تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴ (ص ۴۳۰-۴۲۳)

اتصال سیستم پایش خشک‌سالی و اقدامات مدیریتی در بهره‌برداری از سد زرینه‌رود (مطالعهٔ موردی: زیرحوضهٔ زرینه‌رود)

مهدیه فرشادمهر[۱]، مه‌نوش مقدسی[۲]*، مهدی مفتاح هلقی[۳]
کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. استادیار دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه اراک
۳. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۱۷ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۳۱)

چکیده

سیستم‌های پایش و تعریف اقدامات تسکین از ارکان اصلی هر طرح مدیریت خشک‌سالی است که ارتباط مناسب بین این دو می‌تواند یک برنامهٔ مدیریتی را در اجرای به‌موقع و مؤثر عملیات تسکین یاری کند. بنابراین، در این تحقیق تلاش شد، جهت مدیریت حوضهٔ زرینه‌رود در شرایط کم‌آبی، رودیکرد احتمالاتی مبتنی بر ریسک و کاهش تقاضا به ترتیب به منزلهٔ سیستم پایش و اقدام تسکین اعمال شود. در این رودیکرد آستانه‌های هشدار خشک‌سالی بر اساس حجم ذخیرهٔ مخزن و به صورت احتمالاتی تعریف می‌شود. بدین منظور، شبیه‌سازی‌های کوتاه‌مدت با استفاده از سری زمانی ۱۳۵۵ـ ۱۳۸۵ در نرم‌افزار Weap انجام و چهار سناریوی (نرمال، پیش‌هشدار، هشدار، اضطراری) مرتبط با سطوح مختلف شدت خشک‌سالی تعریف شد. سپس، مقادیر آستانه با در نظر گرفتن احتمال وجود کمبودی معین از تقاضا در یک افق زمانی مشخص شناسایی و ضرایب کاهش تقاضا با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برآورد شد. ضرایب کاهش برای نیاز زراعت و باغ و نیاز زیست‌محیطی دریاچهٔ ارومیه به ترتیب در سطح پیش‌هشدار برابر ۳۱/۳۰ و ۷/۳۰ و ۴۷/۸ درصد، در سطح هشدار برابر ۳۳/۶۰ و ۹/۲ و ۵۰/۶ درصد، و در سطح اضطراری برابر ۳۵/۵ و ۱۰/۱۱ و ۵۲/۵ درصد برآورد شد. نتایج نشان داد اعمال ضرایب کاهش تقاضا در کاهش شاخص کمبود در دورهٔ خشک‌سالی ۱۳۷۷ـ ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ـ ۱۳۸۰ تأثیری قابل توجه داشته و باعث جلوگیری تخلیهٔ کامل مخزن طی این دوره شده است.

کلیدواژگان: الگوریتم ژنتیک، سد زرینه‌رود، سیستم احتمالاتی، مدیریت خشک‌سالی، هشدار خشک‌سالی.

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای است که به طور مکرر کشور ایران را تهدید می‌کند و طی سال‌های اخیر نیز روندی صعودی در وقوع و خسارات بعد از آن مشاهده شده است. این موضوع ضرورت مدیریت کارآمد منابع آب و آمادگی مواجهه با شرایط پیچیده‌تر را یادآور می‌کند.

استفاده از سیستم‌های پایش می‌تواند برای اعلام هشدارهای خشک‌سالی تا حد زیادی در مدیریت منابع آب مفید واقع شود. شاخص‌های جهانی متنوعی برای پایش و هشدار سریع خشک‌سالی توسعه یافته است. ولی برای مدیریت مناطقی که به سد و ذخایر سطحی وابسته‌اند وارد کردن اطلاعات تراز یا حجم موجودی آب سد در اعلام هشدارهای لازم و تنظیم مدیریت سد بسیار مؤثرتر است (Gholamzade *et al.*, 2011).

در این زمینه می‌توان به تحقیق Westphal *et al.*(2007) اشاره کرد. ایشان، به کمک شبیه‌سازی مخزن در مقیاس روزانه در سیستم منابع آب Springfield در غرب ایالت ماساچوست، احتمال شکست مخزن را، که همان رسیدن به حجم‌های بحرانی است، به دست آوردند. در این روش سطوح هشدار خشک‌سالی در چهار سطح نرمال، ملایم، متوسط، و شدید طبقه‌بندی شدند. هر سطح بازه‌ای از احتمالات شکست سیستم را در بر دارد. در تحقیقی دیگر Zarezadeh mehrizi and Morid (2010)، با استفاده از روش Westphal *et al.* (2007)، طبقات مختلف خشک‌سالی را در سیستم منابع آب سد زاینده‌رود مشخص کردند.

یک برنامهٔ مدیریت خشک‌سالی به تعیین شاخص‌هایی برای تشخیص شرایط خشک‌سالی و محرک‌هایی برای فعال کردن اقدامات مدیریتی نیاز دارد (Garrote *et al.*, 2007). در این خصوص، Huang and Chou (2008) سیستم زودهنگام هشدار خشک‌سالی را، که برای بهره‌برداری از مخزن در سال

* نویسندهٔ مسئول: mah_moghaddasi@hotmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

2004 ارائه شده بود، برای شرایط ریسک توسعه دادند. آن‌ها، با ایجاد یک ماتریس خطا و ارزیابی دقت مدلشان، یک شاخص ریسک برای وارد کردن ریسک‌پذیری در سیستم تعریف کردند. همچنین Gholamzadeh *et al.* (2011) این سیستم را با هدف اعلام زودهنگام خشک‌سالی در منطقهٔ حوضهٔ زاینده‌رود توسعه دادند و در آن از تحقیقات Huang and Chou (2008) استفاده کردند. این مدل از سه بخش اصلی پایش خشک‌سالی، پیش‌بینی ورودی‌های رودخانه و مصرف آب، و محاسبهٔ یک شاخص هشدار برای مدیریت خشک‌سالی تشکیل می‌شود. نتایج نشان داد استفاده از سیستم هشدار سریع طراحی‌شده می‌تواند در مدیریت مخزن سد زاینده‌رود، تعیین سیاست‌های جیره‌بندی، و کاهش خسارات خشک‌سالی نقشی مؤثر داشته باشد. در تحقیقی دیگر Hashemi *et al.* (2011) از رویکرد احتمالاتی که Garrote *et al.* (2007) ارائه کردند برای اعلام وضعیت هشدار خشک‌سالی و ارائهٔ اقدامات مناسب در حوضهٔ رودخانهٔ زرینه‌رود استفاده کرد. در این رویکرد آستانه‌هایی برای هشدار خشک‌سالی تعریف می‌شود که بر اساس حجم مخزن و به صورت احتمالی است. در این مطالعه، کاهش رهاسازی از مخزن و افزایش درآمد سالیانهٔ مخزن اقدام مدیریتی در نظر گرفته شد. نتایج اعمال این رویکرد نشان داد تعیین سطوح کاهشی بر کاهش تعداد هشدار وضعیت اضطراری اثری شایان توجه دارد.

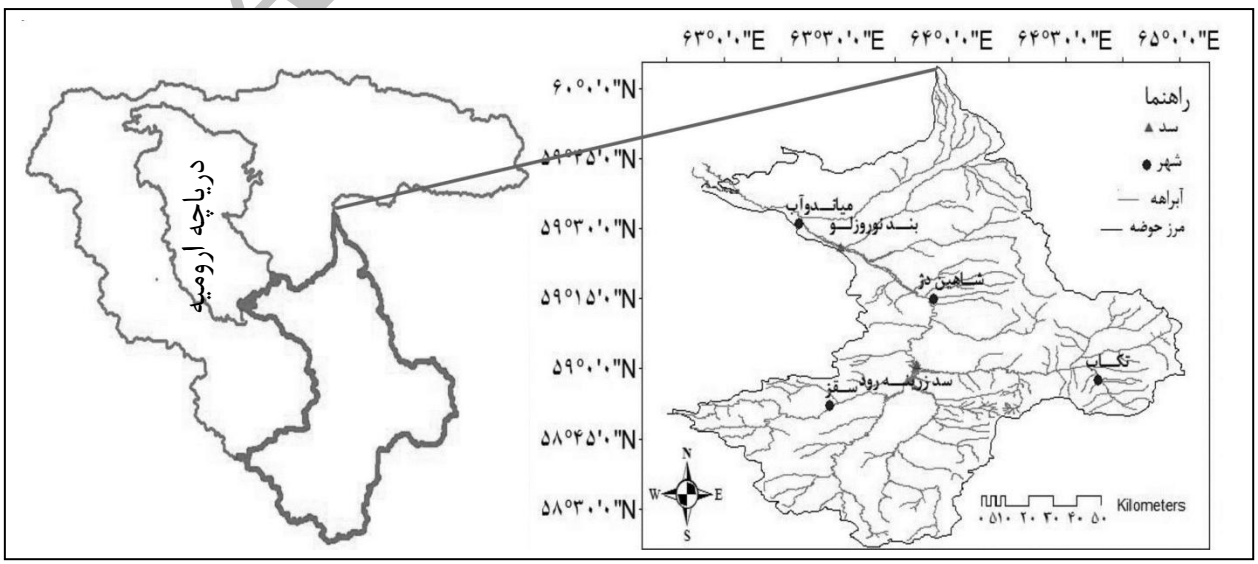
Eum *et al.* (2011) در یک رویکرد احتمالاتی و با استفاده از یک مدل نمونه‌گیری تصادفی برنامه‌نویسی پویا (SSDP) مقادیر بهینهٔ کاهش رهاسازی آب را در طول دورهٔ خشک‌سالی محاسبه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد اعمال این رویکرد برای حوضهٔ Geum رود، در کشور کره، مقدار حداکثر کمبود آب را کاهش می‌دهد. همچنین Rossi *et al.* (2012)، با استفاده از یک رویکرد احتمالاتی و در نظر گرفتن ریسک شکست سیستم تأمین آب و به‌کارگیری یک روش بهینه‌سازی، مقادیر بهینهٔ کاهش تقاضا و در نتیجه کاهش رهاسازی را برآورد و به مثابهٔ اقدامات مدیریتی تعیین کردند.

بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان داد تحقیقات در زمینهٔ اجرای برنامه‌های مدیریتی و نحوهٔ ارتباط آن با سیستم‌های پایش خشک‌سالی بسیار کم صورت گرفته است. بنابراین، لزوم پرداختن به این موضوع و چنین مطالعه‌ای کاملاً مشهود است. از طرفی، با توجه به اهمیت حوضهٔ آبریز زرینه‌رود، در این تحقیق از یک رویکرد احتمالاتی مبتنی بر ریسک در برقراری ارتباط بین سیستم‌های پایش و اقدامات مدیریتی به منظور مدیریت این حوضه استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

مورد مطالعاتی

زیرحوضهٔ آبریز زرینه‌رود بزرگ‌ترین زیرحوضهٔ درجهٔ ۲ از حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه است که در موقعیت '۴۵°۴۷ تا '۴۷°۲۰ طول جغرافیایی و '۳۵°۴۱ تا '۳۷°۲۷ عرض جغرافیایی قرار دارد. این رودخانه ۴۷ درصد حجم آب ورودی به دریاچهٔ ارومیه را تأمین می‌کند. وسعت این حوضه بالغ بر ۱۲۰۲۵ کیلومتر مربع و طول رودخانهٔ اصلی آن ۳۰۰ کیلومتر است. همچنین شهرهای میاندوآب، صائین‌دژ، تکاب، و سقز از کانون‌های مهم شهری این حوضه‌اند. در این تحقیق، سد و شبکهٔ پایین‌دست آن مطالعه شد. موقعیت جغرافیایی این منطقه در شکل ۱ می‌آید.



شکل ۱. موقعیت زیرحوضهٔ زرینه‌رود

Archive of SID

www.SID.ir

در این تحقیق، ورودی ماهیانه به مخزن، ورودی‌های پایین‌دست سد، حجم ذخیرهٔ مخزن در ابتدای هر ماه، منحنی سطح- حجم- تراز سد، و تبخیر نیز به منزلهٔ یک عامل تخلیهٔ مخزن از داده‌های هیدرولوژیکی مورد نیاز در شبیه‌سازی سیستم‌اند. از دیگر اطلاعات مورد نیاز تقاضای ماهیانه و نیاز زیست‌محیطی رودخانه است. همهٔ اطلاعات مورد نیاز از شرکت مدیریت منابع آب ایران برای سال‌های ۱۳۵۵- ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۴- ۱۳۸۵تأمین شد.

رویکرد احتمالاتی هشدار خشک‌سالی

این رویکرد روشی در برقراری ارتباط بین سیستم‌های پایش و اقدامات مدیریتی در سیستم‌های دارای مخزن است. این روش بر پایهٔ ارزیابی احتمال عدم توانایی تأمین نیازهای سیستم در یک افق زمانی استوار است و در آن آستانه‌هایی بر اساس حجم ذخیرهٔ مخزن تعریف می‌شود که برآورد آن‌ها مستلزم توسعهٔ یک مدل شبیه‌سازی است. در این زمینه، با توجه به توانایی‌های مدل ویپ[1]، این مدل مدلِ منتخب شناخته شد. ویپ به منزلهٔ یک نرم‌افزار کامپیوتری برای برنامه‌ریزی یکپارچهٔ منابع آب استفاده می‌شود. این نرم‌افزار را مؤسسهٔ محیط زیست استکهلم، جهت رفع فاصلهٔ بین مدیریت منابع و هیدرولوژی حوضه، با استفاده از رویکرد جامع برای شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آبی، توسعه داده است (SEI., 2007).

آنالیز ریسک خشک‌سالی

تعاریف ریسک به دو دستهٔ عمده تقسیم‌بندی می‌شوند: تعریف ریسک بر اساس احتمال وقوع یک پدیدهٔ مضر (مانند سیل، خشک‌سالی، و غیره) و تعریف ریسک بر اساس آثار مورد انتظار از وقوع یک پدیده (Nicolosi *et al.*, 2008). در این تحقیق از تعریف اول برای ارزیابی ریسک استفاده شد که به صورت احتمال شکست سیستم تعریف می‌شود.

ارتباط بین کمبود آب، شکست سیستم، و حجم ذخیرهٔ مخزن با منحنی‌های حجم- کمبود- ریسک به دست می‌آید. بدین منظور هر شبیه‌سازی با در نظر گرفتن افق زمانی یک‌ساله و به ازای ۲۱ حجم ذخیرهٔ فرضی انجام شد. در واقع مدل شبیه‌سازی باید به ازای هر یک از حجم‌های ذخیرهٔ مخزن در ابتدای هر یک از دوازده ماه سال و در همهٔ سال‌های تاریخی موجود اجرا شود. بدین ترتیب، بعد از اتمام شبیه‌سازی‌ها، به ازای هر ماه و هر حجم نمودار احتمال تجمعی کمبودهای سالیانه به دست آمد. در این تحقیق چهار سطح کمبود به ترتیب ۱۵، ۲۰، ۲۵، و ۳۰ درصد از تقاضا بر اساس کمبودهای واقعی انتخاب شد. بنابراین، با محاسبهٔ (احتمال وقوع کمبود انتخابی- ۱) مقدار ریسک هر یک از سطوح کمبود برآورد و منحنی حجم- ریسک در هر ماه و برای هر سطح کمبود رسم شد.

تعیین سطوح هشدار خشک‌سالی

پارامترهای مدل احتمالاتی مقدار افق زمانی (h)، سطح کمبود (d)، و سطح ریسک (r) هستند. سناریوهای مختلف این پارامترها سطوح مختلف هشدار خشک‌سالی را مشخص می‌سازد. بدین منظور برای هر سطح کمبود هشت سطح ریسک به صورت (r_i) انتخاب شد. این سطوح ریسک به ترتیب ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، و ۷۰ درصد هستند. از روی منحنی‌های حجم- ریسک هر سطح کمبود، مقدار حجم مورد نیاز به ازای هر سطح ریسک و در هر ماه به دست آمد. در نهایت، منحنی‌های کمبود- ریسک- حجم مخزن تولید شد. با استفاده از این نمودارها می‌توان مقدار حجم ذخیرهٔ مورد نیاز مخزن را به ازای کمبود (d_i) و ریسک (r_i) در همهٔ ماه‌ها به دست آورد.

هر سطح هشدار خشک‌سالی یک سطح آستانهٔ هشدار را در هر ماه نشان می‌دهد. به این صورت که هرگاه حجم مخزن به پایین‌تر از آن سطح افتاد، هشدار برای آن سطح اعلام و اقدامات مدیریتی آن سطح اعمال می‌شود. در این تحقیق چهار سطح هشدار به ترتیب نرمال، پیش‌هشدار، هشدار، و اضطراری در نظر گرفته شد.

کاهش آثار خشک‌سالی

پس از تعیین سطوح خشک‌سالی و طبقات مربوطه، لازم است اقدام واکنشی مناسب پیشنهاد شود. در این تحقیق، کاهش تقاضا اقدام مناسب (مدل‌سازی) انتخاب شد. بدین منظور برای تعیین ضرایب بهینهٔ کاهش از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش جست‌وجوی تکاملی برای یافتن راه‌حل تقریبی به منظور بهینه‌سازی و مسائل جست‌وجو است. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینهٔ خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون‌اند. در هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به مثابهٔ یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود ورودی‌هایی دارد که طی فرایندی الگوبرداری‌شده از

1. WEAP (Water Evaluation and Planning System)

Archive of SID

www.SID.ir

تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود. سپس، راه‌حل‌ها به منزلهٔ کاندیداها به وسیلهٔ تابع ارزیاب[1] ارزیابی می‌شوند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. الگوریتم ژنتیک به طور کلی الگوریتمی مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می‌شوند (farshadmehr, 2014).

توابع هدف و محدودیت‌ها تعیین و پارامترهای درنظرگرفته‌شده در الگوریتم ژنتیک در محیط مطلب کدنویسی شد. در این مدل هدف حداقل‌سازی مجموع کمبودهای سالیانه است. در ادامه تابع هدف و قیودات مدل می‌شود:

تابع هدف مسئلهٔ بهینه‌سازی مطابق رابطهٔ ۱ است:

$$\min \quad \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{12} Deficit_{i,j} \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

:تابع هدف

Deficit به صورت رابطهٔ ۲ تعریف می‌شود:

(رابطهٔ ۲)

$$Deficit_{i,j} = \begin{cases} \dfrac{(De_i - S_{i,j})}{De_i} \times 100 & De_i > S_{i,j} \\ 0 & De_i \le S_{i,j} \end{cases}$$

$S_{i,j}$ تأمین آب طراحی‌شده (میلیون متر مکعب)، De_i نیاز، و $Deficit_{i,j}$ میزان کمبود برحسب درصد است.

قیودات مدل شامل محدودیت‌های بهره‌برداری از مخزن مانند تبخیر، نیازهای زیست‌محیطی رودخانه و دریاچه، محدودیت حجم ذخیرهٔ مخزن (رابطهٔ ۳)، و محدودیت‌های رهاسازی (رابطهٔ ۴) هستند. رابطهٔ پیوستگی مخزن (رابطهٔ ۵) نیز از دیگر محدودیت‌های مدنظر در مدل است.

$$V_{\min} \le V_{i,j} \le V_{\max} \qquad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

(رابطهٔ ۴)

$$\mathrm{Re}_{i,j} = \begin{cases} \mathrm{Re}_{i,j} & Vi,j \ge V_1 \\ (1-\alpha_1)\times \mathrm{Re}_{i,j} & V_1 > Vi,j \ge V_2 \\ (1-\alpha_2)\times \mathrm{Re}_{i,j} & V_2 > Vi,j \ge V_3 \\ (1-\alpha_3)\times \mathrm{Re}_{i,j} & Vi,j < V_3, V_3 \ne V_{\min} \end{cases}$$

$$0 \le \alpha_1 \le \alpha_2; \quad \alpha_2 < \alpha_3; \quad \alpha_3 < 1$$

$$S_{t+1} = S_t + I_t - Q_t \qquad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

t گام زمانی، حجم، ورودی به مخزن، خروجی از مخزن (شامل رهاسازی و تبخیر) هستند. حداقل و حداکثر حجم مخزن است. Viها حجم هر یک از سطوح هشدارند. Re حجم رهاسازی از مخزن است.

برای ارزیابی مدل احتمالاتی مبتنی بر ریسک، ابتدا باید شرایط خشک‌سالی شدید منطقه تعیین شود. بدین منظور بر اساس شاخص خشک‌سالی جریان[2] (SDI) وضعیت هیدروژیکی رودخانهٔ زرینه‌رود آنالیز شد. شاخص خشک‌سالی SDI یکی از شاخص‌های هیدرولوژیکی برای پایش خشک‌سالی است. این شاخص فقط بر اساس دبی جریان تعیین می‌شود (Tabari *et al.*, 2013).

یافته‌ها و بحث

همان‌طور که گفته شد، برای آنالیز ریسک خشک‌سالی، به طور ماهیانه یک توزیع تجمعی احتمال از کمبودهای سالیانه تهیه و طبق سناریوهای مختلف از پارامترهای مدل، منحنی‌های حجم- ریسک- کمبود تهیه شد (شکل ۲). این منحنی‌ها در توسعهٔ سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن در شرایط خشک‌سالی نقشی اساسی دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با وجود این منحنی‌ها می‌توان سناریوهای مختلفی از سطوح هشدار در نظر گرفت. هر یک از منحنی‌های ارائه‌شده می‌تواند به مثابهٔ سطح آستانه برای سناریوی پیش‌هشدار، هشدار، یا اضطراری در نظر گرفته شود. طبق سناریوی انتخابی، آستانه‌های حجم ذخیره جهت هشدار خشک‌سالی از نمودارهای شکل ۲ در ماه‌های مختلف استخراج شد. هر سطح هشدار در هر ماه یک حجم ذخیره را مشخص می‌کند. به این صورت که هر گاه حجم مخزن کمتر از یکی از این سطوح باشد هشدار آن سطح اعلام می‌شود. با توجه به منحنی‌های شکل ۲ سطوح هشدار خشک‌سالی را می‌توان بین سطح کمبود ۱۵ درصد و ریسک ۲۵ درصد با بیشترین حجم مخزن و کمبود ۳۰ درصد و ریسک ۷۰ درصد با کمترین حجم مخزن در نظر گرفت.

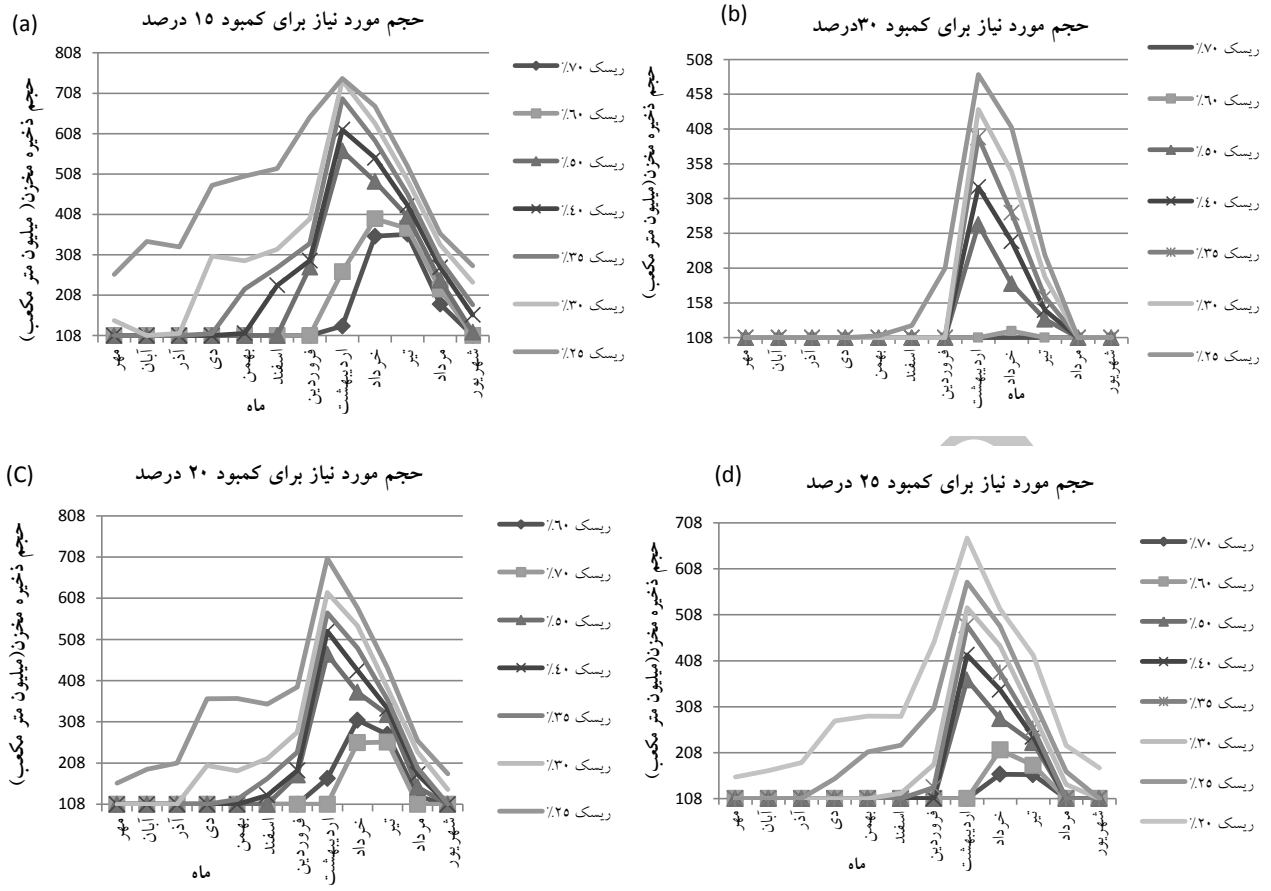
حالات مختلفی از این سطوح هشدار در جدول ۱ می‌آید. انتخاب این دسته‌ها بر این اساس است که منحنی‌های موجود در سطح پیش‌هشدار نسبت به سطوح هشدار و منحنی‌های موجود در سطح هشدار حجم ذخیرهٔ مورد نیاز بالاتری دارند. نیز، حجم ذخیرهٔ مورد نیاز بالاتری نسبت به سطح اضطراری دارند. برای یافتن ضرایب بهینهٔ کاهش، که به مثابهٔ اقدام مدیریتی در نظر گرفته شده، این سطوح باید با هم ترکیب شوند.

1. Fitness Function

2. Stream Drought Index

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. a-d حجم‌های ذخیرهٔ مورد نیاز در ماه‌های مختلف برای چهار سطح کمبود و هشت سطح ریسک

جدول ۱. سطوح آستانهٔ ارزیابی‌شده برای بهینه‌سازی

سطح اضطراری	سطح هشدار	سطح پیش‌هشدار
	کمبود۱۵٪- ریسک ۴۰٪	کمبود۱۵٪- ریسک ۲۵٪
	کمبود ۲۰٪- ریسک ۳۰٪	کمبود۱۵٪- ریسک ۳۰٪
کمبود ۳۰٪- ریسک ۲۵٪	کمبود۲۰٪- ریسک ۴۰٪	کمبود۱۵٪- ریسک ۳۵٪
کمبود ۲۵٪- ریسک ۴۰٪	کمبود۲۰٪- ریسک ۵۰٪	کمبود۱۵٪- ریسک ۴۰٪
کمبود ۳۰٪- ریسک ۳۰٪	کمبود ۲۵٪- ریسک ۲۵٪	کمبود۲۰٪- ریسک ۲۵٪
کمبود ۳۰٪- ریسک ۴۰٪	کمبود ۲۵٪- ریسک ۳۰٪	کمبود۲۰٪- ریسک ۳۰٪
کمبود۳۰٪- ریسک ۲۵٪	کمبود ۲۵٪- ریسک ۳۵٪	کمبود۲۰٪- ریسک ۳۵٪
	کمبود ۳۰٪- ریسک ۲۵٪	کمبود۲۰٪- ریسک ۴۰٪
	کمبود ۳۰٪- ریسک ۳۰٪	کمبود۲۵٪- ریسک ۲۰٪
		کمبود۲۵٪- ریسک ۲۵٪

با استفاده از مدل بهینه‌سازی، ضرایب بهینهٔ کاهش و سطوح آستانه برای چهار سناریوی درنظرگرفته‌شده محاسبه شد که نتیجهٔ آن در جدول ۲ می‌آید.

در هر سه سطح ضرایب کاهشی نیاز زیست‌محیطی بیشتر از نیازهای دیگر برآورد شده است. زیرا نیاز زیست‌محیطی بیشتر از نیازهای دیگر است. همچنین، ضرایب کاهشی در سطح پیش‌هشدار نسبت به سطح هشدار و در سطح هشدار نسبت به سطح اضطراری کمتر است؛ طوری که مقادیر ضرایب کاهشی به ترتیب برای نیاز زراعت و باغ و زیست‌محیطی در سطح پیش‌هشدار برابر ۳۱٫۳۰ و ۷٫۳۰ و ۴۷٫۸۰ درصد، در سطح

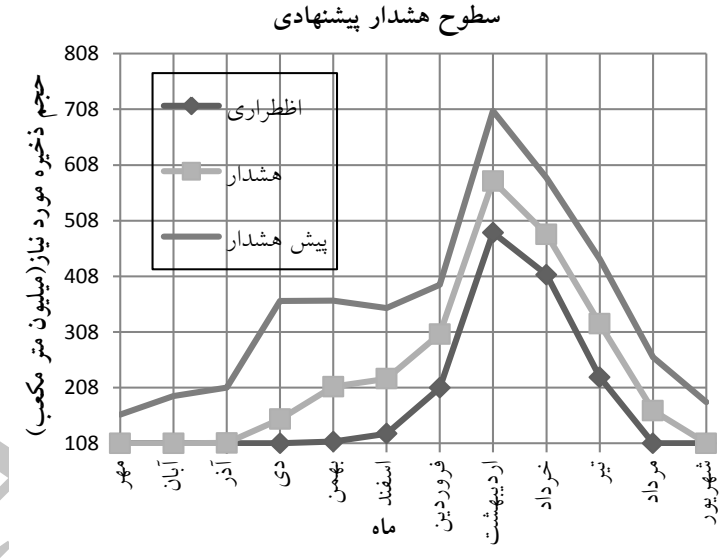
Archive
www.SID.ir

هشدار برابر ۳۳٫۶ و ۹٫۲ و ۵۰٫۶۰ درصد، و در سطح اضطراری برابر ۳۵٫۵ و ۱۱٫۱۰ و ۵۲٫۵۰ درصد است.

سطوح آستانه در شکل ۳ می‌آید. سه حجم مخزن مشخص‌شده در هر ماه سطوح هشدار را مشخص می‌کنند. به این صورت که هرگاه حجم مخزن کمتر از یکی از این سطوح باشد، هشدار مربوط به آن سطح اعلام می‌شود. مثلاً، همان‌طور که در شکل پیداست، در ماه اردیبهشت حجم‌های ۷۰۵ و ۵۷۹ و ۴۸۶٫۴ میلیون متر مکعب آستانه‌های هشدار برای سطوح ۰ تا ۳ خشک‌سالی را نشان می‌دهند. این به معنی آن است که اگر حجم مخزن در اول اردیبهشت کمتر از ۷۰۵ و بیشتر از ۵۷۹ میلیون متر مکعب باشد، وضعیت خشک‌سالی در سطح ۱ است. یعنی سیستم در وضعیت پیش‌هشدار است و باید اقدامات تعریف‌شده در این سطح اعمال شود.

جدول ۲. سطوح آستانه و مقدار ضرایب کاهش تقاضا برای نیازهای مختلف در هر سطح هشدار

حالت سیستم	سطوح آستانه	ضرایب کاهش تقاضا (٪)		
		زراعت	باغ	زیست‌محیطی دریاچه
پیش‌هشدار	کمبود ۲۰٪- ریسک ۲۵٪	٪۳۱٫۳۰	٪۷٫۳۰	٪۴۷٫۸۰
هشدار	کمبود ۲۵٪- ریسک ۲۵٪	٪۳۳٫۶۰	٪۹٫۲۰	٪۵۰٫۶۰
اضطراری	کمبود ۳۰٪- ریسک ۲۵٪	٪۳۵٫۵۰	٪۱۱٫۱۰	٪۵۲٫۵۰

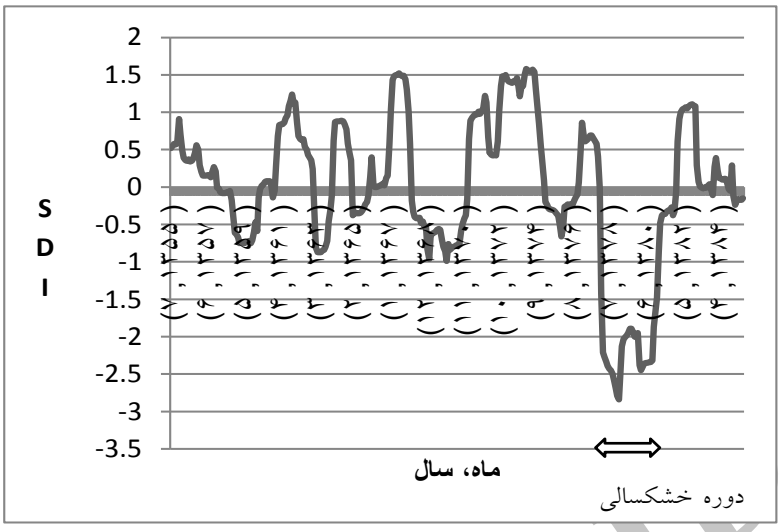


شکل ۳. حجم ذخیرهٔ مخزن پیشنهادی به منزلهٔ سطوح آستانه برای سناریوهای مدیریت خشک‌سالی مختلف

همان‌طور که گفته شد، برای بررسی وضعیت خشک‌سالی حوضهٔ منتخب از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی SDI استفاده شد. این شاخص برای دورهٔ آماری سی ساله (۱۳۵۵ـ ۱۳۸۵) و میانگین متحرک‌های ۳، ۶، ۹، و ۱۲ ماهه محاسبه شد. سپس، با توجه به نتایج، برای شاخص‌های هیدرولوژیکی و مقایسهٔ آن با شرایط واقعی منطقه (سری زمانی جریان رودخانهٔ زرینه‌رود) شاخص دوازده‌ماهه انتخاب شد.

نتایج آنالیز وضعیت هیدروژیکی زرینه‌رود نشان داد خشک‌سالی شدیدی طی دورهٔ ۱۳۷۷ـ ۱۳۸۰ رخ داده است (شکل ۴). اعمال مقادیر بهینهٔ ضرایب کاهش تقاضا طی این دوره، به‌ویژه در مواقع بحرانی، تأثیری قابل توجه در کاهش شاخص کمبود داشت. همچنین باعث جلوگیری تخلیهٔ مخزن تا حجم مرده در برخی از ماه‌ها طی این دوره شد. مثلاً شاخص کمبود در ماه‌های مهر و آبان و آذر ۱۳۷۷، با اعمال ضرایب کاهش، به ترتیب از ۸۱ و ۷۸ و ۸۲ درصد به ۵۶ و ۴۵ و ۳۹ درصد کاهش یافت. مشابه همین وضعیت در ایامی که حداکثر شاخص کمبود را شاهدیم مشاهده می‌شود. بیشترین مقادیر شاخص کمبود (۹۷٪) مربوط به مهرماه سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۰ است؛ که پس از اعمال مقادیر کاهش تقاضا به ۲۵ درصد کاهش یافت (شکل ۵).

www.SID.ir



شکل ۴. مقادیر شاخص SDI دوازده‌ماهه در دورهٔ ۱۳۵۵ـ ۱۳۸۵

شکل ۵. مقایسهٔ کمبود با اعمال ضرایب کاهشی و بدون اعمال محدودیت در دورهٔ ۱۳۷۷ـ ۱۳۸۰

نتیجه‌گیری

این تحقیق تلاشی بود برای ارتباط بین سیستم‌های پایش خشک‌سالی و اقدامات مدیریتی کاهش مصرف. بدین منظور یک سیستم رویکرد احتمالاتی مبتنی بر ریسک هشدار خشک‌سالی در بهره‌برداری از مخزن سد زرینه‌رود و با اتکا به مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی توسعه یافت.

شبیه‌سازی سیستم منابع آب حوضهٔ زرینه‌رود نشان داد در دورهٔ ۱۳۷۷ـ ۱۳۸۰ سیستم با خشک‌سالی شدید همراه بوده و شبیه‌سازی سیستم برای این دوره با مصرف فعلی نشان می‌دهد بدون اعمال مدیریت در برخی ماه‌ها مخزن کاملاً تخلیه یا سیستم با کمبودهای بیش از ۹۰ درصد مواجه خواهد شد. این نتایج تأکیدی است بر اهمیت مدیریت خشک‌سالی و طراحی چنین سیستم‌هایی برای حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه. بررسی نقش اعمال درصدهای اعلام‌شده برای کاهش خروجی از سد در کاستن شدت خشک‌سالی برای دورهٔ ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ توانست در همهٔ موارد وضعیت «بسیار شدید» را به «شدید» تقلیل دهد. کار بهینه‌سازی این تحقیق می‌تواند مقادیر بهینهٔ کاهش رهاسازی از سد را بر اساس هر گونه مدیریت تعیین کند.

REFERENCES

Eum, H. l., Kim, Y. O., and Palmer, R. (2011). Optimal Drought Management Using Sampling Stochastic Dynamic Programming with a Hedging Rule. Journal of Water Resources Planning and Management, 137(1), 113-122.

Farshadmehr, M. (2014). Mitigation of Drought Effects on Water Supply Systems. M.Sc. dissertation, University of Gorgan, Iran. (In Farsi).

www.SID.ir

Garrote, L., Martin-Carrasco, F., Flores-Montoya, F., and Iglesias, F. (2007). Linking Drought Indicators to Policy Actions in the Tagus Basin Drought Management Plan. Journal of Water Resour Manage, 21: 873–882.

Gholamzadeh, M., Morid, S., and Delavar, M. (2011). Drought early warning system for Zayanderod dam operation. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences, 15(56), 35-47. (In Farsi).

Hashemi, A. A., Morid, S., and Keshavarz, A. (2011). Linking Drought Indicators to Policy Actions in the Zarinerod Basin Drought Management Plan. M.Sc. dissertation, University of Tarbiat Moalem Tehran. Iran. (In Farsi).

Huang, W. C. and Chou, C. C. (2008). Risk-based drought early warning system in reservoir operation. Journal of Advances in Water Resources, 31: 649–660.

Nicolosi, V., Cancelliere, A., and Rossi, G. (2009). Reducing risk of shortages due to drought in water supply systems using genetic algorithms. Journal of Irrigation and Drainage, 58: 171-188.

Rossi, G., Garrote, L., and Caporali, E. (2012). Definition of risk Indicators for Reservoire Management Optimization. Journal of Water Resour Manage, 26:981-996.

Tabari, H., Nikbakht, H., and Hosseinzadeh Talaee, P. (2013). Hydrogocal Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Streamflow Drought Lndex (SDI). Journal of Water Resource Manage, 27(1), 137- 151.

Westphal, K. S., Laramie, R. L., Borgatti, D., and Stoops, R. (2007). Drought Management Planning with Economic and Risk Factors. Journal of Water Resources Planning and Management, 133(4), 351-362.

Zarezadeh mehrizi, M. and Morid, S. (2010). Water Allocation in the Qezelozan- Sefidrood Basin under Climate Change, using Bankruptcy Approach for Conflict Resolution. M.Sc. dissertation, University of Tarbiat Modares. Tehran. Iran. (In Farsi).

Archive of SID

www.SID.ir