تعيين ميزان بهينه تأمين آب براساس شاخصهاي عملكرد مخزن سد
مورد مطالعاتي : سدهاي كرخه

بهيه جعفري بي‌بالان[۱] و مجيد منتصري[۲]

۱- كارشناس مؤسسه تحقيقات آب، Bahiehj@yahoo.com
۲- استاديار دانشكده كشاورزي ـ دانشگاه ارومیه، Montaseri@Hotmail.com

چكيده

رودخانه‌ها يكي از منابع اصلي تأمين آب جهت مصارف مختلف شهري، كشاورزي، صنعتي و تجاري و ... مي‌باشند. از آنجايي كه الگوي زماني جريان رودخانه همواره بر الگوي زماني مصارف منطبق نيست لازم است كه به نحوي جريان را در مواقع پر آبي كنترل نمود و از آن براي موقع كم‌آبي استفاده نمود. سيستمهاي مخازن سدها براي تنظيم و كنترل دبي رودخانه مورد استفاده قرار مي‌گيرند تا آب مورد نياز در زمان و مكان را در دسترس قرار دهند. لذا طراحي مخزن از نظر حجم ذخيره مورد نياز از اهميت ويژه‌اي برخوردار مي‌باشد. در طراحيهاي فعلي ميزان تأمين ثابت در نظر گرفته مي‌شود كه اين امر انعطاف عملكرد مخزن را كاهش مي‌دهد. لذا مي‌توان جهت طراحي ميزان تأمين مختلفي را اعمال نمود. پس از محاسبه حجم و شاخصهاي عملكرد مخزن نظير ايمني (Reliability)، انعطاف پذيري (Resiliency) و آسيب پذيري (Vulnerability)، ميزان تأمين بهينه را مشخص نمود. بديهي است در چنين حالتي از منابع آبي موجود حداكثر استفاده صورت خواهد گرفت. در اين مقاله سه سد به عنوان نمونه مورد نظر قرار گرفته است كه در مورد هر يك ابتدا ۱۰۰۰ دوره جريان مصنوعي توليد شده و سپس اين مقادير در طراحي مخزن براي ۸ سطح ايمني (۱۰۰% تا ۹۰%) و ۷ سطح تأمين از ۸۰% تا ۲۰% متوسط آورد رودخانه)، مورد استفاده قرار گرفته است و سپس با استفاده از روابط موجود، هر يك از شاخصهاي عملكرد محاسبه شده و با استفاده از رسم نمودارهاي مورد نياز، ميزان تأمين بهينه مشخص شده است.

واژه‌هاي كليدي: مخزن، ايمني، انعطاف پذيري، آسيب پذيري، ميزان تأمين.

۱- مقدمه

وقتي كه كل آب مورد نياز در مقايسه با جريان طبيعي رودخانه كمتر باشد، نيازها را مي توان از جريان طبيعي رودخانه تأمين نمود. همچنين وقتي كه نياز آبي بيش از جريان طبيعي رودخانه باشد، مقدار كمبود را مي‌توان از ذخيره نمودن آب سطحي تأمين نمود. بنابراين مخازن سدها اغلب اوقات المانهاي

مهمي در سيستمهاي منابع آب به شمار مي‌روند. اين مخازن براي توزيع مجدد مكاني و زماني كمي و كيفي آب مورد استفاده قرار مي‌گيرند و نيز توانايي توليد انرژي برق را افزايش مي‌دهند. اگر يك مخزن براي موقعيت خاصي مورد نياز باشد لازم است كه طراح بداند براي تأمين نيازهاي مشخص شده، چه حجمي از ذخيره مورد نياز است يا اينكه تأمين نياز با چه سطح ايمني قابل قبول مي‌باشد(۸) سؤالات متعدد ديگري را نيز مي‌توان در اين زمينه مطرح نمود، اما نياز اصلي ما اين است كه رابطه بين مشخصات جريان ورودي به مخزن، ظرفيت مخزن، ميزان رهاسازي كنترل شده از مخزن و ايمني عملكرد مخزن را پيدا نماييم.

در سال ۱۹۸۲ شاخص هاي عملكرد مخزن توسط Hashimoto و همكارانش مطرح گرديد كه پارامترهاي خوبي جهت ارزيابي عملكرد مخزن به شمار مي‌روند. اين شاخصها تصميم‌گيري بهتري در مورد حجم مخازن، پيكربندي سيستم و سياستهاي بهره‌برداري به دست مي‌دهند(۱). يكي از اين موارد مهم را مي‌توان به صورت تعيين اپتيمم تأمين از سد عنوان كرد كه در اين مقاله به بررسي آن مي‌پردازيم.

۲- ضوابط كارآيي سيستم مخزني

يكي از مسائل مهم در طراحي سيستم مخازن، پارامتري نمودن كارآيي و عملكرد مخزن در محدوده وسيعي از نيازهاي ممكن و شرايط هيدرولوژيكي مي باشد كه در عملكرد آينده سيستم امكان وقوع آن وجود دارد. اين كارآيي سيستمهاي مخازن اغلب اوقات توسط ضوابط كارآيي، ارزيابي و اندازه‌گيري مي‌شوند كه براساس شرايط خاصي از عملكرد نادرست مخزن در طول پريودهاي خشكي بنا شده است. در اغلب مواقع، عملكرد نادرست سيستم، شكست تعريف مي‌گردد (Failure) كه همان ناتواني سيستم مخزن جهت تأمين نياز در طول يك دوره مشخص مي باشد(۱).

Hashimoto و همكارانش در سال ۱۹۸۲ براي اولين بار اين مقوله مهم را در عملكرد سيستمهاي مخزن مطرح نمودند. ايشان سه پارامتر را براي اندازه‌گيري تأثيرات عملكرد مخزن ارائه دادند كه عبارتند از : ايمني، آسيب پذيري و انعطاف پذيري. در سال ۱۹۹۷، Loucks و همكارانش شاخص پايداري (Sustainability) و نيز Zongxue و همكارانش در سال ۱۹۹۸، شاخص خشكسالي (Drought Index) را به عنوان شاخصهاي ديگر مطرح نمودند. در اينجا از سه شاخص عنوان شده توسط Hashimoto استفاده كرده‌ايم و لذا در بخشهاي بعدي هر يك را توضيح مي‌دهيم.

۲-۱- ايمني (Reliability)

ايمني مقوله‌اي است كه به طور وسيع در ارزيابي رفتار سيستمهاي منابع آب با مخازن، در طول دوره بهره‌برداري، مورد استفاده قرار مي‌گيرد. گاهي اوقات آن را مخالف ريسك مطرح مي‌كنند (ايمني-۱= ريسك). اين پارامتر(ايمني) گاهي اوقات امكان عملكرد بدون شكست سيستم در طول يك پريود طراحي N ساله تعريف مي‌گردد. به عبارت ديگر ميزان مواقعي را كه سيستم مخزن قادر به تأمين نياز مي‌باشد را نشان مي‌دهد(1,6) نوع ديگر ايمني، ايمني حجمي مي‌باشد كه توسط Fiering در سال ۱۹۶۷ عنوان گرديد و آن نسبت حجم آب تأمين شده به كل نياز آبي براي دوره مطالعاتي مورد نظر مي‌باشد. معادلات ۲ و ۱ به ترتيب ايمني زماني و حجمي را نشان مي‌دهند:

$$\delta = \left(1 - \frac{f}{T}\right) \qquad (۱)$$

$$\nu = 1 - \frac{\left(\sum_{t \in f} R_t^{*} - \sum_{t \in f} R_t\right)}{\sum_{t \in T} R_t^{*}} \qquad (۲)$$

كه :

δ: ايمني زماني($۰ \le \delta \le ۱$)

ν: ايمني حجمي ($۰ \le \nu \le ۱$)

f: كل تعداد پريود شكست

T: كل تعداد پريودهاي آماري

R_t: ميزان رهاسازي از مخزن در t اُمين پريود خشكسالي

R_t^{*}: ميزان رهاسازي مورد نظر در t اُمين پريود

ايمني زماني پارامتري ساده از نظر محاسبه و استفاده مي‌باشد، اما نمي‌تواند ايده‌اي در مورد مقدار كمبود آب در طول دوره خشكي يا توانايي مخزن جهت جبران شكست را به دست دهد. پس لازم است كه شاخصهاي ديگري تعريف گردد كه اين نواقص را جبران نمايد (۱).

۲-۲- انعطاف پذيري (Resiliency)

اغلب اوقات لازم است بدانيم كه مخزن با چه سرعتي از حالت شكست خارج مي‌گردد. انعطاف پذيري به عنوان نشاندهنده سرعت پوشش شكست مورد استفاده قرار مي‌گيرد. همانند ايمني، تعريفهاي مختلفي براي انعطاف پذيري نيز وجود دارد، اما آنچه كه غالباً مورد استفاده قرار مي‌گيرد تعريف انجام

شده توسط Hashimoto و همكارانش مي‌باشد. آنها انعطاف پذيري را به صورت احتمال پوشش شكست اتفاق افتاده توسط مخزن تعريف نمودند، يعني :

$$\lambda = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_s}\right)} \qquad (۳)$$

λ: انعطاف‌پذيري($0 < \lambda \leq 1$)

f_s: تعداد پريودهاي شكست متوالي

f: تعداد كل پريودهاي شكست

طبق فرمول بالا زماني كه انعطاف پذيري يك سيستم برابر ۱ باشد يعني فاصله زماني رسيدن مخزن از حالت كمبود به حال نرمال بسيار كوتاه مي‌باشد.

۲-۳- آسيب پذيري (Vulnerability)

طبق تعريف Hashimoto و همكارانش، آسيب‌پذيري مقدار كمبود آب را اندازه‌گيري مي‌كند و مي‌تواند به صورت متوسط ماكزيمم كمبودهاي اتفاق افتاده در هر پريود شكست متوالي تعريف گردد، يعني :

$$\eta' = \frac{\sum_{k=1}^{f_s} \max.(sh_k)}{f_s} \qquad (۴)$$

η': آسيب‌پذيري

$\max.(sh_k)$: ماكزيمم كمبود در طول k اُمين پريود شكست متوالي

از طرف ديگر Zongxue و همكارانش در سال ۱۹۹۵ تعريف ديگري از آسيب‌پذيري را ارائه نمودند. طبق تعريف آنها آسيب‌پذيري متوسط كمبود اتفاق افتاده در طول پريودهاي شكست مشابه مي‌باشد. پس :

$$\nu = \left(1 - \frac{\eta \sum_{t \in f} R_t^*}{\sum_{t \in T} R_t^*}\right) \qquad (۵)$$

كليه پارامترهاي اين فرمول قبلاً توضيح داده شده‌است. حال پس از تشريح پارامترهاي مهم، متدولوژي انجام كار مورد بحث قرار مي‌گيرد.

۳- روش‌شناسي انجام كار

۳-۱- آناليز ذخيره- آب تنظيمي

آناليز ذخيره – آب تنظيمي (Storage- Yield) مخزن با استفاده از روش اصلاح شده Sequent Peak Algorithm (SPA) انجام شده است. اين روش در اثر اصلاحاتي كه بر روي آن انجام شده است، مي‌تواند مقدار ذخيره مخزن را با توجه به مقادير مختلف ايمني طراحي نمايد (سطوح مختلف ايمني)، همچنين قادر است كه تغييرات سطح مخزن نظير تلفات تبخير و بارش را نيز در مدل وارد نموده ميزان آسيب‌پذيري، كه در واقع توانايي مشخص كردن ميزان كمبود قابل قبول در طول پريود شكست مي‌باشد، را مي توان در روش اصلاح شده SPA وارد نمود. به همين دلايل از روش SPA جهت انجام آناليز ذخيره استفاده شده است.

۳-۲- اطلاعات مربوط به حوزه‌هاي منتخب و داده‌هاي طولاني مدت آنها

چون داده‌هاي ماهيانه قابليت تطبيق هم با رفتار درون سالي و هم برون سالي را دارند، لذا براي انجام كار، سري زماني ماهيانه مشاهداتي جريان مورد نياز است. در اين مقاله داده‌هاي مربوط به سه سايت كرخه، كارون ۴ و سيمينه‌رود مورد آناليز قرار گرفته‌اند. سدهاي كرخه و سيمينه رود جزء سدهاي چند منظوره بوده ولي سد كارون ۴ جهت توليد انرژي برق مورد استفاده قرار خواهد گرفت. اين سه حوزه داراي سه نوع آب و هوي متفاوت مي‌باشند. نوع اقليم هر يك از آنها به ترتيب عبارتند از : كرخه؛ گرم و بياباني، كارون ۴؛ نيمه مرطوب معتدل و سيمينه رود؛ سرد و نيمه خشك. علاوه بر دوره آماري ماهانه دبي، ميزان تبخير از سطح آزاد آب نيز براي هر سه سايت مشخص مي‌باشد. Fennessey (1995) دريافت كه استفاده از ميانگين ماهانه تبخير از سطح آزاد در آناليز ذخيره ـآب تنظيمي مخازن، نتايج مشابهي را نسبت به زماني كه كل دوره آماري تبخير مورد استفاده قرار مي‌گيرد، به دست مي‌دهد. لذا در اينجا از ميانگين ماهانه دراز مدت تبخير استفاده شده است. چون از توليد آمار مصنوعي دبي استفاده شده است، لذا مختصري در مورد آن توضيح داده مي‌شود.

۳-۳- توضيح مختصري در مورد توليد داده‌هاي مصنوعي

به جاي آنكه جريانهاي ماهيانه را مستقيماً توليد نماييم، ابتدا جريانهاي سالانه را توليد كرده و سپس آنها را با استفاده از مدل Valencia- Schaake به داده‌هاي ماهيانه تجزيه نموده‌ايم(۱۰). مزيت روش تجزيه‌اي نسبت به مدلهاي با پارامترهاي فصلي متغير مثل Thomas- Fiering در اين است كه اين مدل مي‌تواند آماره‌هاي جريان را هم در سطح ساليانه و هم فصلي (يعني ماهانه) حفظ نمايد كه اين مزيت هم در مخازن درون سالي و هم برون سالي حائز اهميت مي‌باشد. پارامترهاي مدل توليد داده با استفاده از داده‌هاي تاريخي موجود برآورد گرديده است كه در برآورد آنها از پارامتر عدم قطعيت

(uncertainty) صرفنظر شده است. جريانهاي سالياته با استفاده از مدل اتوگرسيو مرتبه ۱ (AR-1) توليد شده است:

$$X_{i+1} = \overline{X} + \rho_1(X_i - \overline{X}) + S\sqrt{1-\rho_1^2}e_i \qquad (۶)$$

كه در آن X_{i+1} و X_i به ترتيب جريانهاي سالياته پريود i+1 و i مي‌باشند. $\overline{X}$ ، ميانگين جريانهاي سالياته، S انحراف معيار آنها، ρ_1 همبستگي سريالي با فاصله ۱ و e_i متغير تصادفي نرمال استاندارد مي‌باشد. از آنجايي كه داده‌هاي مورد استفاده برا ي تعيين پارامترهاي مدل بايد نرمال باشند، لذا مناسبترين توزيع تجربي داده‌ها را تشخيص داده و براساس آن داده‌ها را نرمال مي‌كنيم. طبق نتايج به دست آمده از تستهاي مختلف، مناسبترين توزيع به دست آمده توزيع لوگ نرمال سه پارامتره مي‌باشد كه پارامترهاي اين توزيع با استفاده از روشي كه در كتاب Loucks و همكارانش[۱] آمده است، محاسبه شده‌اند. با توجه به طول دوره آماري هر يك از سايتهاي مورد نظر، ۱۰۰۰ دوره جريان مصنوعي سالياته توليد شده و سپس با استفاده از مدل تجزيه‌اي Valencia- Schaake آنها را به داده‌هاي ماهيانه تجزيه نموده‌ايم. سپس هر يك از اين دوره‌ها را وارد مدل SPA نموده و ظرفيت مخزن را با توجه به نياز در سطوح مختلف ايمني محاسبه كرده‌ايم. نتايج به دست آمده به صورت زير مي‌باشد:

۴- نتايج

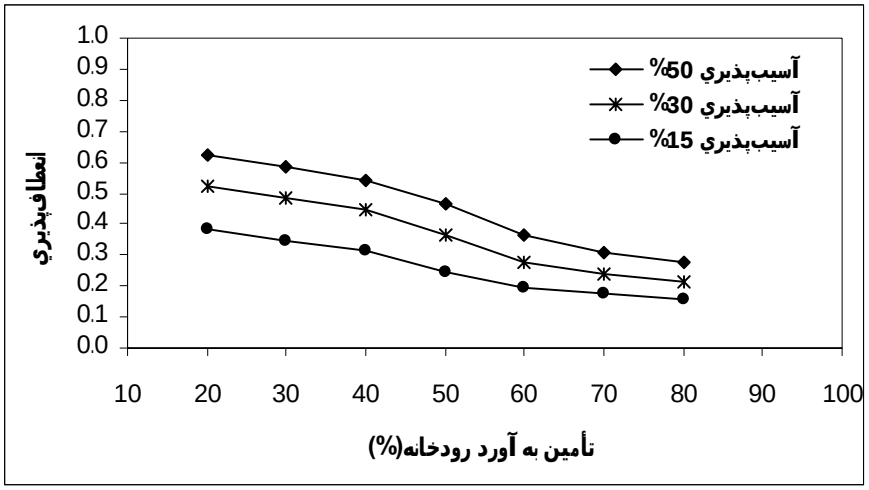
۴-۱- تأثير آسيب پذيري بر انعطاف پذيري مخزن براي نيازهاي مختلف در شكل (۱) نشان داده شده است. ايمني در نظر گرفته شده در اين حالت ۹۸ درصد مي‌باشد. همانطور كه در شكل نيز ديده مي‌شود، سيستم مخزن در هر مقداري از تأمين، به ازاي آسيب پذيري بيشتر، انعطاف‌پذيرتر مي‌باشد. از طرفي با افزايش تأمين (به صورت درصدي از آورد رودخانه) مقدار انعطاف پذيري كاهش مي‌يابد. در نقطه‌اي كه شيب منحني به يكباره تغيير مي‌كند، سيستم مخزن از درون سالي به برون سالي تغيير مي‌يابد. اين بدان علت است كه با افزايش آسيب‌پذيري در واقع مقدار بيشتري از كمبود را قابل قبول در نظر گرفته‌ايم، يعني در مواقع كم‌آبي ميتوانيم كمبود بيشتري را اعمال نماييم (بجاي تأمين ۱۰۰% نياز). لذا مخزن در اينحالت (يعني با افزايش آسيب‌پذيري) راحت تر ميتواند شكست مورد نظر را پوشش دهد و به حالت اوليه خود برگردد. شيب منحني نيز در واقع نقطه بحراني را به ما نشان مي دهد كه بعد از آن ميزان دفعات شكست افزايش مي يابد.

۴-۲- در جدول (۱) مقدار تبخير نسبت به حجم ذخيره به صورت درصدي براي آسيب پذيري مختلف و ايمني ۹۸ درصد ارائه شده است. همانطور كه مشخص است با افزايش آسيب پذيري، ميزان تبخير

[۱]- صفحه ۱۱۴

افزايش مي‌يابد. از طرفي اين مقدار با افزايش تأمين ابتدا كم و سپس افزايش مي‌يابد. در جايي كه ميزان تبخير حداقل است ميزان نياز اپتيمم خواهد بود. چون هرچه ميزان تبخير نسبت به حجم مخزن كمتر باشد، ميزان تلفات آب كمتر خواهد بودو لذا از منابع آبي موجود حداكثر اسفاده بعمل خواهد آمد.

۴-۳- در شكل (۲) تغييرات انعطاف پذيري در مقابل نياز به ازاي ايمني‌هاي مختلف نشان داده شده است. همانطور كه مشاهده مي‌شود با افزايش نياز به ازاي ايمني‌هاي مختلف، ميزان انعطاف‌پذيري كاهش مي يابد. اين امر به خوبي در شكل قابل مشاهده است و در جاييكه شيب منحني تغيير مي‌كند در واقع نشان دهنده تأمين بهينه مي‌باشد.



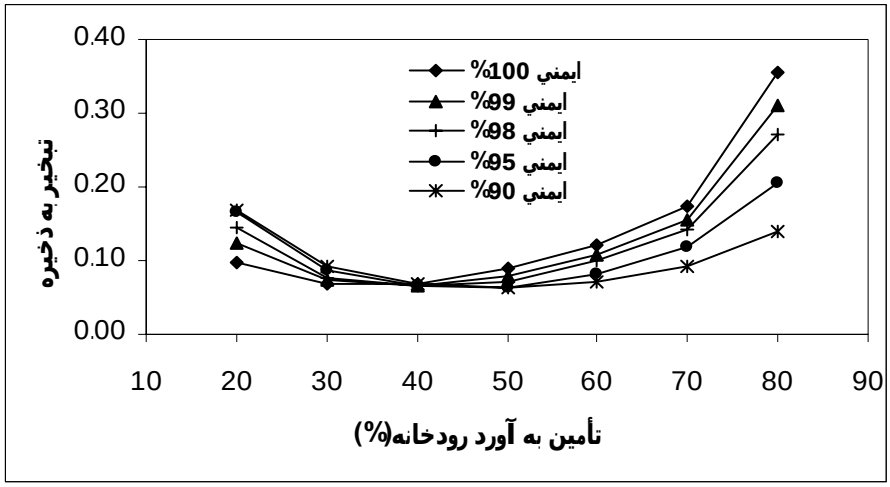
شكل(۱): تغييرات انعطاف‌پذيري نسبت به تأمين براي آسيب‌پذيري‌هاي مختلف درايمني ۹۸%

۴-۴- با توجه به شكل (۳) كه تغييرات نسبت تبخير به ذخيره را در مقابل تأمين نشان مي‌دهد، به خوبي مشخص است كه در رفتار درون سالي مخزن، هر چه ايمني سيستم كمتر باشد ميزان تبخير نسبت به حجم ذخيره بيشتر است و اين امر در رفتار برون سالي مخزن بالعكس مي‌گردد. در نقطه‌اي از نمودار ميزان تبخير نسبت به ذخيره كمترين مقدار خود را به ازاي همه ايمني‌هاي در نظر گرفته شده دارا مي‌باشد كه نشان دهنده تأمين بهينه براي طراحي مخزن خواهد بود.

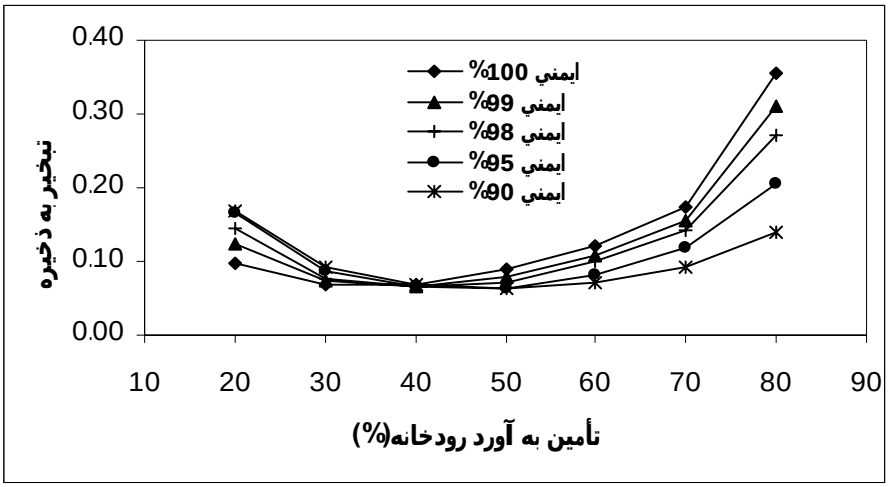
۵-۵- بطور كلي استفاده از شاخصهاي عملكرد مخزن ديد مناسبي راجع به رفتار درون سالي و برون سالي مخزن بدست مي‌دهد كه در بهره برداري از مخازن ساخته شده و نيز طراحي مناسبتر پروژه هاي آينده، كمك مؤثري مي‌نمايد.

جدول ۱- تغییرات تبخیر به ذخیره به ازاي آسیب‌پذیري مختلف و ایمني ۹۸%

نام سایت (کرخه)	پارامتر	تأمین به آورد رودخانه (%)						
		۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
آسیب‌پذیري ۱۵%	ذخیره (م‌م)	۱۸۶,۲	۴۳۶,۲	۷۷۷,۴	۱۳۰۹,۸	۲۲۶۳,۷	۳۹۲۶,۴	۷۴۴۵,۵
	تبخیر (م‌م)	۲۲,۲	۳۲,۵	۵۲,۱	۱۰۷,۲	۲۵۰,۷	۶۱۶,۱	۲۳۰۸,۴
	تبخیر به ذخیره (%)	۱۲,۹	۷,۴	۶,۷	۸,۱	۱۱,۱	۱۵,۷	۳۱,۰
آسیب‌پذیري ۳۰%	ذخیره (م‌م)	۱۳۸,۲	۳۸۰,۷	۶۹۶,۰	۱۱۵۰,۱	۱۹۷۴,۵	۳۴۸۱,۳	۶۶۶۲,۴
	تبخیر (م‌م)	۱۹,۹	۲۹,۴	۴۵,۰	۸۲,۲	۱۹۶,۰	۴۹۶,۹	۱۸۰۳,۰
	تبخیر به ذخیره (%)	۱۴,۴	۷,۷	۶,۵	۷,۱	۹,۹	۱۴,۳	۲۷,۱
آسیب‌پذیري ۵۰%	ذخیره (م‌م)	۱۱۳,۴	۳۵۷,۹	۶۵۹,۱	۱۰۶۰,۲	۱۷۶۳,۴	۳۱۱۱,۱	۵۹۳۹,۱
	تبخیر (م‌م)	۱۸,۴	۲۸,۱	۴۰,۵	۶۸,۲	۱۵۳,۳	۳۹۲,۰	۱۴۱۰,۶
	تبخیر به ذخیره (%)	۱۶,۲	۷,۹	۶,۳	۶,۴	۸,۷	۱۲,۶	۲۳,۷



شکل (۲): تغییرات انعطاف‌پذیري نسبت به تأمین براي ایمني‌هاي مختلف درآسیب‌پذیري ۳۰%



شکل (۳): تغییرات تبخیر به ذخیره نسبت به تأمین برای ایمنی‌های مختلف درآسیب‌پذیری ۳۰%

۵- منابع

1- Hashimoto, T., Stedinger, J.R.and Loucks, D.P., Reliability, Resiliency, and Vulnerability criteria for water resources system performance evaluation, Water resourse Research, 18(1), 14-20, 1982
2- Karamouz, M., Szidarovszky, F., Zahraie, B., Water Resources Systems Analysis, Lewis Publishers, 2003.
3- Loucks, D.P., Stedinger, J.R. and Haith, D.A., Water Resources Systems Planning and Analysis, Prentice- Hall, 1982.
4-Loucks, D. P., Quantifying trends in System Sustainability, Hydrological Sciences J.,42(4), 513-530, 1997 .
5-Mays, L. W. and Tung, Y., Hydro systems engineering and management, MCGraw- Hill Book Co., 1992.
6- MCMahon, T. A. and Mein, R.G., River and Reservoir yield, Water Resources Publications, 1986.
7- Montaseri, M., Adeloye, A. J., Critical period of reservoir, system for planning purposes, J.Hydrology, 224(3-4), 115-136, 1999.
8- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L., Applied modeling of Hydrologic time series, Water resources publication, 1985.
9- Simonovie, S. P., Reservoir Systems Analysis: Closing Gap Between theory and Practice, 2- J. Water resources Planning and Management, ASCE,118(3),262-280, 1992.
10- Valencia, D. and Schaake, J. C., Disaggregation Processes in stochastic hydrology, Water Resource Research, 9(3), 580-585, 1973.