Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵
Volume 12, No. 1, Spring 2016 (IR-WRR)
۲۹-۳۹

اتصال سیستم‌های پایش خشکسالی به اقدامات مدیریتی

سید علی اصغر هاشمی شیخ شبانی[۱]، سعید مرید[۲] و مجید دلاور[۳*]

چکیده

هدف این تحقیق اتصال سیستم پایش خشکسالی به اقدامات مدیریتی در سیستم‌های آب سطحی است. بدین منظور سیستم زودهنگام هشدار خشکسالی بکار گرفته شد. در این مطالعه سیستم منابع آب رودخانه زرینه‌رود برای ارزیابی رویکرد فوق استفاده شد. اقدامات مدیریتی شامل ضرایبی جهت کاهش میزان رهاسازی آب از مخزن می‌باشند. بدین منظور، در هر سطح هشدار خشکسالی یک نرخ بهینه کاهش رهاسازی بوسیله الگوریتم ژنتیک چند هدفه محاسبه گردید. اجرای مدل طی کل دوره آماری، تعداد هشدار در سطوح دو تا چهار را به ترتیب ۱۸، ۸۰ و ۱۰ درصد کاهش داد. همچنین با اعمال ضرایب کاهشی طی دوره خشکسالی شاخص منطقه در شش ماه کمبود بالای هشتاد درصد به کمتر از پنجاه درصد کاهش یافت. اثر مدل در شرایطی که سیستم بخواهد حقابه کامل زیست محیطی دریاچه ارومیه را ارائه دهد نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. اعمال ضرایب کاهشی طی دوره خشکسالی شاخص منطقه در ۱۴ ماه از این دوره، کمبودهای بالاتر از پنجاه درصد را به مقادیر کمتر از سی درصد کاهش داد. این مطالعه نشان داد که در بلندمدت، مدل رفتار مناسبی در اعلام هشدار از خود نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که نتایج بدست آمده از مدل در بیشتر ایام دقیق و قابل قبول بوده و از این رو استفاده از این روش توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: مدیریت خشکسالی، سیستم زودهنگام هشدار خشکسالی، معرف‌های خشکسالی، بهینه‌سازی، رودخانه زرینه‌رود

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۴/۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۷/۲۰

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۲- استاد و عضو هیئت علمی گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۳- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
*- نویسنده مسئول

Linking Drought Monitoring Systems to Management Actions

S. A. Hashemi Sheikhshabani [1], S. Morid[2] and M. Delavar[3]*

Abstract

The aim of this study is to link drought monitoring systems to management actions in surface water systems. For this purpose drought early warning system is applied. In order to assess the proposed approach, water resources system of Zarine-rud River and Reservoir was used. Management actions includes utilizing coefficients that decrease the release from the reservoir. In each drought warning level, a reduction coefficient is computed by a Multi-Objective Genetic Algorithm. Utilizing the model during the entire historic period, the number of alerts is decreased on levels two to four by 18, 80, and 10%, respectively. Also, by applying reduction coefficients during index drought period, deficits above 80% decreased to less than 50% over six months. The effect of model in condition of supplying the environment water right of Urmia Lake is also evaluated. Applying reduction coefficients during index drought, the deficits above 50% is decreased to less than 30% over 14 months. This research showed that model had an appropriate function in warning declaration in long term periods. The assessments indicated the achieved results from the model are accurate and acceptable and therefore the application of this method is recommended.

Keywords: Drought management, Drought early warning system, Drought indicators, Optimization, Zarine-Rud River.

Received: June 22, 2015
Accepted: October 12, 2015

1- M.Sc. graduate, Water Resources engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2 - Professor, Department of Water Resources engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3 - Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در شرایط خشکسالی و کمبود آب به دلیل تعارضات بین مصرف‌کنندگان آب، مدیریت آن بسیار مشکل می‌گردد. در این شرایط تأمین همه نیازهای کاربران امکان پذیر نمی‌باشد و لازم است الویت‌بندی‌هایی تنظیم و مراعات گردد. برای مدیریت بهتر این شرایط و آمادگی آن، لازم خواهد بود تا وقوع خشکسالی در زمان مناسب پیش‌بینی و با استفاده از مدل‌های مناسب اقدامات بهینه در کاهش مصرف تعیین گردد. بدین ترتیب، سیستم پایش و تعریف اقدامات تسکین همراه با ارتباط مناسب بین آنها یک برنامه عملیـــاتی را برای این مدیریت فراهم می‌آورد. در این خصوص Iglesias et al. (2009) ترکیب سیستم پایش و یک سیستم پیش‌بینی آب و هوا را توصیه می‌کنند که تواماً یک سیستم هشدار خشکسالی اطلاق می‌گردند. از آنجایی که این سیستم‌ها زمان کافی برای اجرای اقدامات را فراهم می‌کند، نسبت به سیستم پایش ابزار کاراتری خواهند بود.

به عقیده Hayes et al. (2011) سیستم‌های زودهنگام هشدار خشکسالی ویژگی‌هایی دارند که آنها را حائز اهمیت می‌نمایند. این سیستم‌ها ۱- تشخیص زودهنگام خشکسالی (بر اساس مشاهدات یا پیش‌بینی) را فراهم می‌آوردند، ۲- زمان پاسخ را افزایش می‌دهند، ۳- شروع اقدامات اجرائی در یک برنامه خشکسالی رقم می‌زنند، ۴ - به عنوان یک اقدام تسکینی در شرایط بحرانی بکار می‌روند و ۵- اساس هر برنامه کامل و جامع تسکین خشکسالی می‌باشند. سازمان ملل تعریف جامعی برای یک سیستم زودهنگام هشدار ارائه داده است که عبارت است از: تهیه اطلاعات بهنگام و مؤثر، از طریق نهادهای مشخص، بطوریکه که افراد تحت تأثیر، اقدامی جهت جلوگیری از خطر یا کاهش ریسک آن انجام دهند و خـــود را بـــرای واکنشـــی کـــارآمـــد آماده سازنـــد (International Strategy for Disaster Reduction, 2004).

Gholamzadeh et al. (2011) نیز با استفاده از همین رویکرد یک سیستم زودهنگام خشکسالی جهت مدیریت سد زاینده‌رود ارائه دادند و در آن از تحقیقات Huang and Chou (2005) و Huang and Chou (2008) استفاده نمودند. سیستم ارائه شده توسط Gholamzadeh et al. (2011) شکل کامل‌تری از دو مورد قبل بوده و پیش‌بینی نیز بخشی از مؤلفه‌های آن می‌باشد. سیستم ارائه شده توسط ایشان ترکیبی از چند زیر مدل است که عبارتند از: پایش خشکسالی بر اساس شرایط جاری مخزن بوسیله روش طبقه‌بندی نگاشت خود سامان یافته (SOFM)[1]، پیش‌بینی رهاسازی از مخزن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، محاسبه میزان کمبود آب و محاسبه شاخص هشدار خشکسالی. روش مورد استفاده در این تحقیق عمدتاً برگرفته از کار Gholamzadeh et al. (2011) می‌باشد.

در سیستم‌های منابع آب دارای مخزن، یکی از بهترین معیارهایی که با آن می‌توان کمبود آب را بیان نمود، افت ذخیره آب مخزن به کمتر از سطوح بحرانی آن است. با توجه به اینکه ریسک شکست سیستم را می‌توان با استفاده از ذخیره مخزن بیان نمود، بنابراین استفاده از آن به تنهایی، به عنوان معرف و محرک خشکسالی کافی است (Garrote et al., 2007)، هر چند که سیستم‌های زودهنگام هشدار خشکسالی که طراحی آنها بر مبنای چندین معرف و شاخص صورت گرفته است، کاراتر می‌باشند (Wilhite et al., 2014). در مطالعه حاضر علاوه بر شرایط فعلی خشکسالی مخزن ، میزان مصرف آب در آینده نیز مدنظر قرار گرفته است.

هدف این تحقیق اتصال سیستم پایش خشکسالی به اقدامات مدیریتی برای سیستم‌های آبی است که از آبهای سطحی (شامل سد و رودخانه) بهره‌برداری می‌کنند. اینگونه سیستم‌ها به وفور در کشور وجود دارد، و در این تحقیق نیز حوضه زرینه‌رود به عنوان مطالعه موردی برای ارائه روش‌شناسی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- مواد و روشها

۳-۱- منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه زرینه‌رود در شمال غرب کشور واقع است. این رودخانه با وسعت حوضه آبریز ۱۱۰۰۰ کیلومترمربع، یکی از مهمترین و طولانی‌ترین رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد و از اهمیت بالایی برخوردار است. سد شهید کاظمی روی این رودخانه قرار دارد و متوسط آورد سالانه آن در محل سد حدود ۱۶۶۵ میلیون متر مکعب است (شکل ۱).

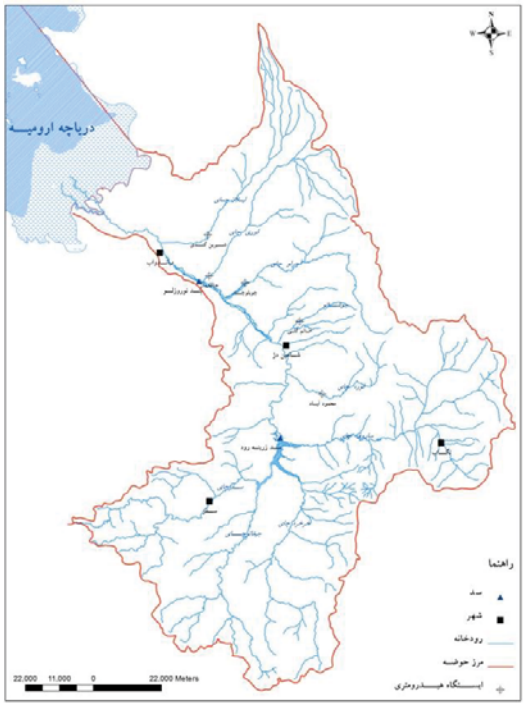
جریان ورودی ماهانه به مخزن، تراز سطح آب، میزان تبخیر، ذخیره سد، رهاسازی از مخزن و سری تاریخی دبی رودخانه‌های پایین‌دست سد از اطلاعات مورد نیاز این تحقیق می‌باشد که عمدتاً بدین منظور از آمار و گزارشات انتشار یافته وزارت نیرو و سازمان هواشناسی تامین شد. وسعت اراضی کشاورزی پایین دست سد، ۶۶۰۰۰ هکتار می‌باشد. الگوی کشت در این ناحیه شامل گیاهان گندم، جو، چغندرقند، یونجه، حبوبات، جالیز و پیاز، سیب‌زمینی، و درختان میوه می‌باشد. برای برخی ساده‌سازی‌ها الگوی فعلی در سه محصول

www.SID.ir

Archive of SID

شامل گندم، یونجه و باغات خلاصه گردید که به ترتیب ۳۵، ۴۰ و ۲۵ درصد اراضی موجود را شامل می‌شوند. تقویم زراعی و عملکرد حداکثر آنها نیز از آمارنامه‌های کشاورزی و مشورت با کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی بدست آمد.

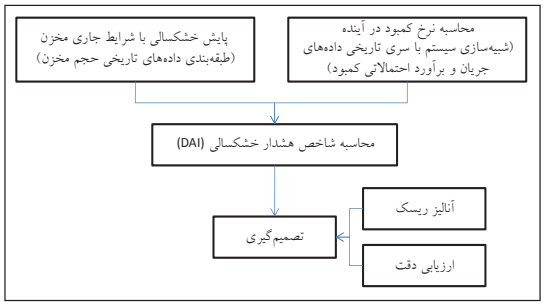
از دیگر اطلاعات مورد نیاز این تحقیق حداکثر تبخیر و تعرق هر محصول در دوره‌های ده روزه رشد است که بدین منظور مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع با روش پنمن–مانتیس–فائو و از پایگاه اطلاعاتی موجود محاسبه گردید. میزان ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد و اطلاعات مربوط به پارامترهای مورد نیاز دیگر همچون راندمان کاربرد آب و بارندگی موثر نیز از پایگاه داده نرم‌افزار فوق بدست آمد.



شکل ۱- نقشه حوضه رودخانه زرینه‌رود، شماتیک شبکه هیدرولوژیکی

۳-۲- سیستم زودهنگام هشدار خشکسالی

همانگونه که آمد، ساختار سیستم زودهنگام هشدار خشکسالی ترکیبی از چند زیرمدل اصلی است که عبارتند از: ۱) پایش خشکسالی؛ ۲) برآورد احتمالاتی کمبود آب در آینده؛ ۳) محاسبه شاخص هشدار خشکسالی و۴) آنالیز ریسک و عدم قطعیت. این سیستم مراحل متنوع محاسباتی دارد که به طور شماتیک در شکل ۲ آورده شده است. کلیه محاسبات به برآورد شاخص *DAI*[۲] یا شاخص هشدار خشکسالی ختم می‌گردد که تابع وضعیت فعلی خشکسالی مخزن و روند مصرف آب در آینده است.

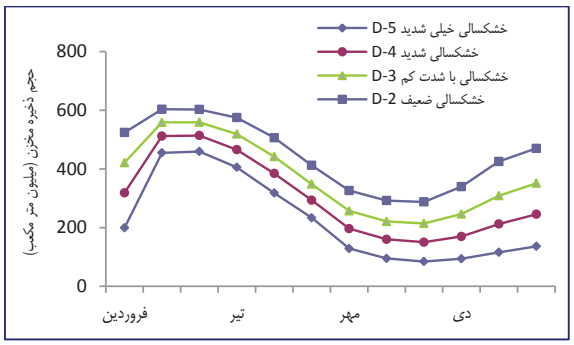


شکل ۲- شماتیکی از مدل DEWS (Gholamzadeh et al., 2011)

۳-۲-۱- پایش خشکسالی بر اساس شرایط جاری مخزن و طبقه بندی آن به روش K-means

روش‌شناسی پایش و بررسی شدت خشکسالی بگونه‌ای است که ابتدا با توجه به مقادیر مشاهداتی حجم ذخیره سد در دوره آماری و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی داده، سطوح خشکسالی تعیین می‌گردد. کاربرد حجم‌های مشاهداتی بدین معنا است که مدیریت قبلی مورد تأیید و در آینده نیز استفاده خواهد شد. در این تحقیق برای سطح‌بندی خشکسالی ۵ طبقه در نظر گرفته شد.

همچنین، با در اختیار داشتن توابع توزیع احتمال حجم مخزن در ماه‌های مختلف و با استفاده از تکنیک مونت‌کارلو برای هر ماه ۵۰۰۰ داده تصادفی حجم ذخیره مخزن تولید شد. در گام بعدی داده‌های شبیه‌سازی شده به روش K-means به ۵ خوشه تقسیم‌بندی شدند. این روش نهایتاً چهار حجم مخزن را برای تعیین پنج طبقه شدت خشکسالی مطابق شکل ۳ پیشنهاد می‌نماید. در این شکل برای هر ماه، حجمی از مخزن پیشنهاد شده است که مقادیر کمتر از آن، یک طبقه خشکسالی را تعیین می‌نمایند.



شکل ۳- سطوح ذخیره مخزن برای تعیین شدت خشکسالی

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲-۲- محاسبه سطوح کمبود آب در مدل DEWS[۳]

پیش‌بینی یکی از راهکارهای محاسبه نرخ کمبود (*DR*) در آینده است. عدم قطعیت در متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی و همچنین عدم قطعیت در مدل‌های پیش‌بینی از جمله محدودیت‌ها و نقاط ضعف سیستم‌های پیش‌بینی می‌باشند. در این مطالعه روشی پیشنهاد شده است که مبنای آن احتمالاتی بوده و نواقص سیستم‌های پیش‌بینی را ندارد. در این روش رهاسازی به صورت احتمالاتی و با استفاده از سری تاریخی داده‌های جریان محاسبه می‌گردد و کاربر خود نسبت به احتمال مدنظر تصمیم می‌گیرد. از مزیت‌های این روش تولید توابع چگالی احتمال شاخص هشدار می‌باشد. این توابع چگالی احتمال در تحلیل عدم قطعیت شاخص هشدار خشکسالی استفاده می‌شود.

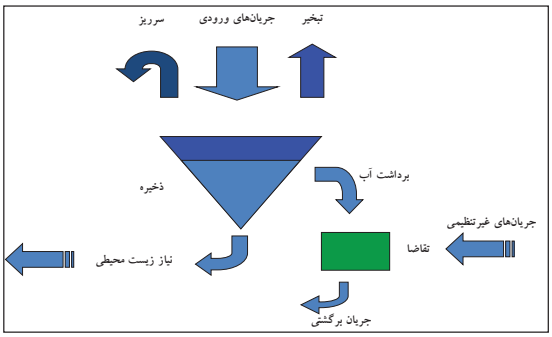
با این روش، *DR* در احتمالات مختلف و بر اساس حجم مخزن در ابتدای هر ماه خاص با به کارگیری یک مدل بیلان سیستم منابع آب (شکل ۴) محاسبه می‌شود. محاسبات بدین‌گونه است که مدل، به تعداد سال‌های موجود در سری تاریخی اجرا می‌گردد. در هر بار اجرای مدل، حجم اولیه سیستم معادل ذخیره مخزن در ابتدای ماه مورد نظر قرار می‌گیرد. به همین ترتیب ورودی‌های سیستم شامل جریان‌های تنظیمی و غیرتنظیمی در سال مورد نظر می‌باشند. با دخالت سایر عوامل دخیل، میزان کمبود آب در دوره زمانی آینده (یعنی ۶ ماه آتی) بدست می‌آید. نهایتاً نرخ کمبود در هر بار اجرای مدل با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Huang and Chou, 2005):

$$DR = \begin{cases} \dfrac{(De - R_t)}{De} \times 100 & D_e > R_t \\ 0 & D_e \le R_t \end{cases} \qquad (۱)$$

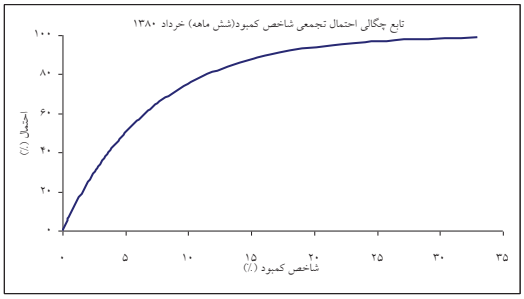
در رابطه بالا R_t میزان رهاسازی در افق زمانی t و De تقاضای آب در همان افق زمانی می‌باشند. حال با اجرای مدل به تعداد سال‌های آماری موجود می‌توان توزیع چگالی احتمال شاخص کمبود را در ماه‌های مختلف محاسبه کرد. به عنوان مثال، توزیع احتمال تجمعی *DR* در خردادماه سال ۱۳۸۰ در شکل ۵ ارائه شده است. در ادامه شاخص کمبود با استفاده از داده‌های تاریخی محاسبه می‌گردد و مطابق طبقه‌بندی خشکسالی، با استفاده از روش K-means مقادیر *DR* بدست آمده، به پنج سطح کمبود شامل: نرمال، کمی زیاد، نسبتاً زیاد، زیاد و خیلی زیاد تقسیم می‌شوند (جدول ۱).

۳-۲-۳- محاسبه شاخص هشدار خشکسالی

در طراحی مدل DEWS از یک شاخص هشدار خشکسالی (*DAI*) استفاده می‌شود که برای محاسبه آن نیاز به مشخص بودن سطوح خشکسالی در شرایط جاری مخزن(*D*) و طبقه شدت کمبود آب در آینده (*S*) می‌باشد.



شکل ۴- شماتیکی از مدل شبیه‌سازی سیستم منابع آب



شکل ۵- تابع چگالی احتمال تجمعی شاخص کمبود شش ماهه در خرداد ۱۳۸۰ (با حجم ذخیره ۴۰۰ MCM)

جدول ۱- سطوح مختلف کمبود شش‌ماهه

شاخص کمبود شش‌ماهه (*DR*) ٪	سطوح کمبود (*S*)
۰ – ۷	نرمال (۱)
۷ – ۱۹	کمی زیاد (۲)
۱۹ – ۳۵	نسبتاً زیاد (۳)
۳۵ – ۵۵	زیاد (۴)
> ۵۵	خیلی زیاد (۵)

در تحقیق حاضر براساس مطالعات پیشین (Huang and Chou, 2005؛ Gholamzadeh et al., 2011) از یک رابطه غیر خطی به صورت DS^k برای محاسبه این شاخص استفاده شده است. رابطه زیر نحوه محاسبه شاخص هشدار خشکسالی به صورت لگاریتمی با توجه به شرایط خشکسالی و مصرف آب آینده را نشان می‌دهد (Huang and Chou, 2005):

$$DAI = \log_m DS^2, \forall D = 1,\ldots,5; S = 1,\ldots,5 \qquad (۲)$$

رابطه فوق حداکثر مقدار *DAI* را برابر ۳ و حداقل آن را صفر محاسبه می‌کند. همچنین بر اساس مقادیر مختلف *DAI*، سطوح هشدار (WL) مطابق با جدول ۲ از سبز (شرایط نرمال) تا قرمز (شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

خشکسالی شدید) تقسیم‌بندی می‌شود. با توجه به نحوه محاسبه*DAI*، مهمترین عامل عدم قطعیت در آن به برآورد نرخ کمبود ربط دارد. برای تعیین میزان *DAI* در احتمالات مختلف و بررسی عدم قطعیت آن، از توابع توزیع احتمال شاخص کمبود استفاده می‌شود.

جدول ۲- مقادیر *DAI* و سطوح هشدار مختلف نسبت به آن

سطوح هشدار (*WL*)	شاخص هشدار خشکسالی (*DAI*)
سبز	$0 \le DAI \le 1$
آبی	$1 < DAI \le 1/5$
زرد	$1/5 < DAI \le 2$
نارنجی	$2 < DAI \le 2/5$
قرمز	$2/5 < DAI \le 3$

۳-۳- مدیریت عرضه در شرایط خشکسالی

در این مطالعه کاهش میزان عرضه و در نتیجه کاهش رهاسازی از مخزن به عنوان یک اقدام مدیریتی در مدیریت خشکسالی در نظر گرفته شده است. بدین منظور، در هر سطح هشدار خشکسالی یک نرخ کاهش منظور می‌گردد. این اقدامات کاهشی به صورت بهینه تعیین می‌شوند، بطوریکه سیستم را با حداقل خسارت مواجه کند. بدین منظور از الگوریتم ژنتیک چند هدفه جهت بهینه‌سازی این ضرایب کاهشی استفاده شد.

۳-۳-۱- بهینه سازی ضرایب کاهشی با الگوریتم ژنتیک

بهینه‌سازی ضرایب کاهشی توابع هدف مدنظر برای الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II[۴] (Deb, 2001) شامل: ۱) حداکثرسازی درآمد طی دوره شبیه‌سازی و ۲) حداقل‌سازی وقوع کمبودهای بالا می‌باشند که در محیط MATLAB کد نویسی شده است. فرم تابع میزان درآمد سالانه شبکه کشاورزی مطابق زیر برآورد شد که در تحقیقات مشابه (Moghaddasi, 2009; Gholamzadeh, 2009) نیز به کار رفته است:

$$I_j = aQ_J^2 + bQ_J - c \qquad (۳)$$

که در آن I_j، میزان درآمد سالانه (میلیارد ریال) و Q_j، مجموع رهاسازی آب برای بخش کشاورزی طی یکسال (میلیون متر مکعب) می‌باشند. به این منظور مدل بهینه‌سازی تخصیص آب در شبکه (جزئیات این مدل در ادامه خواهد آمد) به ازای مقادیر مختلف آب در دسترس سالانه اجرا و درآمد متناسب با آنها محاسبه می‌گردد. حداکثرسازی مجموع درآمد شبکه طی دوره شبیه‌سازی، تابع هدف اول را تشکیل می‌دهند که در رابطه ۴ نشان داده شده است. تابع هدف دوم نیز شامل حداقل‌سازی مجموع کمبودهای بالای پنجاه درصد طی دوره شبیه‌سازی می‌باشد (رابطه ۵).

$$\min \quad Obj2 = -\sum_{j=1}^{n} I_j \qquad (۴)$$

$$\min \quad Obj1 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{12} O_{i,j} \qquad (۵)$$

قیودات مدل شامل محدودیت‌های بهره‌برداری از مخزن مانند تبخیر، نیازهای زیست محیطی رودخانه و دریاچه، محدودیت حجم ذخیره مخزن و محدودیت‌های رهاسازی هستند. رابطه پیوستگی مخزن نیز از دیگر محدودیت‌های مدنظر در مدل می‌باشد.

۳-۳-۲- برآورد تابع درآمد سالانه مخزن

با توجه به اینکه یکی از اهداف مدل بهینه‌سازی ذکر شده در بخش قبل، حداکثر کردن درآمد سالانه مخزن است، لذا نیاز می‌باشد تا تابع درآمد سالانه مخزن بدست آید. به این منظور از یک مدل بهینه‌سازی توزیع آب در سیستم منابع آب استفاده شد که تابع هدف آن، حداکثر کردن عملکرد هر محصول در شرایط کم آبی است. با استفاده از این مدل، درآمد سالانه مخزن در شرایط مختلف رهاسازی محاسبه و تابع درآمد سالانه مخزن برآورد می‌شود. ایده اصلی این مدل‌سازی بر اساس تحقیق Moghaddasi et al. (2009) می‌باشد و هدف آن حداکثر عملکرد هر محصول در شرایط کم آبی است که برای آن از روابط FAO (Doorenbos and Kassam, 1997) استفاده می‌کند. این مدل دارای دو زیر مدل می‌باشد. در زیرمدل اول کل آب مصرفی هر گیاه در طی فصل رشد آن، به صورت بهینه در دوره‌های ده روزه توزیع می‌گردد. تابع هدف آن حداکثر نمودن نسبت عملکرد واقعی به حداکثر عملکرد محصول در هر هکتار می‌باشد. محاسبه این نسبت، بوسیله رابطه پیشنهادی FAO (رابطه ۶) صورت می‌گیرد. محدودیت‌های موجود در این مدل شامل محدودیت‌های رشد ریشه، تبخیر و تعرق، حساسیت عملکرد گیاه نسبت به تنش آبی در طول فصل رشد و بیلان آب در خاک و محیط ریشه می‌باشد:

$$MAX: \frac{Y_{ac}}{Y_{\max_c}} = 1 - \sum_{g=1}^{n} Ky_g \left(1 - \frac{ETa_{c,g}}{ET\max_{c,g}}\right) \qquad (۶)$$

در رابطه فوق $ETa_{c,g}$ تبخیر و تعرق واقعی محصول c در مرحله رشد g، $ET\max_{c,g}$ *(mm/10days)* حداکثر تبخیر و تعرق محصول c در هر مرحله رشد *(mm/10days)*، Ky_g ضریب حساسیت عملکرد نسبت به تنش آبی برای هر گیاه در هر مرحله رشد، n تعداد مراحل رشد، Y_{ac} عملکرد واقعی محصول c و $Y_{\max_c}$ حداکثر عملکرد محصول c (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل مذکور، در محیط LINGO، برای سه محصول عمده گندم، یونجه و باغات (شامل آلبالو و گیلاس) در شبکه زرینه‌رود توسعه یافت. با اجرای مدل به ازای مقادیر مختلف آب در دسترس (در طول دوره رشد هر گیاه) نسبت عملکرد واقعی به عملکرد حداکثر آن محصول برآورد شد و نهایتاً رابطه بین مجموع آب آبیاری در فصل رشد با نسبت عملکرد واقعی به عملکرد حداکثر بدست آمد. از دیگر پارامترهای مورد نیاز این مدل، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم می‌باشند که در محاسبه تبخیر و تعرق واقعی به کار می‌روند. بر اساس پایگاه داده نرم‌افزار AGWAT مقادیر این دو پارامتر در منطقه به ترتیب برابر ۰/۳ و ۰/۱۵ می‌باشد. راندمان مزرعه و درصد بارندگی موثر نیز از همین منبع به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شد.

زیرمدل دوم آب را به صورت بهینه بین محصولات مختلف در هر سال آبی توزیع می‌کند. تابع هدف آن حداکثر نمودن درآمد است. به عبارت دیگر، این زیرمدل آب را به نحوی بین گیاهان مختلف توزیع می‌کند که درآمد کل شبکه حداکثر گردد:

$$MAX \left\{ \sum_{k=1}^{k} F_k(V_k) A_k Y_{\max k} P_k \right\} \qquad (۷)$$

در رابطه بالا k تعداد محصولات، $F_k(V_k)$ تابع عملکرد (رابطه بین عملکرد نسبی به آب تخصیص داده شده)، A_k سطح زیر کشت (هکتار)، $Y_{\max k}$ حداکثر محصول، و P درآمد خالص محصول k است. $F_k(V_k)$ از زیرمدل قبل برآورد می‌گردد. محدودیت‌های سطح کشت و آب در دسترس از جمله قیود این زیر مدل می‌باشند. جزئیات دیگر این زیر مدل در مطالعه Moghaddasi et al. (2009) قابل ملاحظه است. با تکرار اجرای مدل به ازای احجام مختلف رهاسازی سالانه آب از مخزن (طبق سری تاریخی موجود) و برآورد درآمد متعاقب آن، رابطه عملکرد مخزن از لحاظ درآمد برآورد می‌شود که نتایج نهایی در تحقیق حاضر در رابطه ۸ و شکل ۶ قابل مشاهده است:

$$I_j = -0.0019 Q_j^{\,2} + 4.404 Q_j - 692.77 \qquad (۸)$$
$$550 \le Q_j \le 1250$$

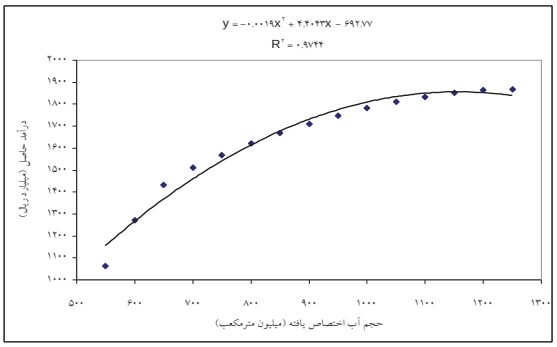
۳-۳-۳- محاسبه مقادیر بهینه ضرایب کاهش رهاسازی در سطوح مختلف خشکسالی

مانند قبل برای بهینه‌سازی ضرایب کاهش رهاسازی، توابع هدف و محدودیت‌های مربوط در الگوریتم ژنتیک دو هدفه در محیط MATLAB کدنویسی شد. مدل بهینه‌سازی در دوره شبیه‌سازی ۸۵-۱۳۳۷ اجرا شد و مجموعه‌ای از جواب‌ها بهینه پارتو بدست آمد. از بین مجموعه جواب‌های غیر پست، آنهایی انتخاب شدند که اولاً توابع هدف مرتبط با آن در بین جواب‌های بهینه پارتو در حد متوسطی باشد، ثانیاً در سطح نرمال هیچ کاهشی اعمال نکند یا مقدار این کاهش به صفر نزدیک باشد. نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک و ضرایب کاهشی بدست آمده در جدول ۳ ارائه شده است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بررسی وضعیت هشدار خشکسالی

جهت بررسی رفتار سیستم در بلند مدت، تعداد هشدارهای اعلام شده توسط این روش بدون اعمال ضرایب کاهش عرضه طی دوره شبیه‌سازی ۸۵-۱۳۳۷ محاسبه شد. همچنین تغییرات حجم ذخیره و کمبود طی این دوره، در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است. قابل ذکر است مدل DEWS، ۳۴ مورد هشدار برای خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید اعلام نموده و این در حالیست که سیستم طی دوره شبیه‌سازی ۸۵-۱۳۳۷ در ۲۹ مورد با کمبود روبرو بوده است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل DEWS در اعلام هشدار برای خشکسالی‌های شدید مناسب عمل نموده است.



شکل ۶- تابع درآمد شبکه کشاورزی زرینه‌رود در سال ۱۳۸۶

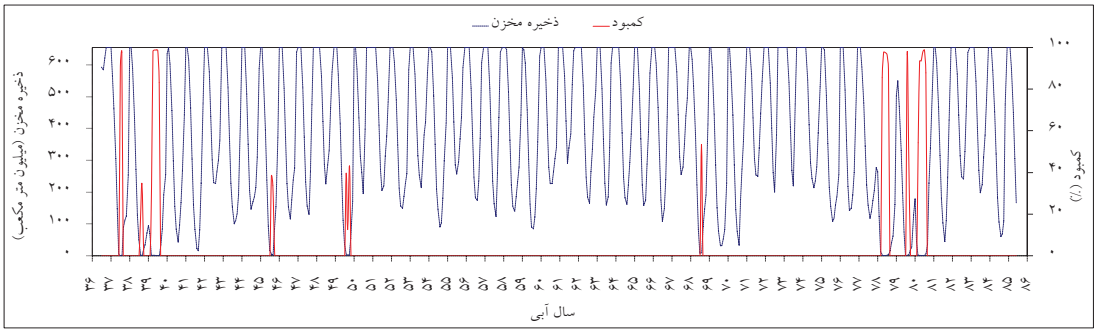
جدول ۳- نرخ کاهش رهاسازی در سطوح مختلف

سطح کاهش رهاسازی (درصد)	سطوح هشدار (WL)
۰	سطح ۰
۱۲	سطح ۱
۲۹	سطح ۲
۴۱	سطح ۳
۵۰	سطح ۴

نتایج بررسی رفتار ماهانه مدل در اعلام هشدار در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس آستانه‌های هشدار، هشدار برای شدیدترین وضعیت خشکسالی (سطح ۴) طی ماه‌های اردیبهشت تا مهر صورت می‌گیرد. آنچنان که از این شکل دیده می‌شود، در ماه‌های آذر تا اسفند هشدار برای خشکسالی تنها در سطح ۱ صورت گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

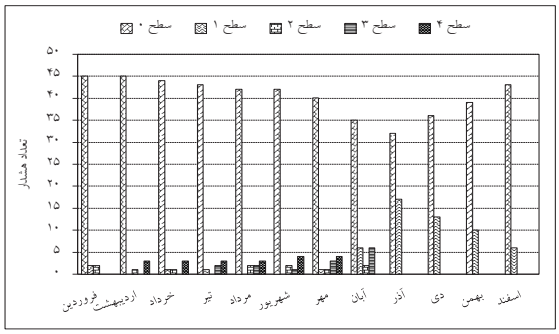


شکل ۷- شبیه‌سازی سیستم منابع آب زرینه‌رود بدون اجرای اقدامات مدیریتی

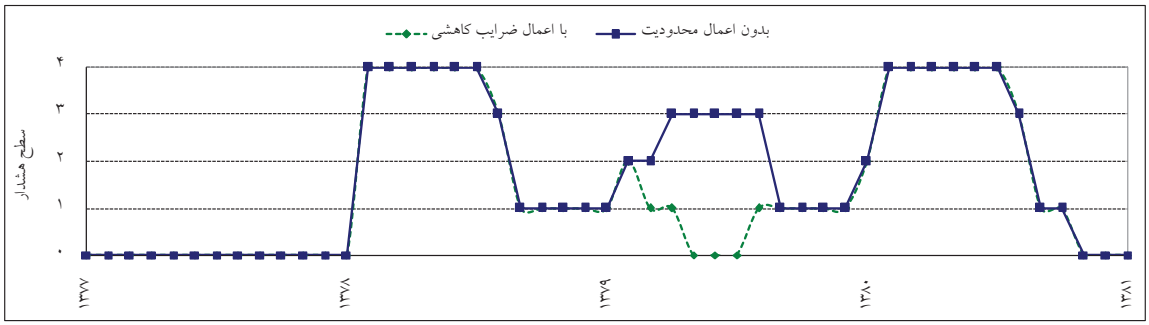
برای بررسی اعلام هشدار مدل در دوره خشکسالی شاخص منطقه، در ابتدا لازم بود تا خشکسالی‌های مهم این دوره شناسایی شوند. از شکل ۷ ملاحظه می‌شود، دو دوره خشکسالی شدید طی دوره شبیه‌سازی رخ داده است. دوره اول خشکسالی سال‌های ۱۳۳۷ تا ۱۳۳۹ و دوره دوم از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۰ می‌باشد. بر اساس این شکل، در این دوره‌ها حجم ذخیره بسیار کم و در برخی ماه‌ها کاملاً تخلیه و سیستم با کمبودی تا بیش از ۹۰ درصد مواجه شده است. در مجموع خشکسالی سال ۱۳۷۷ لغایت ۱۳۸۰ بدترین خشکسالی این دوره بوده است که می‌توان برای بررسی مدل مورد استفاده قرار داد. عملکرد سیستم طی این دوره در شکل ۹ قابل مشاهده می‌باشد.

۴-۲- بررسی اثر اعمال ضرایب بهینه کاهشی

با اعمال ضرایب کاهشی بدست آمده بر سطوح هشدار اعلام شده توسط مدل DEWS، نتایج تغییرات سطوح هشدار طبق شکل ۱۰ بدست می‌آید. همانگونه که از این شکل ملاحظه می‌گردد، تعیین سطوح کاهشی اثر قابل توجهی بر کاهش تعداد هشدار سطح سه در مدل DEWS داشته، بطوریکه مقدار آن از ۱۴ در حالت بدون مدیریت به ۳ در حالت اعمال کاهش رسیده است. همچنین مشاهده می‌شود که تعداد هشدار در سطوح دو تا چهار با اعمال ضرایب کاهشی به ترتیب ۱۸، ۸۰ و ۱۰ درصد، کاهش یافته است. بطوریکه کاهش در اعلام هشدار سطوح دو تا چهار در پی داشته است. تعداد هشدار در سطوح صفر و یک نیز افزایش داشته است. با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که مدل DEWS با کاهش اعلام هشدار برای خشکسالی از توانایی مناسبی در مدیریت خشکسالی و تغییر وضعیت از شرایط شدید خشکسالی به حالات نرمال و نزدیک به نرمال برخوردار است.



شکل ۸- تعداد هشدار خشکسالی در ماه‌های مختلف طی دوره شبیه‌سازی ۸۵-۱۳۳۷ بدون اعمال محدودیت

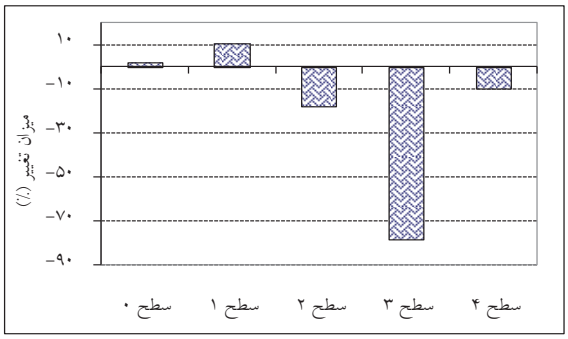


شکل ۹- سطح هشدار خشکسالی طی دوره خشکسالی ۸۰-۱۳۷۷

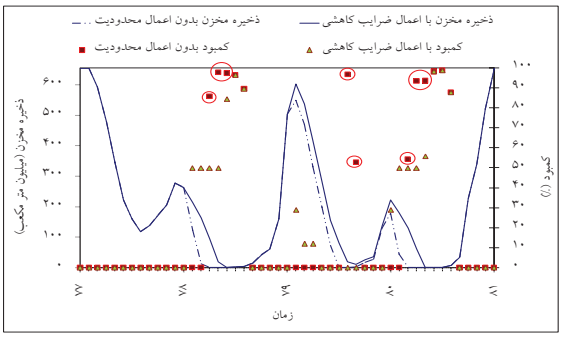
www.SID.ir

Archive of SID

نحوه تغییرات ذخیره مخزن و میزان کمبود، با اعمال ضرایب کاهشی و بدون اعمال آنها طی دوره خشکسالی شاخص منطقه در شکل ۱۱ ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد با اعمال کاهش رهاسازی، ذخیره مخزن افزایش یافته و از تعداد ماه‌هایی که در آنها تخلیه کامل صورت گرفته بود، کاسته شده است. همچنین، ایامی که سیستم در آنها با کمبود بالا مواجه شده بود نیز کاهش یافته است. ملاحظه می‌گردد که مدل DEWS در شش ماه کمبود بالای هشتاد درصد را به مقادیر پایین‌تر (کمتر از پنجاه درصد) کاهش داده است. همچنین در دو مورد کمبودهای نزدیک به پنجاه درصد را کاهش داده است.



شکل ۱۰- درصد تغییرات سطوح هشدار در اثر اعمال ضرایب کاهش بهینه شده



شکل ۱۱- تغییرات ذخیره و کمبود با و بدون اعمال ضرایب کاهشی طی دوره خشکسالی ۸۰-۱۳۷۷

شکل ۱۲ نیز تغییرات سطح هشدار را در اثر اعمال ضرایب کاهشی در دوره خشکسالی شاخص منطقه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد اعمال ضرایب کاهشی، سطح هشدار را در برخی ایام کاهش داده، بطوریکه این کاهش بیشتر در اواسط سال ۱۳۷۹ روی داده است. بیشترین تغییر سطح هشدار از سطح سه به سطح صفر تنزل یافته است.

در ادامه جهت ارزیابی دقت مدل در اعمال کاهش عرضه، کمبودهای واقعی در برابر کمبودهای اعمال شده توسط مدل مقایسه می‌شوند. بدین منظور مدل شبیه‌سازی، اجرا و ضرایب کاهش مرتبط بدست می‌آید. برای محاسبه میزان کمبود واقعی نیز مجموع ذخیره مخزن در ابتدای ماه و جریان در شش ماه آینده با استفاده از داده‌های مشاهداتی محاسبه و اختلاف آن از مجموع تقاضا تا شش ماه آینده برآورد می‌گردد. بدین ترتیب کمبود واقعی بر اساس سری تاریخی جریان حاصل می‌شود.

شکل ۱۲- تغییرات سطوح هشدار در اثر اعمال ضرایب کاهشی بر اساس هشدار در ابتدای سال

با توجه به موارد فوق، میزان کمبود واقعی و مقادیر پیشنهادی محاسبه شدند و نتایج نشان داد که کاهش‌های اعمال شده توسط مدل DEWS در ۸۰ درصد از ایام برابر کمبود واقعی در آینده بوده است که قابلیت این مدل را تائید می‌کند.

۴-۳- ارزیابی نتایج در ابتدای سال زراعی

با توجه به اینکه تصمیم‌گیری برای کشت محصولات یکساله معمولاً در ابتدای سال زراعی (اول فروردین) و بر اساس میزان آب در دسترس و پیش‌بینی‌ها انجام می‌گیرد و تعهدات سازمان‌ها عموماً در این زمان مشخص می‌گردد، این بخش به ارزیابی مدل‌ها در این مقطع می‌پردازد. در منطقه مطالعاتی نیاز کشاورزی در شش ماهه اول نزدیک به ۸۵ درصد کل سالانه را تشکیل می‌دهد، لذا افق شش ماهه برای مدیریت عرضه انتخاب شد. در این بخش نتایج مدل و هشدارها تنها در ابتدای فروردین و تصمیم‌گیری برای رهاسازی آب تا شش ماه آینده ارائه می‌گردد.

به این منظور ضرایب کاهش عرضه، مطابق جدول ۳ بر رهاسازی آب در نیمه اول سال اعمال می‌شود. تغییر سطوح هشدار مختلف در اثر این شیوه مدیریتی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مطابق شکل مدیریت عرضه بر اساس هشدار اعلام شده بوسیله مدل DEWS در ابتدای سال، سطوح یک، سه و چهار را کاهش و مابقی

www.SID.ir

Archive of SID

سطوح را افزایش داده است. بر اساس این شکل می‌توان نتیجه گرفت که مدل با کاهش ۲۹ و ۳۴ درصدی هشدار سطوح سه و چهار، می‌تواند به شکل مناسبی از شدت بالای خشکسالی بکاهد.

۴-۴- سناریوی تأمین نیاز زیست‌محیطی دریاچه

بر اساس تفاهم‌نامه‌ای که در سال ۱۳۸۷ بین معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان حفاظت محیط زیست، وزیر نیرو، وزیر کشاورزی و استانداران استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان تصویب شد، مقرر گردید که برای رفع مشکل زیست محیطی دریاچه ارومیه سالانه ۳/۱ میلیارد متر مکعب از منابع آبی حوضه دریـــاچه ارومیه به نیاز زیـــست محیطی آن اختصاص یابد (Anonymous, 2010). با توجه به اینکه جریان ورودی به حوضه آبریز زرینه‌رود تقریباً یک چهارم جریان ورودی به حوضه دریاچه ارومیه را تشکیل می‌دهد (Jalili, 2010)، لذا سهم حوضه رودخانه زرینه‌رود در تأمین نیاز آبی دریاچه معادل ۷۷۵ میلیون متر مکعب برآورد شد.

در ادامه حقابه فوق در قالب سناریوی جدیدی به مدل معرفی شد. در این سناریو فرض می‌گردد که توزیع ماهانه حقابه دریاچه از توزیع ماهانه جریان‌های سطحی حوضه زرینه‌رود پیروی می‌کند. همچنین برداشت آب از سد نیز برای تأمین نیازهای شرب و صنعت در اولویت اول، نیاز دریاچه در اولویت دوم و نیاز کشاورزی در اولویت سوم قرار دارد. جهت محاسبه شاخص هشدار خشکسالی (*DAI*) در این سناریو، وضعیت خشکسالی (پارامتر *D*) بر اساس آستانه‌های حجم مخزن (شکل ۳) تعیین و طبقات شدت خشکسالی (پارامتر *S*) بر اساس جدول ۴ محاسبه می‌شوند. در ادامه مدل بهینه‌سازی قبل با توابع هدف و محدودیت‌های جدید مجددا اجرا شد و ضرایب کاهشی در سطوح مختلف محاسبه و مطابق جدول ۵ بدست آمد.

جدول ۴- طبقه‌بندی سطوح کمبود در سناریوی تأمین نیاز دریاچه

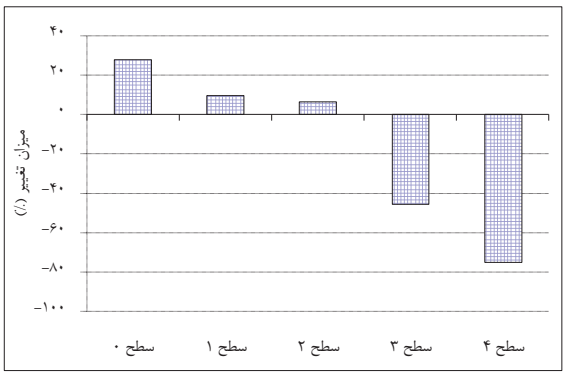
شاخص کمبود شش‌ماهه(*DR*) ٪	سطوح کمبود (*S*)
۰ –۹	نرمال (۱)
۹–۲۷	کمی زیاد (۲)
۲۷–۵۰	نسبتاً زیاد (۳)
۵۰–۷۳	زیاد (۴)
>۷۳	خیلی زیاد (۵)

اثر اعمال ضرایب کاهشی بهینه شده بوسیله الگوریتم ژنتیک بر تغییر سطوح هشدار طی دوره شبیه‌سازی ۸۵-۱۳۳۷ در شکل ۱۳ ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد که اعمال ضرایب کاهشی با تسکین خشکسالی‌های شدید، تعداد سطوح هشدار سه و چهار را کاهش داده و بر تعداد هشدار سطوح صفر، یک و دو افزوده است.

جدول ۵- ضرایب کاهش رهاسازی در سناریوی تأمین نیاز دریاچه

سطح کاهش رهاسازی	سطوح هشدار (*WL*)
۰	سطح ۰
۱۴	سطح ۱
۲۸	سطح ۲
۴۵	سطح ۳
۶۵	سطح ۴

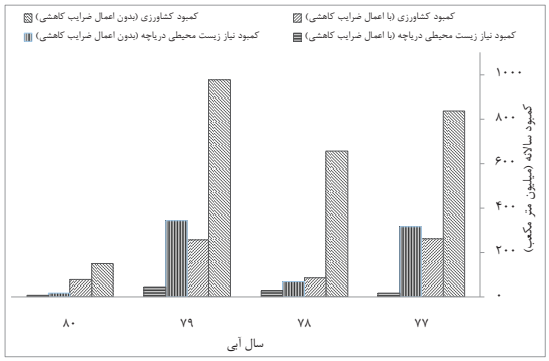
با اعمال ضرایب کاهشی تعداد ماه‌های دارای کمبود (در تأمین نیاز دریاچه) از ۶۶ به ۲۴ مورد کاهش یافت. اعمال ضرایب کاهشی طی دوره خشکسالی شاخص منطقه اثر قابل توجهی بر کمبود در تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه داشته است. بطوریکه در ۱۴ ماه از این دوره، کمبودهای بالاتر از پنجاه درصد را به مقادیر کمتر از سی درصد کاهش داده است. تغییرات کمبود سالانه در تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه و نیاز کشاورزی در اثر اعمال ضرایب کاهشی طی دوره خشکسالی شاخص منطقه در شکل ۱۴ آمده است. ملاحظه می‌گردد که اعمال ضرایب کاهشی بویژه در سال‌های آبی ۱۳۷۷ و ۱۳۷۹ به میزان قابل توجهی از کمبود نیاز زیست محیطی دریاچه کاسته است، بگونه‌ای که در این دو سال به ترتیب کمبودهای ۳۱۶ و ۳۴۴ به مقادیر ۱۷ و ۴۵ میلیون متر معکب در سال تغییر یافته است.



شکل ۱۳- درصد تغییرات سطوح هشدار طی دوره شبیه‌سازی ۸۵-۱۳۳۷ با ضرایب کاهشی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴- تغییرات کمبود سالانه (در تأمین نیاز دریاچه) با و بدون اعمال ضرایب کاهشی طی دوره خشکسالی ۸۱-۱۳۷۷

علی‌رغم اینکه تأمین نیاز کشاورزی در اولویت پایین‌تری نسبت به تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه قرار دارد، اعمال ضرایب کاهشی تأثیر زیادی نیز بر کاهش کمبود در این بخش گذاشته است. از شکل ۱۴ ملاحظه می‌گردد که کمبود در تأمین نیاز کشاورزی طی سالهای ۱۳۷۷ الی ۱۳۷۹ به ترتیب از مقادیر ۸۳۸، ۶۵۷ و ۹۷۸ به ۲۶۱، ۸۶ و ۲۵۷ میلیون متر مکعب کاهش یافته است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق تلاشی بود جهت ارائه روش‌شناسی برای توسعه سیستمی توام پایش و ارائه همزمان اقدامات تسکین برای مدیریت خشکسالی. بدین منظور از اطلاعات سد و سیستم منابع زرینه‌رود به عنوان منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا کاهش رهاسازی از مخزن در هر سطح خشکسالی، اقدامی بود که برای مدیریت رهاسازی انتخاب و برای هر سطح اعمال گردید. جهت تعیین بهینه ضرائب کاهش مربوط، الگوریتم ژنتیک چند هدفه نخبه‌گرا (NSGA-II)، با دو هدف حداقل کردن کمبودهای بالا و حداکثر کردن درآمد به کار گرفته شد.

شبیه‌سازی سیستم برای دوره‌های تاریخی خشکسالی با مصرف فعلی نشان می‌دهد که بدون اعمال مدیریت، در برخی از ماه‌ها مخزن کاملاً تخلیه و یا سیستم با کمبودهای بیش از ۹۰ درصد مواجه خواهد شد. این نتایج تاکیدی است بر اهمیت مدیریت خشکسالی و طراحی چنین سیستم‌هایی برای حوضه دریاچه ارومیه. بررسی تعداد هشدارهای اعلام شده توسط مدل، در حالتی که سیستم بدون اعمال ضرایب کاهشی شبیه‌سازی گردد، نشان داد که سیستم در خشکسالی‌های شدید، مناسب عمل می‌نماید. رفتار ماهانه مدل نشان داد که هشدار برای خشکسالی‌های شدید بیشتر در نیمه اول سال صورت گرفته است. تقاضای عمده برای آب در شش ماهه اول سال را می‌توان از دلایل چنین اعلام هشداری از سوی مدل دانست. قابل توجه می‌باشد که در پنج ماه پایانی سال این مدل هیچ هشداری را با سطح چهار اعلام نکرده است. دلیل این امر را می‌توان در توزیع جریان ورودی به مخزن جستجو نمود. بطوریکه بیشترین جریان ورودی به مخزن در زمستان و بهار صورت می‌گیرد.

بهینه سازی ضرایب کاهشی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه بطور مطلوبی امکان برآورد ضرائب را فراهم ساخت و می‌تواند برای انواع دیگر سیستم‌های هشدار مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق اهداف حداکثر کردن درآمد و حداقل کردن وقوع کمبودهای بالا تعریف شدند ولی می‌توان اهداف بیشتری را نیز اضافه نمود.

اعمال ضرایب کاهشی در کل دوره شبیه‌سازی، اعلام هشدار برای خشکالی را کاهش داد و بر تعداد ماه‌های با وضعیت نرمال افزود. اعمال این ضرایب بهینه شده در دوره خشکسالی شاخص منطقه باعث جلوگیری از تخلیه کامل مخزن در برخی از ماه‌ها طی این دوره شد و همچنین مشاهده گردید، ایامی که سیستم در آنها با کمبود بالا مواجه شده بود، نیز کاهش یافته است. با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که مدل DEWS با کاهش اعلام هشدار برای خشکسالی از توانایی مناسبی در مدیریت خشکسالی و تغییر وضعیت به حالت نرمال برخوردار است.

در این مطالعه رویکرد تصمیم‌گیری در ابتدای سال زراعی برای رهاسازی آب در آینده نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این نوع تصمیم‌گیری نشان داد که کاهش حدوداً ۳۰ درصدی هشدار برای خشکسالی‌های شدید از تغییرات قابل ذکر در اثر این نوع مدیریت کاهش رهاسازی می‌باشد و لذا انتخاب این مدل برای مدیریت عرضه بر اساس تصمیم‌گیری در ابتدای سال نیز توصیه می‌گردد.

اجرا و ارزیابی سیستم در شرایطی که تأمین حقآبه جدید دریاچه برابر ۷۷۵ میلیون متر مکعب در سال اضافه شود، نشان داد که این سیستم توانسته است موارد مواجهه با کمبود در تأمین حقابه‌ی زیست محیطی دریاچه را تقریباً تا یک سوم کاهش دهد. بدیهی است که تأمین این آب، بر درآمد بخش کشاورزی اثرگذار است. بررسی اقتصادی این کاهش درآمد به درک بهتر سیستم و مدیریت خشکسالی دریاچه ارومیه کمک خواهد نمود. لذا پیشنهاد می‌گردد در ادامه این تحقیق یک مطالعه اقتصادی در زمینه کاهش درآمد ناشی از واگذاری حقابه کشاورزی به دریاچه صورت پذیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

در این مطالعه نتایج حاصل از رویکرد هشدار و مدیریت خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که نتایج بدست آمده از مدل DEWS دقیق و قابل قبول بوده و از این رو استفاده از این روش توصیه می‌گردد.

۶- مراجع

Anonymous (2010) Comprehensive management plan for Urmia lake, conservation of Iranian wetlands project. Iran's Department of Environment (In Persian).

Anonymous (2001) Database of optimized agricultural water use pattern, AGWAT V.1.03, Meteorological Organization of Iran (In Persian).

Deb K (2001) Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester. England, 518 p.

Doorenbos J, Kassam AH (1997) Yield response to water, irrigation and drainage. Paper 33. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy. 39.

Garrote L, Martin-Carrasco F, Flores-Montoya F, Iglesias F (2007) Linking drought indicators to policy actions in the Tagus basin drought management plan. Water Resour Manage. 21:873–882.

Gholamzadeh M (2009) Drought early warning system based on risk and uncertainty in Zayandehrud dam operation. MSc Thesis. Tarbiat Modares University (In Persian).

Gholamzadeh M, Morid S, Delavar M (2011) Application of drought early warning system for operation of Zayandehrud dam. JWSS - Isfahan University of Technology. 56:35-48 (In Persian).

Huang WC, Chou CC (2008) Risk-based drought early warning system in reservoir operation. Adv. in WaterResour. 31: 649–660.

Iglesias A, Garrote L, Cancelliere A, Cubillo F, Wilhite DA (2009) Coping with drought risk in agriculture and water supply systems. Drought management and policy development in the mediterranean .Series: Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 26. XVIII, 322 p

Hayes M, Svoboda M, Wall N, Widhalm m (2011) The Lincoln declaration on drought indices. American Meteorological Society. 485-488. DOI:10.1175/2010BAMS3103.1.

Huang WC, Chou CC (2005) Drought early warning system in reservoir operation: theory and practice. Water Resour Res 41. doi:10.1029/ 2004WR003830. W11406.

International strategy for disaster reduction, (2004) Terminology: Basic terms of disaster reduction. [Available online at www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng-p.htm.]

Jalili Sh (2010) Spectral analysis of lake Urmia level time series and impact of climate and hydrologic variables on It. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University (In Persian).

Moghaddasi M (2009) Strategies for operation of reservoir dams with emphasis on optimized management of water demand and supply in drought periods. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University (In Persian).

Moghaddasi M, Araghinejad Sh, Morid S (2009) Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: Case study of Zayandeh-Rud Reservoir, Iran. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 136(5):309-316.

Wilhite DA, Sivakumar MVK, Pulwarty R (2014) Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. Weather and Climate Extremes 3:4–13.

www.SID.ir