performance measures of reservoirs", Journal of Hydrology 324, 359-382, 2006.
- [5] Montaseri, M. "Stochastic investigation of the planning characteristics of within-year and over-year reservoir systems", Heriot-watt University, Thesis submitted for the degree of doctor of philosophy.; 1999.
- [6] Montaseri, M.; Adeloje, A. J. "Critical period of reservoir systems for planning purposes", Journal of Hydrology, 224, 115-136, 1999.
- [7] Moy, W. S., Cohon, J. L., and Reville, C. S. "A programming model for analysis of reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir", Water Resour. Res., 22(4), 489-498, 1986.
- [8] Valencia R. D., and Schaake, JR. J., "Disaggregation processes in stochastic hydrology" Water Resour. Res., 9(3), 580-585, 1973.
- [9] Salas, J.D. "Analysis and Modeling of Hydrologic Time series", in Handbook of Hydrology, Edited by D.R.Maidment, McGraw-Hill book Co., New york, 1993.
- [10] Vogel, R. M., Lane, M., Ravidiran, R. S. and Kirshen, P. "Storage reservoir behaviour in the united states", J. Water Resour. Plann. Manage., ASCE, 119(3), 353-366, 1999.
- [11] Vogel, R.M., Fennessey, N.M., and Bolognese, R.A. "Storage reliability-resilience-yield relations for northeastern United States". J. Water Resour. Plann. Manage., ASCE, 121(5), 365-374, 1995.
- [12] Vogel, R. M., " The probability plot correlation coefficient test for Normal, Lognormal, and Gumbel distribution hypotheses ", Water Resour. Res., 22(4), 587-590, 1986.
- [13] World Meteorological Organization (WMO) "Analyzing long time series of hydrological data with respect to climate variability", WCAP-3, WMO/Td-no. 224, 1988.
- [14] Zongxue, X., Jinno, K., Kawamura, A., Takesaki, S., and Ito, K. "Performance risk analysis for Fukuoka water supply system", Water Resour. Manage., 12, 13-30, 1996.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از سوالاتی که برای طراحان سیستم‌های مخازن ذخیره وجود دارد، این موضوع می باشد که مقدار آسیب‌پذیری در دوره‌های شکست چقدر باشد تا اینکه سیستم عملکرد بهینه داشته باشد، در این مقاله سعی شده است که به این سوال پاسخ داده شود، نتایج حاصل از شبیه سازی سایت‌های مطرح شده در این مقاله نشان دادند:

۱- در اکثر موارد زمانی که نوع تقاضا متغیر است، سیستم‌های مخازن ذخیره در آسیب‌پذیری ۲۵٪ دارای عملکرد بهینه می‌باشند. بنابراین در مدیریت مخازن در دوره‌های کم آبی برای زمانی که نوع تقاضا متغیر است اعمال محدودیت ۲۵٪ در رهاسازی آب سبب می‌شود که سیستم دچار کمبود شدید در طول دوره بهره‌برداری نشود و سیستم با سرعت بالاتری به حالت بهره‌برداری نرمال برگردد.

۲- بررسی عملکرد سیستم‌های مخازن در حالتی که نوع تقاضا ثابت است نشان می‌دهد که سیستم زمانی که اعمال محدودیت در رهاسازی آب به اندازه ۳۰٪ باشد سیستم عملکرد بهتری نشان می‌دهد

۳- برای سیستم‌های ذخیره با دوره بحرانی کم (کمتر از ۱۲ ماه) که اکثراً سیستم‌های با حجم مفید نسبتاً کوچک هستند زمانی که میزان آسیب‌پذیری ۲۵٪ باشد سیستم عملکرد بهتری نشان می‌دهد.

۴- برای سیستم‌های برون سالی که دارای دوره بحرانی طولانی مدت هستند و حجم مفید نسبتاً بزرگی دارند زمانی که میزان آسیب‌پذیری ۳۵٪ الی ۴۰٪ باشد سیستم عملکرد بهتری نشان می‌دهد.

در پایان پیشنهاد می‌شود که به منظور رسیدن به یک معیار طراحی در مورد مقدار شاخص آسیب‌پذیری در شرایط اقلیمی و رژیم‌های مختلف رودخانه‌ای که در آن سیستم مخازن ذخیره دارای عملکرد بهینه باشد، بررسی انجام شده در این مقاله برای سیستم‌های مخازن ذخیره موجود در کشور انجام گیرد، تا با جمع‌بندی نتایج حاصل از آنها بتواند یک معیار مناسب برای طراحی حجم مفید مخازن ذخیره، در مورد مقدار شاخص آسیب‌پذیری برای سیستم‌های مخازن ذخیره‌ای کشور ارائه کرد.

مراجع

- [1] Hashimoto, T.; Stedinger, J. R.; Loucks, D. P. "Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation", Water Resour. Res., 18(1), 14-20, 1982.