

## سیستم هوشمند تخصیص منابع آب برای کاهش تأثیرات کمبود آب در مخزن (مطالعه موردی: سد مخزنی بوکان)

پریسا یوسفی<sup>۱</sup>، مجید منتصری<sup>۲\*</sup>، وحید رضاوردی نژاد<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲. استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۱۸؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۹/۳۰)

### چکیده

پژوهش حاضر یک طرح تخصیص اصولی آب را برای سد مخزنی بوکان، واقع در شمال غرب ایران ارائه می‌دهد. در این طرح قواعدی تنظیم می‌شود که هنگام مواجهه سیستم با کمبود جدی آب، درصدی آیش برای محصولات زراعی اعمال شود تا تقاضای سایر بخش‌ها تا حد مد نظر ارضا شود و نسبت کمبود آب در همه بخش‌ها از حد قابل قبولی تجاوز نکند. به این منظور، ابتدا نسبت کمبود ماهانه آب برای دو بخش شرب و کشاورزی برای دوره تاریخی ۱۳۷۴-۱۳۹۲ محاسبه شده و با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means به پنج سطح طبقه‌بندی شد تا آستانه‌های کمبود آب در مخزن مشخص شود. سپس، با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن پرداخته شد و میزان آیش بهینه برای هر سال زراعی (۱۳۸۶-۱۳۹۲) تعیین شد. همچنین، به منظور بررسی تأثیر میزان راندمان آبیاری و اعمال نیاز زیست‌محیطی بر میزان آیش مورد نیاز، شش سناریو اعمال شد و در هر بار اجرا، سه راندمان آبیاری ۳۵/۵، ۴۵ و ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. نتایج بیان می‌کند که با افزایش راندمان آبیاری، به آیش کمتری نیاز است و با اعمال این آیش سیستم تا حد قابل قبولی می‌تواند نیاز پایین دست خود را تحویل دهد، در نتیجه باید اقدامات افزایش راندمان آبیاری در دستور کار مدیران آب قرار گیرد. همچنین، در صورت در نظر نگرفتن نیاز زیست‌محیطی پایین دست مخزن، با اینکه میزان آیش مورد نیاز کمتر است، بدیهی است که برای دستیابی به مدیریت پایدار و همچنین حفظ دریاچه ارومیه، باید نیاز زیست‌محیطی نیز در مسائل بهره‌برداری از مخزن در نظر گرفته شود.

**کلیدواژگان:** آیش، الگوریتم ژنتیک، تخصیص آب، خوشه‌بندی K-means، سد بوکان.

## مقدمه

در سال‌های اخیر، تقاضای آب به دلیل رشد جمعیت و توسعه بخش‌های کشاورزی، افزایش چشمگیری یافته است و کمبود آب در بیشتر مناطق جهان به یک مسئله نگران‌کننده تبدیل شده است [۱]. بدیهی است که در مدیریت منابع آب، مخازن ذخیره آب، مهم‌ترین و مؤثرترین سامانه‌های آبی برای ایجاد تعادل بین تأمین و تقاضای آب هستند. بنابراین، برای جلوگیری از ایجاد شکاف بین تأمین و تقاضای آب و شکست این سامانه‌ها لازم است که برنامه‌ریزی دقیقی برای مقابله با خشکسالی و کمبود آب در آن‌ها در نظر گرفته شود [۲ و ۳]. در بیشتر مناطق جهان، قسمت عمده آب به مصرف کشاورزی می‌رسد و به طور کلی، این بخش اولین بخشی است که تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد [۴]، اما هنگام وقوع خشکسالی‌های شدید، بخش شرب، نسبت به بخش کشاورزی، اولویت بیشتری از نظر تخصیص آب دارد. در نتیجه، صرفه‌جویی در آب از طریق آیش گذاشتن بخشی از زمین‌های کشاورزی، می‌تواند یکی از استراتژی‌های مهم برای بهبود شرایط کمبود آب در بهره‌برداری از مخازن باشد. البته، بدیهی است که تغییرات جزئی در تخصیص آب بخش کشاورزی می‌تواند بر معیارهای اجتماعی و اقتصادی تأثیر بسزایی داشته باشد [۵]. در برخی از مناطق جهان نیز، آب آبیاری اغلب به عنوان یک منبع، برای تخصیص مجدد آن برای بخش شرب و صنعت طی دوره خشکسالی در نظر گرفته شده است [۶ و ۷].

برای درک بهتر وضعیت مخزن از نظر تأمین آب برای هر یک از مصرف‌کنندگان می‌توان از الگوریتم‌های مختلف خوشه‌بندی استفاده کرد. الگوریتم خوشه‌بندی K-means در سال ۱۹۶۷ توسط مک کوئین [۸] ارائه شده است. در این روش، هر خوشه توسط مرکز خود، که میانگین وزنی یا غیروزنی بردارهای مشخصه موجود در خوشه است، معرفی می‌شود. این الگوریتم به مراکز اولیه خوشه‌ها، که به طور تصادفی انتخاب می‌شوند، حساس است. بنابراین، انتخاب اولیه مراکز خوشه‌ها به صورت بهینه، یکی از مسائل مهم در استفاده از این الگوریتم است [۹].

سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن بیشتر به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱. استخراج قواعد بهره‌برداری بر اساس تحلیل‌های برنامه‌ریزی مخزن؛ ۲. استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری توسط شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن

و ۳. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای بهره‌برداری به‌موقع مخزن [۱۰]. در سال‌های اخیر، به دلیل ارتقایافتن توان محاسباتی و ظرفیت ذخیره کامپیوترها، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در بهره‌برداری از مخازن رواج یافته است [۱۱-۱۳].

الگوریتم ژنتیک روشی برای حل مسائل بهینه‌سازی بر اساس نظریه انتخاب طبیعی داروین است که در سال‌های اخیر، استفاده از آن در زمینه بهره‌برداری از مخزن گسترش یافته است. به طور مثال، سونالیا و سورینالیا [۱۴] با استفاده از الگوریتم ژنتیک به توسعه سیاستی به منظور بهینه‌سازی رهاسازی آب برای بخش کشاورزی در مخزن یوکای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با به‌کارگیری این الگوریتم در مخزن یادشده، تقاضای کشاورزی پایین‌دست ارضا می‌شود و میزان رهاسازی کاهش می‌یابد و به ذخیره میزان درخور توجهی از آب منجر می‌شود. همچنین، دویشری و ناوشاجا [۱۵] الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی بهره‌برداری مخزن چندهدفه پیچی به کار گرفتند. آن‌ها تشخیص دادند که GA می‌تواند برای برنامه‌ریزی کارآمد هر سیستم مخزنی استفاده شود. زهرایی و حسینی [۱۶] الگوریتم ژنتیک را برای جست‌وجوی میزان بهینه رهاسازی آب آبیاری از طریق تغییردادن متغیرهای کنترل را به کار بردند. پامار و پامار [۱۷] در پژوهش خود به منظور توسعه سیاستی برای بهینه‌سازی رهاسازی آب برای بخش کشاورزی در مخزن سوکی، از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و نتیجه گرفتند که با این تکنیک می‌توان آب درخور توجهی را در مخزن ذخیره کرد. منزو و همکارانش [۱۸] در پژوهشی تأثیرات سه استراتژی رایج مدیریت خشکسالی (افزایش رهاسازی، کاهش تقاضا و اجرای قوانین جیره‌بندی) را بر عملکرد سیستم مخزن چندمنظوره اوکلاهما بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد گرچه کاهش تقاضا و افزایش رهاسازی آثار مشابهی دارند، کاهش تقاضا ارجح‌تر است.

همچنین، در زمینه کاستن تأمین آب بخش کشاورزی، چانگ و وانگ [۱۹] با میزان کاستن‌های مختلف تأمین آب کشاورزی، با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی سطوح کمبود آب را در بخش‌های شرب و کشاورزی به دست آوردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد با استفاده از روش به کار گرفته‌شده می‌توان آب محدود را به طور مناسب میان کاربران آب مخزن تخصیص داد. کارآموز

سیبزمینی و درختان میوه است. در پژوهش حاضر، محصولات گندم، جو، چغندر، یونجه به عنوان محصولات زراعی غالب و سیب، گیلان و انگور به عنوان محصولات باغی غالب در نظر گرفته شدند. داده‌های دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۲ اعم از جریان ماهانه ورودی به مخزن، ذخیره مخزن، میزان تقاضای شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی از مخزن، سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات غالب، میزان بارش ماهانه روی مخزن، میزان تبخیر ماهانه از مخزن، رابطه سطح-حجم مخزن، میزان رهاسازی از مخزن برای بخش شرب و کشاورزی برای انجام پژوهش استفاده شدند. شایان یادآوری است که برای نیاز زیست‌محیطی پایین دست مخزن، از داده‌های ارائه شده در گزارش برآورد جریان زیست‌محیطی مهندسان مشاور یکم [۲۱] برای ایستگاه ساری‌قمیش (در موقعیت مخزن سد بوکان) استفاده شد.

#### روش‌ها

بدیهی است برای مقابله با وضعیت‌های خشکسالی در مخزن، تأمین مناسب آب برای تقاضاهای رقابتی ذی‌نفعان، شناسایی عوامل مختلف تأثیرگذار بر کمبود آب و نیز درک آثار فاکتورهای مهم بر تخصیص آب ضروری است. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، هدف این پژوهش تعیین میزان آیش بهینه برای محصولات زراعی در مواقعی است که مخزن با کمبود آب روبه‌رو می‌شود، به طوری که هم بخش کشاورزی و هم بخش شرب با کمبود جدی مواجه نشوند و همچنین حقایق زیست‌محیطی پایین دست مخزن نیز تا حدود زیادی ارضا شود. طرح تخصیص اصولی آب شامل به‌دست آوردن آیش بهینه محصولات زراعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با اعمال سناریوهای مختلف برای راندمان آبیاری و با اعمال شدن یا نشدن نیاز زیست‌محیطی پایین دست مخزن است. در ادامه، مراحل انجام مطالعه حاضر تشریح شده است.

#### محاسبه کمبود آب در مخزن

نسبت کمبود آب (SR) در یک دوره زمانی مشخص از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$SR = \begin{cases} \frac{D(t) - R(t)}{D(t)} * 100 & \text{if } D(t) > R(t) \\ 0 & \text{if } D(t) \leq R(t) \end{cases} \quad (1)$$

که در آن،  $SR$ ،  $D(t)$  و  $R(t)$  به ترتیب معرف نسبت کمبود آب، میزان تقاضا و آب رهاسازی شده از مخزن هستند.

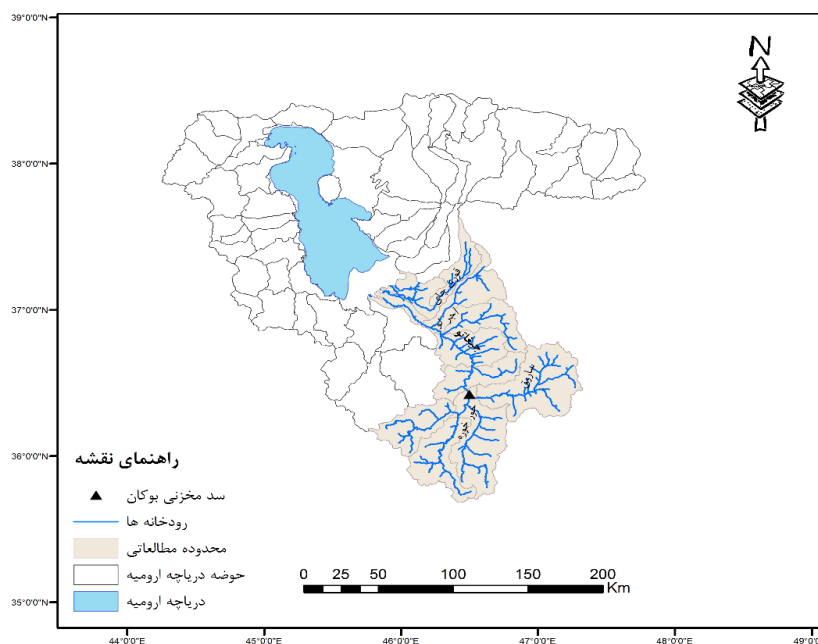
و همکارانش [۲۰] یک طرح برنامه‌ریزی احتمالی را برای بهره‌برداری از مخزن ستارخان اهر در دوره‌های خشکسالی با هدف کاهش دادن کمبودهای شدید آب و با اعمال اثر تغییر اقلیم توسعه دادند که در آن از قوانین جیره‌بندی استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد روش ارائه شده به کاهش کمبود آب و کاهش خسارت‌های خشکسالی در منطقه مطالعه شده منجر می‌شود.

در مطالعات قبلی، به منظور مقابله با کمبود آب در مخزن، از طریق بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن، به تعیین آیش روی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی پرداخته نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر قصد دارد یک طرح تخصیص اصولی آب را ارائه دهد که بتواند آثار خشکسالی و کمبود آب را در مخزن سد بوکان، با اعمال چند درصد آیش، بکاهد و در نتیجه قابلیت اعتماد مخزن را افزایش دهد. تعیین میزان بهینه آیش در محدوده مطالعه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد، با این هدف که پس از اعمال آیش، سیستم با کمبود جدی مواجه نشود و تقاضای پایین دست را به طور مناسب ارضا کند. به این منظور، ابتدا آستانه‌های کمبود آب در مخزن شناسایی شد. سپس، با اعمال آیش‌های مختلف، راندمان‌های آبیاری مختلف و اعمال شدن یا نشدن نیاز زیست‌محیطی پایین دست سد، وضعیت تأمین آب به بخش‌های شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی در همه شرایط یادشده بررسی شد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مطالعه شده

در مطالعه حاضر، سد مخزنی بوکان به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است (شکل ۱). این مخزن در سال ۱۳۴۶ روی رودخانه زربینه‌رود و در حد فاصل دو استان آذربایجان غربی و کردستان به ارتفاع ۵۰ متر از کف و با حجم ذخیره ۶۵۰ میلیون مترمکعب احداث شده است. پس از افزایش ارتفاع سد در سال ۱۳۸۴، حجم مخزن به میزان ۲۰۸ میلیون مترمکعب افزایش یافت. بیشترین هدف از احداث سد یادشده، تأمین آب شرب و کشاورزی است. وسعت اراضی زیر کشت پایین دست مخزن، حدود ۶۶ هزار هکتار است و الگوی کشت این منطقه شامل گیاهان گندم، جو، چغندر، یونجه، حبوبات، محصولات جالیزی، پیاز،



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی و سد مخزنی بوکان

برای ارزیابی خوشه‌بندی چندین روش وجود دارد که در اینجا از روش آزمون t-student استفاده شده است. در این روش، مقادیر حد بالا و پایین باند اطمینان هر خوشه برآورد و بررسی می‌شود تا خوشه‌ها هم‌پوشانی نداشته باشند. باند اطمینان  $(1-\alpha)$  درصد برای میانگین هر خوشه از رابطه ۳ تعیین می‌شود [۲۲]:

$$CI_{Mean} = Mean \pm (t_{\alpha,df} \times SD) \quad (3)$$

در رابطه یادشده  $CI_{Mean}$  حد بالا و پایین باند اطمینان  $(1-\alpha)$  درصد،  $Mean$  میانگین هر خوشه،  $t_{\alpha,df}$  مقدار توزیع t-student در سطح اطمینان  $(1-\alpha)$  درصد،  $df$  درجه آزادی و  $SD$  برابر  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  است (انحراف معیار هر خوشه و  $n$  اندازه هر خوشه است).

#### برآورد آیش بهینه محصولات زراعی

پس از تعیین وقوع کمبود آب در مخزن و سطح‌بندی کمبود آب در آن، لازم است اقدامات مدیریتی مناسبی ارائه شود. در این پژوهش، به تعیین میزان آیش بهینه محصولات زراعی بر اساس شاخص کمبود آب پرداخته می‌شود تا سیستم با کمترین خسارت مواجه شود. برای بهینه‌سازی آیش محصولات زراعی در سال‌های مختلف از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده شد. شایان یادآوری است که دلیل اعمال آیش بر محصولات زراعی این است

#### تعیین سطوح کمبود آب در مخزن

این اقدام به منظور درک بهتر وضعیت مخزن از نظر تأمین آب برای هر یک از بخش‌های شرب و کشاورزی صورت می‌گیرد. در این پژوهش، برای سطح‌بندی نسبت کمبود آب در مخزن، پنج خوشه در نظر گرفته شده است که با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means تعیین می‌شوند.

هدف از الگوریتم خوشه‌بندی K-means، کمینه‌کردن تابع هدف J است که با توجه به رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۸]:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|X_{ij} - c_j\|^2 \quad (2)$$

در رابطه یادشده،  $\|X_{ij} - c_j\|^2$  فاصله اقلیدوسی بین  $X_{ij}$  و  $c_j$  است و  $X_{ij}$  نقطه داده و  $c_j$  مرکز خوشه است. مراحل خوشه‌بندی K-means به این صورت است که: ۱. K خوشه اولیه به صورت تصادفی انتخاب شده و مراکز خوشه‌ها به طور جداگانه تعیین می‌شوند؛ ۲. هر نمونه داده به خوشه‌ای که مرکز آن خوشه کمترین فاصله تا آن داده را داراست، نسبت داده می‌شود؛ ۳. پس از تعلق همه داده‌ها به یکی از خوشه‌ها، برای هر خوشه یک نقطه جدید به عنوان مرکز محاسبه می‌شود (میانگین نقاط متعلق به هر خوشه)؛ ۴. مراحل ۲ و ۳ تکرار می‌شوند تا زمانی که دیگر تغییری در مراکز خوشه‌ها به وجود نیاید و تابع هدف کمینه شود.

که در آن،  $OF$  مقدار تابع هدف،  $t$  نشان‌دهنده مصرف‌کننده،  $t$  نشان‌دهنده ماه مد نظر،  $De_r(t)$  تقاضای پایین‌دست مصرف‌کننده  $t$ ام طی دوره بهره‌برداری و  $Re_r(t)$  میزان رهاسازی از مخزن برای مصرف‌کننده  $t$ ام طی دوره بهره‌برداری است.

محدودیت‌های مدل نیز شامل معادله پیوستگی، حجم هدررفت، میزان آب سرریز شده، کمینه و بیشینه حجم مخزن و شرط درون‌سالی در روابط ۵- ۱۰ ارائه شده‌اند.

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - Loss_t + Re_t - Sp_t \quad \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5)$$

که در آن،  $S_{t+1}$  حجم ذخیره مخزن در ابتدای دوره بهره‌برداری  $t+1$ ام،  $S_t$  حجم ذخیره مخزن در ابتدای دوره بهره‌برداری  $t$ ام،  $Q_t$  حجم آورد ماهانه به مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام،  $Loss_t$  حجم هدررفت آب از مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام و  $Sp_t$  حجم آب خروجی از سرریز مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام است.

$$Loss_t = A_t \times Ev_t \quad \forall t = 1, \dots, 12 \quad (6)$$

که در آن،  $A_t$  سطح دریاچه مخزن در ابتدای دوره بهره‌برداری  $t$ ام و  $Ev_t$  ارتفاع هدررفت از مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام هستند. درخور یادآوری است که سطح دریاچه تابعی از حجم ذخیره مخزن است که در رابطه ۷ مشاهده می‌شود.

$$A_t = G[S_t] \quad \forall t = 1, \dots, 12 \quad (7)$$

که در آن  $G$  نشان‌دهنده تابع است. اگر طی دوره بهره‌برداری  $t+1$ ام بر اثر ورود آب به مخزن، حجم ذخیره از حجم بیشینه بیشتر شود، مازاد آب سرریز خواهد شد. بنابراین، در دوره بهره‌برداری  $t$ ام، ابتدا رهاسازی براساس تأمین نیاز صورت می‌گیرد و پس از آن شرایط سرریز شدن بررسی می‌شود. میزان آب سرریز شده طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام مطابق رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$Sp_t \times \left(1 - \frac{S_{t+1}}{S \max_t}\right) = 0 \quad \forall t = 1, \dots, 12 \quad (8)$$

که در آن،  $S \max_t$  حجم ذخیره بیشینه مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام است. همچنین، محدودیت مربوط به کران پایینی و بالایی حجم مخزن، مطابق رابطه ۹ در نظر گرفته می‌شود:

که تغییر الگوی کشت یا اعمال آیش روی محصولات زراعی نسبت به محصولات باغی آسان‌تر است.

### الگوریتم ژنتیک

در این الگوریتم، باید تعدادی کروموزوم، که هر یک از آنها یک عضو جمعیت نامیده می‌شوند، تعریف شوند. هر کروموزوم متشکل از چندین ژن است که در مسائل مهندسی، ژن‌ها همان متغیرهای تصمیم‌اند. طی فرایند تکامل، عملگرهای انتخاب و عملگرهای تولید (تزیوج و جهش) برای رسیدن به جواب بهینه و جست‌وجوی فضای تصمیم، اعمال می‌شوند. گزینش تعدادی از کروموزوم‌های برتر یک نسل به منظور ایجاد کروموزوم‌های نسل بعد، توسط عملگر انتخاب انجام می‌شود. به این منظور، برای جلوگیری از گرفتار شدن الگوریتم در بهینه‌های موضعی، فرایند انتخاب با استفاده از روش‌های تصادفی صورت می‌پذیرد. پس از فرایند انتخاب، نمایه اصلی که در فرایند تزیوج مطرح می‌شود، احتمال تزیوج (pc) است که میزان یا تعداد دفعات انجام فرایند تزیوج را تعیین می‌کند. فرایند جهش نیز احتمال جهش (pm) دارد که تعیین‌کننده میزان یا تعداد دفعات انجام فرایند جهش در همه ژن‌های کروموزوم است. به طور کلی، می‌توان گفت که تزیوج، فرایندی برای تولید کروموزوم‌های جدید و جهش فرایندی برای جست‌وجوی کامل‌تر فضای تصمیم است.

درخور یادآوری است که در این مطالعه، برای ارزیابی کارایی الگوریتم ژنتیک، از تابع کره استفاده شد که یک تابع پیوسته، به شدت محدب، تک‌قله‌ای و چندمتغیره است که براساس این خصوصیات، تقریباً همه الگوریتم‌های بهینه‌سازی قادر به یافتن جواب بهینه مطلق آن هستند. در اجرای تابع ریاضی یادشده توسط GA، بازه تحلیل حساسیت نمایه‌های pc و pm در GA به ترتیب بین بازه [۱ و ۰/۰۱] و [۰/۵ و ۰/۰۱] با فواصل ۰/۰۱ انتخاب شده‌اند.

### تابع هدف و محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی

تابع هدف به صورت حداقل‌سازی اختلاف میان تأمین و تقاضای آب در ماه‌های مختلف و در سه بخش شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شد که مطابق رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$\text{Minimize } OF = \sum_{r=1}^3 \sum_{t=1}^{12} (De_r(t) - Re_r(t))^2 \quad (4)$$

تأمین بر تعداد کل دوره بهره‌برداری است و مطابق رابطه ۱۱ به دست می‌آید:

$$Rel_N = \frac{\sum_{t=1}^T \begin{cases} Re_t \geq De_t & 1 \\ \text{Otherwise} & 0 \end{cases}}{T} \quad (11)$$

که در آن،  $Rel_N$  اعتمادپذیری تعدادی است. با توجه به رابطه ۱۱، بازه تغییرات  $Rel_N$  بین صفر و یک است. عدد یک به معنای پیروزی و عدد صفر به معنای شکست است. معیار آسیب‌پذیری نیز شدت نسبی شکست سامانه را نشان می‌دهد و تأکیدی بر اینکه شکست اتفاق افتاده، چند دوره طول می‌کشد، ندارد، بلکه بر میزان شدت شکست تأکید دارد. در این پژوهش، آسیب‌پذیری به عنوان بیشترین کمبود (شکست) نسبی رخ داده در سامانه طی دوره بهره‌برداری، مطابق رابطه ۱۲ تعریف می‌شود:

$$Vul = Max\left(\frac{Deficit_t}{De_t}\right) \quad (12)$$

که در آن،  $Vul$  آسیب‌پذیری و  $Deficit_t$  حجم کمبود برای مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام است. بر اساس رابطه ۱۲، بزرگ‌ترین شکست نسبی طی دوره بهره‌برداری محاسبه می‌شود و سپس از بین بزرگ‌ترین شکست‌های مخزن، بزرگ‌ترین شکست نسبی به عنوان معیار آسیب‌پذیری سامانه در نظر گرفته می‌شود. درخور یادآوری است که مقدار  $Vul$  نیز بین صفر تا یک تغییر می‌کند.

### نتایج

هدف پژوهش حاضر، ارائه یک طرح تخصیص اصولی آب برای کاهش آثار خشکسالی و کمبود آب در مخزن سد بوکان است. به این منظور، میزان بهینه آیش محصولات زراعی، به ازای شرایط ممکن راندمان آبیاری و نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست مخزن با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شد. روند به‌کارگیری روش‌های استفاده‌شده و نیز نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش در ادامه ارائه شده است. ابتدا، مقادیر نسبت کمبود آب مخزن (درصد) برای بخش شرب و کشاورزی محاسبه شد. درخور یادآوری است که کمبود آب بخش کشاورزی فقط برای ماه‌های فروردین تا آبان محاسبه شده است، به این دلیل که در منطقه مطالعه‌شده، کشت محصولات در ماه‌های یادشده انجام می‌پذیرد. سپس، کمبودهای محاسبه‌شده با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means به پنج سطح خوشه‌بندی شد.

$$S \min_t \leq S_t \leq S \max_t \quad (9)$$

که در آن،  $S \min_t$  حجم ذخیره کمینه مخزن طی دوره بهره‌برداری  $t$ ام است.

در بهره‌برداری بهینه از مخازن، اگر دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت باشد، شرط درون‌سالی باید در مسئله در نظر گرفته شود. رابطه ۱۰ شرط درون‌سالی را نشان می‌دهد.

$$S(1) = S(T+1) \quad (10)$$

**سناریوهای اعمال‌شده برای به‌دست آوردن آیش بهینه**  
در این پژوهش، به‌منظور درک اثر راندمان آبیاری بر آیش مورد نیاز برای محصولات زراعی، سه راندمان ۳۵/۵، ۴۵ و ۵۰ درصد که به ترتیب بیان‌کننده راندمان غالب منطقه، راندمان پیش‌بینی‌شده تا افق ۱۴۱۰ و راندمان پیش‌بینی‌شده تا افق ۱۴۲۰ هستند [۲۳]، در مدل بهینه‌سازی استفاده‌شده به کار برده شدند. هدف از این کار، نشان‌دادن تأثیر راندمان بر میزان آیش مورد نیاز و کمبود آب در مخزن است.

همچنین، با توجه به اینکه در سال‌های اخیر در ایران، به مسئله نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست مخازن سد توجه چندانی نشده است، در این مطالعه تأثیر اعمال نیاز زیست‌محیطی در بهره‌برداری از مخزن سد بررسی شده است تا مشخص شود که در چه صورتی (با اعمال چه میزان آیش) مخزن قادر به تأمین نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست خود خواهد بود. به این ترتیب، شش سناریو برای بررسی تأثیر هر یک از شرایط یادشده اعمال می‌شود.

### اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری مخزن در صورت اعمال آیش‌های بهینه

در بیشتر مسائل مهندسی و واقعی، هدف‌های غیرهمسوی مختلفی در بررسی مسئله، مد نظر قرار می‌گیرند. به این ترتیب، در پژوهش حاضر، دو معیار اعتمادپذیری تعدادی و آسیب‌پذیری، که توسط هاشیموتو و همکارانش [۲۴] معرفی شده‌اند، به عنوان دو هدف غیرهمسو، استفاده شدند. سیاست بهینه، سیاستی خواهد بود که به ازای آن، مقادیر اعتمادپذیری سامانه بیشترین حالت ممکن یا آسیب‌پذیری سامانه کمترین حالت ممکن را داشته باشند. اعتمادپذیری تعدادی عبارت از نسبت تعداد دوره‌های

جدول ۱. مشخصات الگوریتم استفاده شده برای خوشه بندی کمبود آب در مخزن

الگوریتم	روش استفاده شده	انتخاب مراکز اولیه	تعداد خوشه
K-mean	فاصله اقلیدوسی	حداکثر کردن فاصله اولیه	۵

\* منبع: یافته های تحقیق

جدول ۲. سطوح کمبود آب در مخزن برای بخش های شرب و کشاورزی

میزان کمبود آب (درصد)		سطح کمبود آب
کشاورزی	شرب	
۰	۰	۱. بدون کمبود
۰-۲۵	۰-۵	۲. کمبود کم تا متوسط
۲۵-۴۵	۵-۱۰	۳. کمبود متوسط تا زیاد
۴۵-۶۵	۱۰-۲۰	۴. کمبود زیاد تا شدید
>۶۵	>۲۰	۵. کمبود شدید تا خیلی شدید

\* منبع: یافته های تحقیق

محاسبه شد. تا زمانی که سطح کمبود آب برای بخش های شرب و کشاورزی بیشتر از سطح ۲ بود، میزان آیش به میزان پنج درصد افزایش یافته و عملیات دوباره تکرار شد. اما هنگامی که کمبود آب برای بخش های شرب و کشاورزی کمتر از سطح ۲ بود، آیش انتخاب شده برای محصولات زراعی مناسب بوده و این آیش به عنوان آیش بهینه محصولات زراعی در سال مد نظر انتخاب شد. همچنین، تصمیم گرفته شد که میزان تأمین آب مورد نیاز بخش زیست محیطی نیز کمتر از ۷۵ درصد تقاضای آن نباشد.

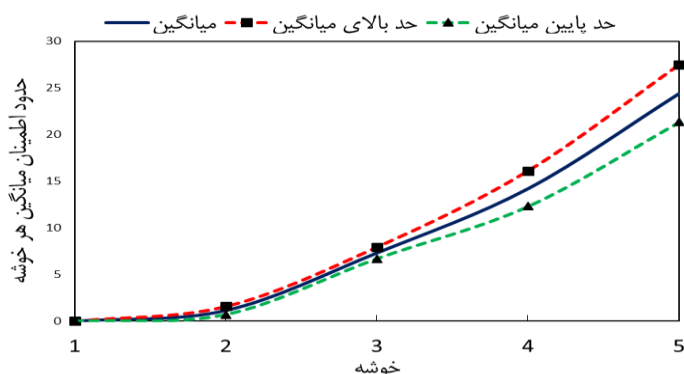
برای هر سال شش سناریو برای اعمال آیش در نظر گرفته شد. در این سناریوها به منظور بررسی اثر راندمان آبیاری بر میزان تأمین آب و میزان آیش مورد نیاز، سه راندمان آبیاری برای کل محصولات در نظر گرفته شد: راندمان ۳۵/۵ درصد (راندمان غالب منطقه)، ۴۵ درصد (پیش بینی شده تا افق ۱۴۱۰) و در بهترین حالت ۵۰ درصد (پیش بینی شده تا افق ۱۴۲۰). همچنین، تعیین آیش بهینه یک بار با اعمال نیاز زیست محیطی و بار دیگر بدون اعمال زیست محیطی انجام شد تا آثار برآورده شدن یا نشدن نیاز زیست محیطی بر میزان آیش بهینه و کمبود آب در مخزن نیز مشخص شود. نتایج به دست آمده از اعمال سناریوهای یاد شده در جدول ۳ ارائه شده است.

مشخصات الگوریتم استفاده شده برای خوشه بندی کمبود آب در مخزن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، سطوح کمبود آب برای دو بخش شرب و کشاورزی نیز در جدول ۲ مشاهده می شود.

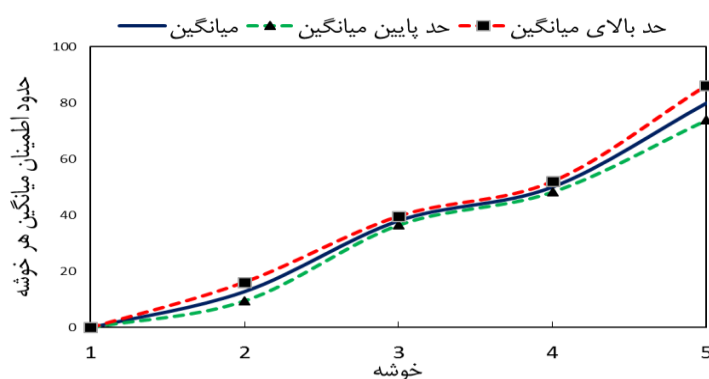
برای صحت سنجی خوشه بندی کمبود آب مخزن برای هر دو بخش شرب و کشاورزی، از روش t-student استفاده شد که نتایج آن در شکل های ۲ و ۳ به ترتیب برای بخش شرب و کشاورزی ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، هیچ یک از خوشه ها با یکدیگر هم پوشانی ندارند. بنابراین، خوشه بندی انجام شده برای هر دو بخش تأیید می شود.

پس از شناسایی آستانه های کمبود آب در مخزن (جدول ۲) به ارائه اقدامات مناسبی برای مقابله و تسکین خشکسالی در مخزن پرداخته شد. به این منظور، دوره آماری ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ در نظر گرفته شد و در هر یک از این سال ها، بهینه سازی بهره برداری از مخزن با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد.

میزان آیش (از صفر درصد تا مقدار بهینه با بازه های پنج درصد) بر اساس درجه اولویت تأمین تقاضای مختلف اعمال شد که در آن آیش به وسیله کاربر مشخص شد. سپس، میزان رهاسازی برای هر بخش، که در این مدل بهینه سازی مطالعه شده به عنوان متغیرهای تصمیم بودند، استخراج شده و کمبود آب با استفاده از رابطه ۱



شکل ۲. صحت‌سنجی خوشه‌بندی کمبود آب شرب



شکل ۳. صحت‌سنجی خوشه‌بندی کمبود آب کشاورزی

جدول ۳. آیش بهینه برای محصولات زراعی در شرایط مختلف در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۲ (درصد)

سال	راندمان ۳۵/۵ درصد		راندمان ۴۵ درصد		راندمان ۵۰ درصد	
	با اعمال نیاز	بدون اعمال نیاز	با اعمال نیاز	بدون اعمال نیاز	با اعمال نیاز	بدون اعمال نیاز
۱۳۸۶	۶۵	۵۰	۵۵	۳۰	۴۵	۲۰
۱۳۸۷	۳۰	۵	۵	۰	۰	۰
۱۳۸۸	۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۹	۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۰	۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۹۱	۲۵	۱۰	۵	۰	۰	۰
۱۳۹۲	۴۰	۳۵	۲۵	۱۰	۱۵	۰

\* منبع: یافته‌های تحقیق

زیستگاه‌های آبی و فرایندهای اکوسیستم را فراهم می‌کنند. بنابراین، می‌توان با اعمال آیشی به میزان لازم، هم سود کشاورزان را در حد قابل قبول نگه داشت و نیز حفظ زیستگاه آبی پایین‌دست سد را تضمین کرد. درباره تأثیر راندمان‌های آبیاری نیز می‌توان گفت که

بر اساس جدول یادشده می‌توان دریافت که در صورت در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست سد در بهره‌برداری از مخزن، میزان آیش کمتری لازم است، اما نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود اینکه جریان‌های زیست‌محیطی، شرایط مستعد نگهداری مجموعه‌ای از



در ادامه، به بررسی تأثیر هر یک از سناریوهای اعمال شده بر میزان آیش، میزان متوسط کمبود آب در مخزن برای بخش‌های شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی و مقدار سطح زیر کشت بعد از اعمال آیش در هر سال پرداخته خواهد شد. جدول‌های ۴-۷ نتایج به‌دست‌آمده از سناریوها را به ازای راندمان‌های ۳۵/۵ درصد و ۵۰ درصد نشان می‌دهد.

هرچه راندمان بیشتر باشد، به تبع آن نیاز ناخالص آبیاری بخش کشاورزی نیز کاهش می‌یابد و بنابراین، مقدار آبی که قبلاً به علت کمبود راندمان در مراحل مختلف (از خروجی سد تا رسیدن به محصول) تلف می‌شد، ذخیره می‌شود و می‌توان نیاز محصولات و یا بخش‌های دیگر را به راحتی تأمین کرد، در نتیجه نیاز به آیش کمتر خواهد بود.

جدول ۴. میزان کمبود آب و سطح زیر کشت پس از آیش با اعمال اثر زیست‌محیطی و راندمان آبیاری ۳۵/۵ درصد

سال	آیش (درصد)	کمبود آب (درصد)			سطح زیر کشت پس از آیش (هکتار)
		شرب	کشاورزی	زیست‌محیطی	
۱۳۸۶	۶۵	۴/۳۵	۲۲/۳۱	۲۴/۸۳	۲۹۶۹۳
۱۳۸۷	۳۰	۲/۹۰	۱۸/۷۶	۱۴/۳۱	۴۹۳۲۲
۱۳۸۸	۵	۱/۷۲	۳/۰۵	۱۳/۷۴	۶۳۱۶۵
۱۳۸۹	۵	۱/۸۵	۱۴/۰۵	۱۲/۰۵	۶۳۲۰۰
۱۳۹۰	۵	۱/۲۵	۳/۳۵	۱۵/۸۵	۶۳۱۹۶
۱۳۹۱	۲۵	۲/۲۲	۱۸/۷۴	۲۴/۵۳	۵۲۰۵۵
۱۳۹۲	۴۰	۳/۷۴	۲۴/۸۰	۲۴/۱۶	۴۳۷۷۴

\* منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. میزان کمبود آب و سطح زیر کشت پس از آیش با اعمال اثر زیست‌محیطی و راندمان آبیاری ۵۰ درصد

سال	آیش (درصد)	کمبود آب (درصد)			سطح زیر کشت پس از آیش (هکتار)
		شرب	کشاورزی	زیست‌محیطی	
۱۳۸۶	۴۵	۳/۶۲	۲۲/۰۲	۱۵/۹۶	۴۱۱۵۷
۱۳۸۷	۰	۰/۸۵	۹/۷۴	۳/۲۶	۶۵۹۹۵
۱۳۸۸	۰	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۶۵۹۶۹
۱۳۸۹	۰	۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۶۵۹۸۳
۱۳۹۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۳	۶۵۹۹۰
۱۳۹۱	۰	۱/۰۸	۱۲/۷۴	۵/۲۱	۶۵۹۷۶
۱۳۹۲	۱۵	۲/۲۳	۱۹/۱۹	۱۲/۱۰	۵۷۶۶۵

\* منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۶. میزان کمبود آب و سطح زیر کشت پس از آیش بدون اعمال اثر زیست‌محیطی و راندمان آبیاری ۳۵/۵ درصد

سال	آیش (درصد)	کمبود آب (درصد)		سطح زیر کشت پس از آیش (هکتار)
		شرب	کشاورزی	
۱۳۸۶	۵۰	۳/۴۹	۲۳/۷۲	۳۸۲۹۲
۱۳۸۷	۵	۳/۸۳	۱۷/۲۸	۶۳۱۸۵
۱۳۸۸	۰	۱/۳۷	۲/۶۵	۶۵۹۶۹
۱۳۸۹	۰	۰/۵۳	۰/۷۹	۶۵۹۸۳
۱۳۹۰	۰	۱/۱۰	۳/۴۱	۶۵۹۹۰
۱۳۹۱	۱۰	۲/۶۰	۶/۲۱	۶۰۴۰۳
۱۳۹۲	۳۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱	۴۶۵۵۲

\* منبع: یافته‌های تحقیق

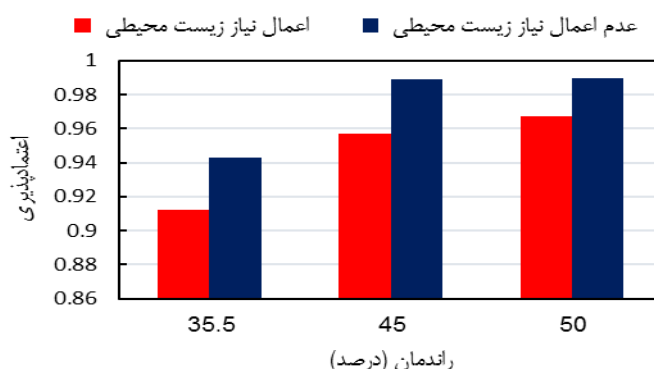
جدول ۷. میزان کمبود آب و سطح زیر کشت پس از آیش بدون اعمال اثر زیست‌محیطی و راندمان آبیاری ۵۰ درصد

سال	آیش (درصد)	کمبود آب (درصد)		سطح زیر کشت پس از آیش (هکتار)
		کشاورزی	شرب	
۱۳۸۶	۲۰	۱۹/۳۴	۲/۶۲	۵۵۴۸۸
۱۳۸۷	۰	۰/۰۰۰۲	۰	۶۵۹۹۵
۱۳۸۸	۰	۰	۰	۶۵۹۶۹
۱۳۸۹	۰	۰/۰۰۰۱	۰	۶۵۹۸۳
۱۳۹۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰	۶۵۹۹۰
۱۳۹۱	۰	۰/۰۰۰۳	۰	۶۵۹۷۶
۱۳۹۲	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۶۵۹۸۵

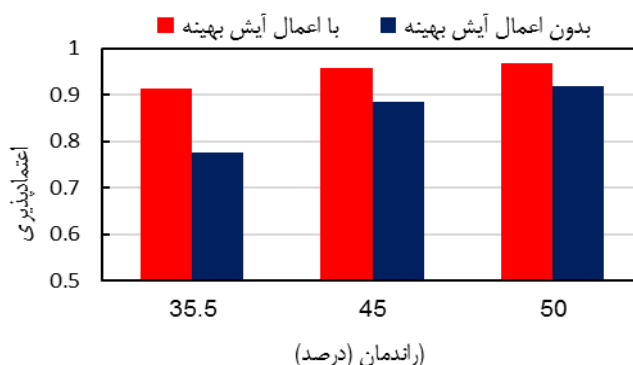
\* منبع: یافته‌های تحقیق

مقادیر اعتمادپذیری را برای همه سناریوها نشان می‌دهد. شکل‌های ۵ و ۶ نیز به ترتیب میزان اعتمادپذیری مخزن را در صورت اعمال و عدم اعمال آیش به ترتیب با و بدون اعمال نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست مخزن نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل‌های یادشده مشاهده می‌شود، اثر افزایش راندمان آبیاری بر افزایش قابلیت اعتماد مخزن را نمی‌توان انکار کرد.

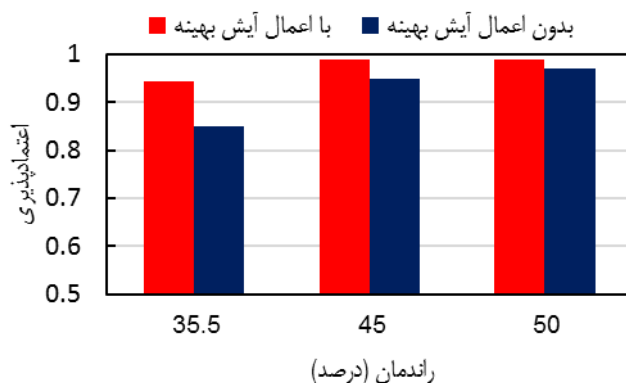
همان‌طور که در جدول‌های یادشده مشاهده می‌شود، پس از اعمال آیش در شرایط مختلف در نظر گرفته‌شده، میزان کمبود آب برای بخش شرب و نیز برای بخش کشاورزی در سطح ۲ (کمبود کم تا متوسط) قرار می‌گیرد. پس از مراحل یادشده، مقادیر اعتمادپذیری تعدادی و آسیب‌پذیری مخزن طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۲، در صورت اعمال شش سناریوی یادشده محاسبه شد. شکل ۴



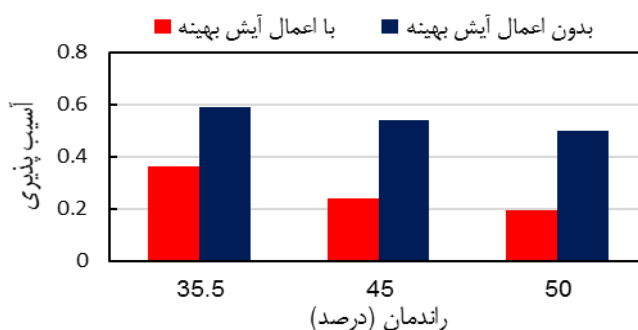
شکل ۴. نمودار تأثیر سناریوهای اعمال‌شده بر میزان اعتمادپذیری مخزن



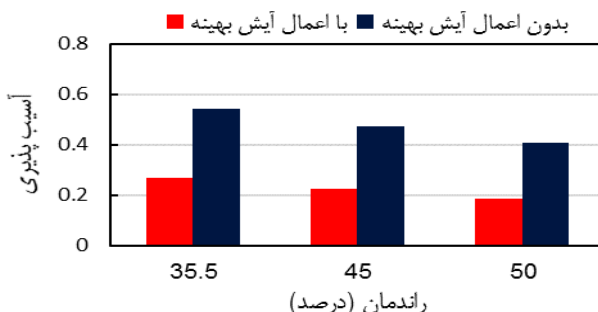
شکل ۵. نمودار تأثیر اعمال شدن یا نشدن آیش بر میزان اعتمادپذیری مخزن با اعمال نیاز زیست‌محیطی



شکل ۶. نمودار تأثیر اعمال شدن یا نشدن آیش بر میزان اعتمادپذیری مخزن بدون اعمال نیاز زیست محیطی



شکل ۷. نمودار تأثیر اعمال شدن یا نشدن آیش بر میزان آسیب پذیری مخزن با اعمال نیاز زیست محیطی



شکل ۸. نمودار تأثیر اعمال شدن یا نشدن آیش بر میزان آسیب پذیری مخزن بدون اعمال نیاز زیست محیطی

### نتیجه گیری

در این مطالعه، یک سیستم هوشمند تخصیص منابع آب برای مدیریت منابع آب از طریق بهره برداری بهینه از مخزن و برای دستیابی به میزان آیش بهینه محصولات زراعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسعه داده شد. سد مخزنی بوکان واقع در شمال غرب ایران و منطقه پایین دست آن، به عنوان منطقه مطالعه شده در نظر گرفته شد. برای انجام این تحقیق، از آمار ۱۹ ساله مربوط به مخزن استفاده شد.

شکل های ۷ و ۸ به ترتیب میزان آسیب پذیری مخزن در صورت اعمال شدن یا نشدن آیش به ترتیب با اعمال نیاز زیست محیطی پایین دست مخزن و بدون آن را نشان می دهند.

نتایج نشان می دهد پس از اعمال آیش بهینه برای محصولات زراعی، با افزایش راندمان آبیاری، میزان کاستن سطح زیر کشت کمتر شده و در مقایسه با وضعیت فعلی منطقه مطالعه شده، به میزان سود کشاورزی لطمه جدی وارد نخواهد شد.

از اولین پیشنهادها در رفع بحران کم‌آبی و خشکسالی، توقف هرگونه توسعه سطوح کشاورزی و حتی حذف برخی از اراضی توسعه‌یافته و پرداختن به مباحث بهبود شرایط کشاورزی برای افزایش راندمان آبیاری به جای افزایش توسعه سطوح کشت است. بدیهی است که با پوشش انهار در شبکه انتقال و توزیع و همچنین با کاربرد مناسب سیستم‌های آبیاری تحت فشار، میزان راندمان افزایش می‌یابد. لازم است که در مطالعات آتی آثار اجتماعی و اقتصادی ناشی از آیش گذاشتن بخشی از سطح زیر کشت نیز در نظر گرفته شود تا تنش‌های احتمالی ناشی از آن به حداقل ممکن کاهش یابد.

#### منابع

- [1]. Mishra AK, Singh VP. A review of drought concept. *Journal of Hydrology*. 2010; 391(1-2): 202-216.
- [2]. Wisser D, Frohking S, Douglas EM, Feket BM, Schumann AH, Vörösmarty CJ. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production- a global-scale analysis. *Journal of Hydrology*. 2010; 384(3-4):264-275.
- [3]. Oweis T, Hachum A. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agric Water Manag*. 2006; 80 (1-3):57-73.
- [4]. OECD. Sustainable Management of Water Resources in Agriculture. 2010. Pereira LS, Cordery I, Iacovides I. Coping with water scarcity-an action framework for agriculture and food security. 2012; AO Water, Report,38.
- [5]. Tilmant A, Goor Q, Pinte D. Agricultural to hydropower water transfers: sharing water and benefits in hydropower-irrigation systems. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2009; 13(7):1091-1101.
- [6]. Wen TH, Lin CH, Chen CT, Su MD. Analysis of spatial scenarios aiding decision making for regional irrigation water-demand planning. *J. Irrig. Drain. Eng*. 2007; 133 (5):455-467.
- [7]. Yen JH, Chen CY. Allocation strategy analysis of water resources in south Taiwan. *Water. Resour. Manage*. 2001;15(5):283-297.
- [8]. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*. University of California Press. 1967; 1(14):281-297.

در واقع، پژوهش حاضر یک طرح تخصیص اصولی آب را برای سد مخزنی بوکان ارائه می‌دهد که در آن برای مواقعی که سیستم با کمبود جدی مواجه می‌شود، مقداری آیش برای محصولات زراعی اعمال می‌شود تا تقاضای سایر بخش‌ها (شرب، محصولات باغی و زیست‌محیطی) ارضا شوند و میزان کمبود آب در همه بخش‌ها از حد قابل قبول تجاوز نکند. به این منظور، با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن پرداخته شد و میزان آیش بهینه برای هر سال زراعی (۱۳۸۶-۱۳۹۲) تعیین شد. تابع هدف بهینه‌سازی، مینیمم کردن کمبود آب در مخزن در نظر گرفته شد. در این مدل بهینه‌سازی، میزان آیش به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد و به ازای آیش‌های مختلف (صفر درصد، پنج درصد و... آیش بهینه)، مدل اجرا شده و کمبود آب برای بخش‌های شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی بررسی شد و کنترل شد که با اعمال آیش بهینه سطح کمبود آب برای بخش شرب و کشاورزی از سطح ۲ بالاتر نرود و برای بخش زیست‌محیطی نیز حداقل ۷۵ درصد تقاضای آن تحویل داده شود.

به منظور بررسی تأثیر راندمان آبیاری و اعمال یا عدم اعمال نیاز زیست‌محیطی بر میزان آیش مورد نیاز، شش سناریو اعمال شد. به این ترتیب که در هر بار اجرا، سه راندمان ۳۵/۵، ۴۵ و ۵۰ درصد در نظر گرفته شد و همچنین اثر اعمال شدن یا نشدن نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست مخزن بررسی شد. در انتها، قابلیت اعتماد و آسیب‌پذیری سیستم نیز بررسی شد و مشخص شد که در صورت اعمال آیش بهینه، میزان قابلیت اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری مخزن به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. می‌توان گفت که در صورت در نظر نگرفتن نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست مخزن، با اینکه میزان آیش مورد نیاز کمتر است، اما باید در نظر داشت که برای تأمین حقایق پایین‌دست سد و حفظ گونه‌های مختلف آن و نیز حفظ دریاچه ارومیه باید نیاز زیست‌محیطی نیز در بهره‌برداری از سد لحاظ شود. همچنین، نتایج به دست آمده از پژوهش نشان می‌دهد با افزایش راندمان آبیاری، به آیش کمتری نیاز است و با اعمال این آیش سیستم تا حد قابل قبولی می‌تواند نیاز پایین‌دست خود را تحویل دهد. در نتیجه، باید اقدامات لازم برای افزایش راندمان آبیاری در دستور کار مدیران آب قرار گیرد.

- [9]. Baswade AM, Nalwade PS. Selection of Initial Centroids for k-Means Algorithm. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*. 2013;2(7):161-164.
- [10]. Chang FJ, Wang Y C, Tsai W P. Modelling Intelligent Water Resources Allocation for Multi-users. *Water Resources Management*. 2016; 30(4): 1395-1413.
- [11]. Choong SM, El-Shafie A. State-of-the-art for modelling reservoir inflows and management optimization. *Water Resour Manag*. 2014; 29(4):1267-1282.
- [12]. Safa HH, Morid S, Moghaddasi M. Incorporating economy and long-term inflow forecasting uncertainty into decision-making for agricultural water allocation during droughts. *Water Resour Manag*. 2012; 26(8):2267-2281.
- [13]. Rani D, Moreira MM. Simulation-optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. *Water Resour Manag*. 2010; 24(6):1107-1138.
- [14]. Sonaliya S, Suryanarayana TMV. Optimal Reservoir Operation Using Genetic Algorithm: A Case Study of Ukai Reservoir Project. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2014;3(6).
- [15]. Devisree MV, Nowshaja PT. Optimisation of Reservoir Operation Using Genetic Algorithm. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2014;5(7).
- [16]. Zahraie B, Hosseini SM. Development of reservoir operation policies considering variable agricultural water demands. *Expert Syst Appl*. 2009;36(3):4980-4987.
- [17]. Parmar N., Parmar A. Optimal Reservoir Operation For Irrigation Of Crops Using Genetic Algorithm A Case Study Of Sukhi Reservoir Project. *International Journal Of Civil Engineering And Technology (IJCIET)*. 2015, 23-27.
- [18]. Mens M.J.P., Gilroy K., Williams D. Developing system robustness analysis for drought risk management: an application on a water supply reservoir, *Journal of Nat. Hazards Earth Syst*. 2015.
- [19]. Chang F. J., Wang K. W. A systematical water allocation scheme for drought mitigation. *Journal of Hydrology*. 2013. 507, 124-133.
- [20]. Karamouz M., Imen S., Nazif S. Development of a Demand Driven Hydro-climatic Model for Drought Planning, *Journal of Water Resour Manage*. 2012.
- [21]. Yekom consulting engineers. Environmental impact studies (qualitative and quantitative effects) of Urmia Lake basin's water resources development projects on the Lake Urmia. West Azerbaijan Regional Water Organization. 2005. In Persian.
- [22]. Chen Q, Mynett AE. Integration of Data Mining Techniques with Heuristic Knowledge in a Fuzzy Logic Modelling of Eutrophication in Taihu Lake. *Ecol. Model*. 2003; 162(1-2):55-67.
- [23]. Ministry of Energy. Studies of updating the master plan of the country's water in Aras, Urmia, Talsh- Anzali wetland, large Sefidrood, Sefidrood- Haraz, Hraaz- Gharehsou, Gorgan-river and Atrak. 2013. 21:138. In persian.
- [24]. Hashimoto T, Stedinger J R, Loucks D P. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, *Water Resource Research*. 1982; 18(1), 14-20.