

## بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل شبیه‌سازی WEAP (مطالعه موردی: دشت بهبهان، استان خوزستان)

علی خیراندیش<sup>۱</sup>، سید فرهاد موسوی<sup>۱</sup>، حمیدرضا غفوری<sup>۲</sup> و سعید فرزین<sup>۱\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۷)

### چکیده

در این پژوهش، الگوی بهره‌برداری تلفیقی و یکپارچه از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بهبهان (مخزن سد مارون و چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت) بررسی شده است. شبیه‌سازی تخصیص نیازهای آبی حوضه در نرم‌افزار WEAP با چهار سناریو شامل: (۱) شرایط فعلی (M1)، (۲) سناریوی مرجع برای ۱۶ سال آینده (M2)، (۳) سناریوی توسعه اراضی (M3) و (۴) سناریوی بهینه (M4)، انجام شده است. سناریوی بهینه با روش برنامه‌ریزی خطی چند هدفه در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج، در تمام سناریوها، نیازهای شرب به‌طور کامل برآورده می‌شود. در سناریوی شرایط فعلی، نیاز کشاورزی، به‌جز برای حقایقه‌های سنتی، در ماه‌های کم‌آب، بیش از ۵۰ درصد برآورده شده است. برای نیازهای کشاورزی شبکه‌های آبیاری در سناریوی مرجع، میزان تأمین در بعضی ماه‌ها کمتر از ۱۰۰ درصد بوده و حتی در ماه‌های خرداد و شهریور، تأمین نیاز آب برای شبکه‌های شمال و جنوب دشت بهبهان کمتر از ۱۰ درصد است. در سناریوی توسعه اراضی، نیاز کشاورزی در شبکه‌های آبیاری، به‌جز شبکه آبیاری رامهرمز، در همه ماه‌ها بیشتر از ۹۰ درصد تأمین می‌شود. سناریوی بهینه برای حداقل جریان در رودخانه مارون و حجم ذخیره نسبت به سناریوهای دیگر بهترین عملکرد را داشته است. از مقایسه چهار سناریو در تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی مشخص شد که سناریوی بهینه در ماه‌های بهار نسبت به سه سناریوی دیگر بهتر و مطلوب‌تر عمل می‌کند؛ ولی در کل سال کمتر از ۱۰۰ درصد نیاز آبی تأمین می‌شود. مقایسه چهار سناریو نشان داد که سناریوهای شرایط حاضر و مرجع در شبکه‌های آبیاری جایزان فجر، جنوب بهبهان، شمال بهبهان و حقایقه‌های سنتی بیشترین درصد اطمینان‌پذیری را داشته‌اند. بسامد حجم ذخیره-زمان-احتمال حاصل از حجم ذخیره ماندگاری در سناریوی بهینه نشان داد که بیشترین زمان ماندگاری در حجم ذخیره ۵۵۸ میلیون متر مکعب (که برابر نصف حجم مخزن سد مارون است) و با بیشترین احتمال (۶۰ درصد) به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه مارون، WEAP، دشت بهبهان، نیازهای آبی، بهینه‌سازی

۱. گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: saeed.farzin@semnan.ac.ir

## مقدمه

با توجه به اینکه کشور ایران با توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارندگی‌ها همراه است، بنابراین در بیشتر نقاط، علاوه بر منابع آب سطحی، از منابع آب زیرزمینی نیز استفاده می‌شود. اما به دلیل کمبود منابع آب زیرزمینی و تخلیه روزافزون آبخوان‌ها، بهره‌برداری از منابع آب سطحی در سال‌های اخیر بیشتر شده است (۱۴). بنابراین، توجه به چگونگی بهره‌برداری و استفاده از منابع آب با استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی و مدل‌ها امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (۱۴). مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی را می‌توان به عنوان ابزار کمکی در حل مسائل مناقشه‌برانگیز تخصیص منابع آب استفاده کرد.

بهره‌برداری بهینه از مخازن یک مسئله بهینه‌سازی است که نیازمند اتخاذ سیاست‌ها و قواعد خاص است. ابزارهای مدل‌سازی عددی کامپیوتری و مدل‌های ریاضی می‌توانند در گستره وسیعی از شرایط ورودی، رفتار سیستم حوضه و رودخانه را توصیف و پیش‌بینی کنند. این مدل‌ها درک درستی از عملکرد فعلی مدیریت منابع آب و پیش‌بینی اثرهای سناریوهای مختلف توسعه را تسهیل می‌کنند (۷). مدل‌سازی تخصیص منابع آب با استفاده از مدل WEAP که برای اولین بار توسط مؤسسه محیط‌زیست استکهلم توسعه یافته، انجام می‌شود. این مدل بر اساس معادلات پایه بیلان آب عمل می‌کند و می‌توان آن را برای مسائلی نظیر تحلیل نیاز هر بخش، حفاظت آب، حقایقه‌ها و اولویت‌های تخصیص، شبیه‌سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی، بهره‌برداری از مخزن و نیازهای اکوسیستم به کار برد (۱۲).

ارزیابی سناریوهای آبی در باره منابع و مصارف موجود در منطقه پیچند نشان داد که منابع آب سطحی موجود در منطقه نمی‌تواند جوابگوی نیازهای شهری و زیست‌محیطی طی سال‌های با بارندگی نرمال تا سال ۲۰۵۰ باشد و وضعیت با کاهش تقاضا، به‌ویژه در کوتاه‌مدت، بهبود خواهد یافت (۲). در پژوهشی، با استفاده از مدل WEAP، به بررسی تأثیر تعدادی از سناریوهای طرح‌های توسعه احتمالی بر سطوح آب دریاچه تانا

در کشور اتیوپی پرداخته شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که اگر برنامه‌ریزی برای تولید برق ۲۱۹۸ گیگاوات ساعت در سال باشد برای نیازهای آبیاری باید ۶۷۷ میلیون متر مکعب در سال رها شود و این مقدار، میانگین سطح آب دریاچه را سالانه ۰/۴۴ متر کاهش خواهد داد. بنابراین، وضعیت فعلی علاوه بر اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست، بر معیشت مردمان محلی نیز پیامدهای مهمی را خواهد داشت (۴). آلفارا (۳) به منظور حل معضلات آبی در حوضه نیواشای کنیا از مدل WEAP استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که برای تحقق نیازهای آبی در بخش کشاورزی در برخی مناطق، تخصیص بیش از مقدار نیاز است و در دیگر مناطق این نیاز به‌طور کامل تأمین نمی‌شود (۳). موگاتسیا و همکاران (۱۵) در حوضه آبریز پرکرا، به منظور تخصیص و توسعه منابع آب، از نرم‌افزار WEAP استفاده کردند. همچنین تأثیر پروژه‌های توسعه آب پیشنهادی در حوضه آبریز مورد مطالعه ارزیابی شد. جریان زیست‌محیطی پایین‌دست ایستگاه 2EE7B و پروژه‌های تأمین آب، متوسط جریان پایین‌دست بین ۴۵ و ۱۰۰ درصد خواهد بود. نتایج نشان داد که جریان‌های پایین‌دست دارای نقاط اوج تیز و افزایش تقاضا بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد می‌شود (۱۵). فرهنگ و همکاران (۸) با مدل‌های شبیه‌سازی MODSIM و WEAP به بررسی عملکرد سیستم‌های تک و چندمخزن سد کارون پرداختند و نتایج را با مدل بهینه LINGO مقایسه کردند. نتایج بهینه‌سازی با توجه به شاخص‌های قابلیت اطمینان، قابلیت انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری بهتر از مدل‌های شبیه‌سازی بود (۸). هملت و همکاران (۱۰) شبیه‌سازی منابع آب حوضه الجزایر غربی را با مدل WEAP انجام دادند و به پیش‌بینی احتمالی برای آینده تا سال ۲۰۳۰ پرداختند. نتایج نشان داد که تقاضای شرب و کشاورزی برای سال پایه در سال ۲۰۰۶ رضایت‌بخش است اما نیازهای کشاورزی برای سناریوی توسعه سیستم‌های نوین آبیاری رضایت‌بخش نیست. همچنین، بیان کردند که مدل WEAP می‌تواند کمک‌کننده برنامه‌ریزان برای مدیریت منابع آب آینده باشد (۱۰). فلورس-لوپز و همکاران (۹) با استفاده

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت بهبهان در قسمت جنوبی ایران، در استان خوزستان و در محدوده دامنه‌های زاگرس واقع شده است که با نام حوضه آبریز سد مخزنی مارون از آن نام برده می‌شود. مساحت این حوضه حدود ۹۳۲۹ کیلومتر مربع بوده که توسط حوضه‌های آبریز کارون، زهره و جراحی احاطه شده است. سد مارون در ۱۵ کیلومتری شمال بهبهان روی رودخانه مارون با مختصات جغرافیایی حدود ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های باران‌سجی، هیدرومتری و تبخیرسنجی و همچنین موقعیت دشت مورد مطالعه در ایران و حوضه جراحی و زهره را نشان می‌دهد. جدول (۱) نیز مشخصات ایستگاه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

### شبیه‌سازی منابع آب سطحی با مدل WEAP

برای مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار WEAP ابتدا نقشه‌های اولیه که شامل مرزهای حوضه مورد مطالعه، مسیرهای رودخانه‌های موجود در حوضه، محل سدها و بندهای انحرافی برای آبیگری و ایستگاه‌های هیدرومتری، تمام نقاط نیاز و منابع آب موجود به‌طور کلی تمامی عوارضی که برای تعیین چارچوب اصلی مدل نیاز است در محیط GIS تهیه شد. سپس این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار WEAP فراخوانی شدند و با استفاده از ابزارهای موجود در این نرم‌افزار مسیر رودخانه اصلی، محل سد مارون، منابع آب زیرزمینی، محل نیازهای آب شرب، کشاورزی و صنعت و همه موارد مورد نیاز مشخص شدند.

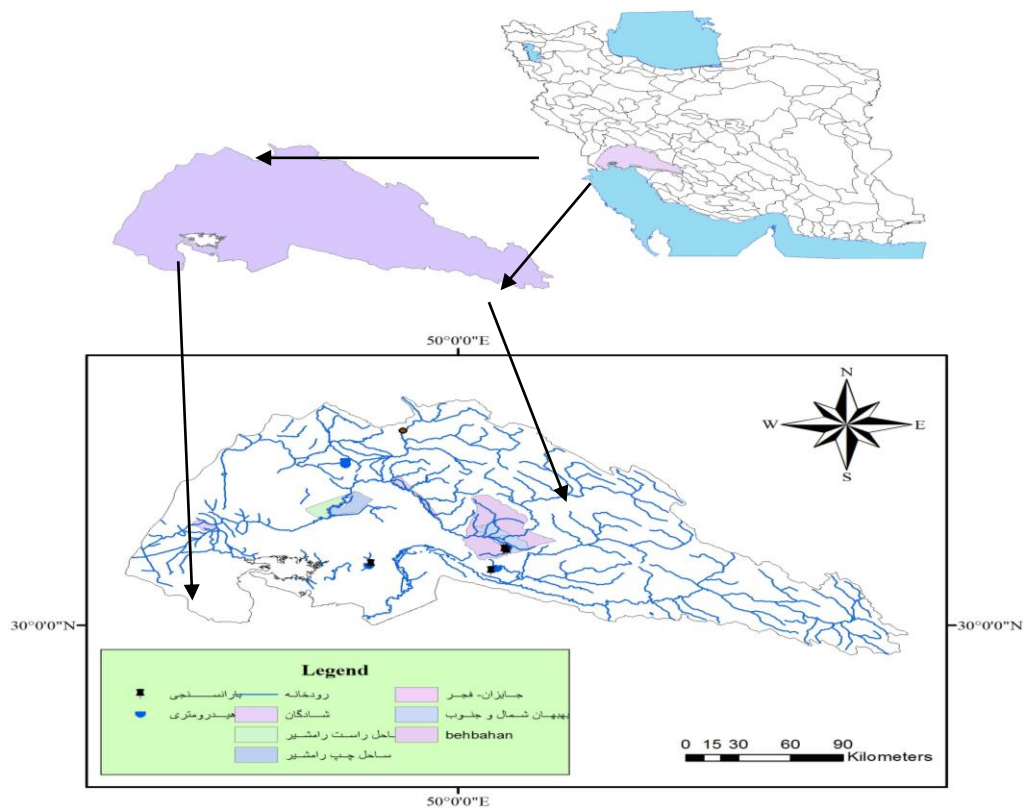
### آماده‌سازی اطلاعات و معرفی آنها به مدل

پس از مدل‌بندی منطقه، پارامترهای مدنظر برای شبیه‌سازی از جمله طول دوره، گام زمانی، سال پایه و واحد پارامترهایی که به مدل معرفی می‌شوند، تعیین می‌شود. در این پژوهش، داده‌های دبی، نیازهای آبی شامل نیازهای کشاورزی،

از مدل WEAP به برنامه‌ریزی منابع آب حوضه Quiroz-Chipillico در پرو پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییرات دما و بارش بر میزان آب حوضه تأثیر می‌گذارد و نیازها در طول زمان تغییر کرده و تأثیر منفی بر نیازهای کشاورزی پایین‌دست می‌گذارند (۹). در پژوهش‌های آدگولاین و همکاران (۲) با هدف بررسی زیرحوضه‌های آسیب‌پذیر نسبت به کمبود آب در منطقه مورد مطالعه، از مدل WEAP بهره گرفته شد. آنها سه سناریوی توسعه‌ای یعنی توسعه در شرایط موجود، توسعه میان‌مدت و توسعه بلندمدت را بررسی و نتایج را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۵۰، حدود ۱/۱۰۱ میلیارد متر مکعب، یعنی ۱۰/۳ درصد کل جریان سالانه رودخانه Didessa برآورد شد. در حوضه‌های آبخیز سالانه رودخانه Upper Didessa و Anger, Dabena شرایط موجود و میان‌مدت برآورد نشدند. اما نیازهای زیست‌محیطی به‌طور کامل در همه سناریوها تأمین و به‌میزان ۵/۴۶ میلیارد از آورد رودخانه Didessa تأمین می‌شود (۲).

منصوری و همکاران (۱۳) با استفاده از برنامه WEAP، در منطقه آناپا در الجزیره، به ارزیابی پنج سناریوی مختلف در شرایط بهترین و بدترین عرضه و تقاضا برای برنامه‌ریزی و مدل‌سازی پرداختند. آنها نشان دادند که منطقه تا سال ۲۰۳۰ حساس به کمبود آب شدید خواهد بود و برای بهبود یکپارچگی نیاز به سایر راهکارها برای مدیریت بهتر است (۱۳).

با توجه به اینکه دشت بهبهان دارای میزان قابل توجهی آب ورودی سطحی بوده و تراز سطح آب زیرزمینی آن رو به کاهش است، در پژوهش حاضر، الگوی بهره‌برداری تلفیقی و یکپارچه از منابع آب سطحی و زیرزمینی مخزن سد مارون و چاه‌های آب واقع در دشت بهبهان شبیه‌سازی و تحلیل می‌شود. در این راستا، با استفاده از نرم‌افزار WEAP، نیازهای آبی حوضه تحت چهار سناریوی پیشنهادی شامل M1، M2، M3 و M4 مورد تخصیص قرار می‌گیرد. سناریوی بهینه با روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در نظر گرفته شده است.



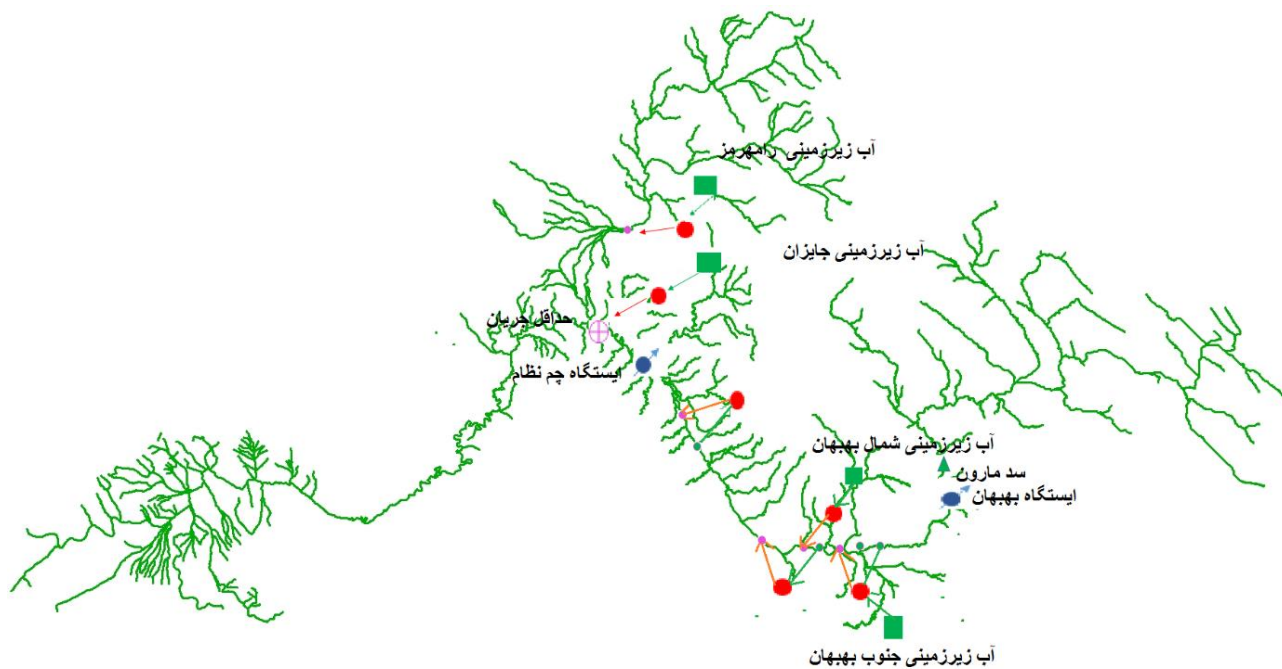
شکل ۱. جانمایی منطقه مورد مطالعه در ایران و حوضه جراحی - زهره

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری، باران‌سنجی و تبخیرسنجی منطقه مورد مطالعه

طول دوره آماری (سال)	ارتفاع (متر)	مشخصات جغرافیایی		نوع ایستگاه	نام ایستگاه
		عرض	طول		
۴۹	۵۶۰	۵۷-۳۰	۲۵-۵۰	هیدرومتری، باران‌سنجی	ایدنک
۶۳	۲۸۰	۴۱-۳۰	۲۰-۵۰	هیدرومتری	بهبهان
۳۸	۱۹۰	۴۵-۳۰	۵۵-۴۹	هیدرومتری، باران‌سنجی	چم‌نظام
۶	۵۳۶	۴۴-۲۹	۳۰-۵۱	باران‌سنجی	تشان
۲۵	۳۳۳	۱۷-۳۰	۴-۵۰	باران‌سنجی	سیدالشهدا بهبهان
۳۳	۶۷۵	۵۰-۲۵	۳۰-۵۵	باران‌سنجی	پاقله
۳۵	۵۶۰	۵۷-۳۰	۲۵-۵۰	تبخیرسنجی	ایدنک

قالب فرمت CSV در مدل فراخوانی شد. بنابراین، از داده‌های جریان ورودی سه ایستگاه هیدرومتری (ایدنک، بهبهان و چم‌نظام) روی سرشاخه‌های رودخانه اصلی مارون برای منابع آب سطحی و از منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها) در بخش شمال و

شرب و صنعت، حقایقه‌های سنتی و نیازهای زیست‌محیطی، تبخیر از سطح مخزن سد مارون و حجم ذخیره مخزن برحسب میلیون متر مکعب به صورت ماهانه طی سال آبی ۱۳۸۱ (مهر ماه) تا سال آبی ۱۳۹۳ (شهریور ماه ۱۳۹۴) به‌عنوان ورودی در



شکل ۲. طرح نمادین مدل

جدول ۲. متوسط حجم ماهانه نیازهای کشاورزی برحسب میلیون متر مکعب در محدوده مورد مطالعه طی دوره آماری

ایستگاه/ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
رامهرمز	۱۵/۴	۱۰/۴۶	۸/۵۲	۴/۴۴	۱۲/۶۴	۱۵/۳۳	۱۴/۷۱	۸/۶۷	۰/۲۵	۱/۵۸	۱/۶۶	۶/۲۷
بهبهان شمالی	۱۲/۰۲	۶/۵۴	۰/۰۸	۲/۱۵	۴/۲۲	۱۰/۵۲	۱۳/۷	۷/۹۸	۶/۷۴	۱۰/۹۶	۱۲/۴۵	۱۲/۵۶
بهبهان جنوبی	۱۴/۱	۸/۲۱	۰/۸۴	۲/۹۶	۳/۸۷	۷/۱۶	۱۷/۸۹	۷/۷۵	۶/۳۵	۸/۴۱	۱۱/۹۵	۱۰/۴۵
جایزان	۹/۲۱	۴/۷۱	۲/۶۷	۶/۱۸	۷/۶۳	۱۴/۸۲	۱۵/۹۳	۳/۹۵	۲/۶۴	۸/۸	۱۱/۴۳	۱۱/۸۸

تلفات تبخیر و نشت به آب زیرزمینی خواهد شد. از جمله اطلاعات ورودی به برنامه، نیازهای شرب، کشاورزی (جدول ۲)، حقایق‌های سنتی و زیست‌محیطی است. بنابراین، برای نیاز شرب ابتدا به‌وسیله سرشماری‌های انجام شده در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، نرخ رشد جمعیت مربوط به شهرستان بهبهان محاسبه و سپس با استفاده از جمعیت در سال مبنای نرخ رشد جمعیت، جمعیت در آینده با روش هندسی محاسبه شد که در این مطالعه نرخ رشد جمعیت برابر ۰/۳۸ و برای ۱۶ سال آینده جمعیت ۲۸۹۰۱۷ نفر محاسبه شد. حداقل نیاز زیست‌محیطی ماهانه از روش موتانا (۱۸) به‌دست آمد و برحسب میلیون متر مکعب به برنامه داده شد.

جنوب بهبهان، بخش‌های جایزان و رامشیر استفاده شد. در شماتیک مدل، برای هر کدام از شبکه‌های آبیاری و زهکشی یک گره در نظر گرفته شد و از هر کدام از منابع آب سطحی و زیرزمینی یک خط انتقال برای آنها در مدل ترسیم و از سوی دیگر یک خط برگشت آب به رودخانه برای هر کدام از این نیازها مد نظر قرار گرفت (شکل ۲).

میزان آب برگشتی برای تمامی نیازهای کشاورزی با توجه به اطلاعات شفاهی دریافتی از سازمان آب و برق خوزستان و عدم توسعه کامل زهکش‌های منطقه، ۲۰ درصد در نظر گرفته شد که در نتیجه آن ۸۰ درصد آب با توجه به راندمان کل تعریف‌شده در مدل به‌میزان ۳۵ درصد صرف مصرف گیاه،

### فرایند بهینه‌سازی در سناریوی بهینه

برای ایجاد سناریوی بهینه‌سازی از داده‌های جریان و تبخیر در مرحله واسنجی شبیه‌سازی و داده‌های نیاز آبی برای مصارف مختلف در شرایط حاضر به‌عنوان ورودی‌های برنامه استفاده شد. سپس با محدودیت‌های تعریف شده، دو هدف یعنی حداکثر کردن برداشت از مخزن برای مصارف مختلف با بیشترین اعتمادپذیری و کمترین حجم مخزن به‌طور همزمان اجرا شد. مدل چندهدفه خطی پژوهش حاضر به این صورت بود که تابع هدف اول حداکثرسازی درصد تأمین نیاز تمام مصارف در ماه‌های مختلف و تابع هدف دوم حداقل کردن میزان تخطی از ظرفیت بهره‌برداری مخزن انتخاب شد.

**تابع هدف اول:** حداکثرسازی درصد تأمین نیاز تمام مصارف در ماه‌های مختلف

$$F_1 = \max \text{imize} \left( \sum_{z=1}^m \sum_{d=1}^k \sum_{t=1}^n \left( \frac{TDW_{zdt}}{MD_{zdt}} \right) \right) \quad (1)$$

$$= \max \text{imize} \left( \sum_{z=1}^m \sum_{d=1}^k \sum_{t=1}^n a_{zdt} \right)$$

که  $a_{zdt}$  درصد تأمین نیاز  $d$  در دوره  $t$  در منطقه  $z$  به‌صورت اعشاری،  $TDW_{zdt}$  حجم کل آب تحویلی به نیاز  $d$  در دوره  $t$  در منطقه  $z$  است. به‌دلیل اینکه الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده به‌دنبال حداکثر کردن تابع هدف است، بایستی به‌دنبال حداکثر کردن اطمینان‌پذیری، یعنی مقدار  $a$ ، بود.

**تابع هدف دوم:** حداقل کردن تخطی از ظرفیت بهره‌برداری از مخزن

$$F_2 = \min \text{imize} \left( \sum_{t=1}^n \max \left( \left( 1 - \frac{S_t}{S_{\min}} \right), 0 \right) \right) \quad (2)$$

که در آن  $S_t$  حجم مخزن سد در تراز نرمال در دوره  $t$  و  $S_{\min}$  حجم مخزن سد در تراز حداقل در دوره  $t$  است.

محدودیت‌ها:

$$S.b : \left\{ \begin{array}{l} TDW_{zdt} = SW_{zdt} + GW_{zdt} \quad t = 1, 2, \dots, n \\ S_{t+1} \leq C \\ S_n \geq S_0 \\ S_n \geq 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

که  $S_{t+1}$  ذخیره سد در ماه  $t+1$  ام،  $S_t$  ذخیره سد در ماه  $t$  ام،  $S_n$  حجم سد در پایان دوره بحرانی در ماه  $n$  ام (نباید کمتر از حجم اولیه مخزن  $S_0$  باشد)،  $C$  ظرفیت مخزن (ظرفیت مخزن مورد نظر ۱۲۷۴/۱۷ میلیون متر مکعب است)،  $S_0$  مقدار ذخیره اولیه،  $SW_{zdt}$  حجم کل آب سطحی تخصیص داده شده به نیاز  $d$  در دوره  $t$  در منطقه  $z$ ،  $GW_{zdt}$  حجم کل آب زیرزمینی تخصیص داده شده به نیاز  $d$  در دوره  $t$  در منطقه  $z$  است (۱۲).

در این پژوهش، شبیه‌سازی با چهار سناریوی  $M1$ ،  $M2$ ،  $M3$  و  $M4$  انجام شده و نتایج شامل میزان تأمین نیازها و میزان ذخیره مخزن سد مارون ارائه شده است. در سناریوی  $M1$ ، شبیه‌سازی برای شرایط دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ با استفاده از داده‌های ورودی، بدون تغییر در میزان مصارف، انجام شد. در سناریوی  $M2$ ، سال ۹۵-۱۳۹۴ به‌عنوان سال پایه تعریف شده و شبیه‌سازی برای افق ۱۶ ساله تا ۱۴۱۰-۱۴۰۹ انجام شده است. در این سناریو، فرض شد که تمامی نیازها ثابت است، به‌جز نیاز شرب که با افزایش جمعیت افزایش خواهد یافت، و اولویت‌ها به‌ترتیب نیاز شرب، صنعت، زیست‌محیطی و کشاورزی خواهند بود. در سناریوی  $M3$ ، فرض بر این است که در آینده، سطح زیر کشت اراضی بهبهان و رامهرمز نسبت به گذشته به‌ترتیب ۲۸۰۰ و ۶۰۰۰ هکتار افزایش یابد و اولویت تأمین نیازها مشابه سناریوی  $M2$  باشد. سناریوی  $M4$ ، با هدف بهینه‌سازی میزان رهاسازی شده از سیستم در شرایط توسعه اراضی (حداقل کردن تخطی از اختلاف حجم ذخیره مخزن بین دو حالت نرمال و تراز حداقل) در نظر گرفته شد. بنابراین اولویت تخصیص نیازها همانند سناریوی توسعه اراضی و مقادیر مربوط به رهاسازی در سیستم مطابق توابع هدف و قیودات بحث‌شده، بهینه شد.

### شاخص قابلیت اعتماد یا اطمینان‌پذیری

سیستم‌های مخازن ذخیره در تأمین آب در طی دوره‌های خشکسالی دچار شکست به‌مدت چندین ماه یا سال می‌شوند. بهره‌برداری بدون شکست سیستم ذخیره در طول دوره بهره‌برداری معمولاً به‌وسیله شاخص قابلیت اعتماد ارزیابی

جدول ۳. نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای آماری (بدون واحد)

متغیر	RMSE	MAE	NS	$R^2$
خروجی سد- ایستگاه بهبهان	۹/۹۴	۳/۰۶	۰/۸۸	۰/۸۸
حقابه سنتی- ایستگاه چم نظام	۳۳/۲۸	۲۴/۰۱	۰/۷	۰/۷۲
حجم مشاهداتی مخزن- شبیه‌سازی	۲۱۸/۶۹	۱۶۴/۰۸	۰/۳۴	۰/۵۶

شبیه‌سازی شده وجود دارد.

### نتایج و بحث

نتایج درصد تأمین نیازها، اطمینان‌پذیری مربوط به آنها و حجم ذخیره مخزن در این بخش ارائه شده است. در مرحله واسنجی مدل، مقادیر خروجی سد مارون، حقابه‌های سنتی و حجم ذخیره شده مخزن شبیه‌سازی و مقادیر آن با ایستگاه‌های بهبهان در نزدیکی خروجی سد، ایستگاه چم‌نظام و مقادیر مشاهداتی حجم ذخیره شده مخزن مقایسه شد که نتایج پارامترهای آماری آن در جدول (۳) بیان شده است. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد مدل در مرحله واسنجی خوب بود و برای خروجی سد بیشترین همبستگی با ضریب تعیین ۰/۸۸ مشاهده شد که نمودار مقایسه و پراکندگی داده‌ها در شکل (۳) ارائه شده است. پس از مرحله واسنجی، سناریوهای مختلف بررسی شدند. مقادیر ماهانه نیاز شرب و همچنین کشاورزی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در شکل‌های (۴) تا (۷) ارائه شده است. در همه سناریوها، نیاز شرب در تمامی ماه‌ها به صورت کامل تأمین می‌شود. براساس نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که در سناریوی شرایط موجود، نیازها به جز برای حقابه‌های سنتی و ماه‌های اسفند، تیر و مرداد در شبکه آبیاری شمال بهبهان، بیش از ۹۰ درصد تأمین شده است.

به منظور بررسی سناریوهای مدیریتی در این پژوهش از سه سناریوی افزایش جمعیت، افزایش سطح زیر کشت و میزان برداشت بهینه استفاده شد. سناریوی M2 در این پژوهش با اولویت نیاز شرب به کار برده شد. بنابراین، ابتدا نیاز شرب با افزایش جمعیت در تمام اوقات تأمین شده و برای نیازهای کشاورزی شبکه‌های آبیاری میزان تأمین در بعضی ماه‌ها کمتر از

می‌شود (۱۵). قابلیت اعتماد عبارت است از بخشی از زمان که مخزن قادر به تأمین تقاضا باشد (۱۲):

$$R_f = \left(1 - \frac{f}{T}\right) \quad (4)$$

که  $R_f$  قابلیت اعتماد بر پایه زمان،  $f$  تعداد کل دوره‌های شکست و  $T$  تعداد کل دوره‌های زمانی ثبت شده است.

### شاخص‌های آماری

به منظور مقایسه آماری مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، ضرایب کارایی شامل  $R^2$ ، RMSE، MAE و NS محاسبه شده است. نحوه محاسبه این معیارها به صورت روابط زیر است:

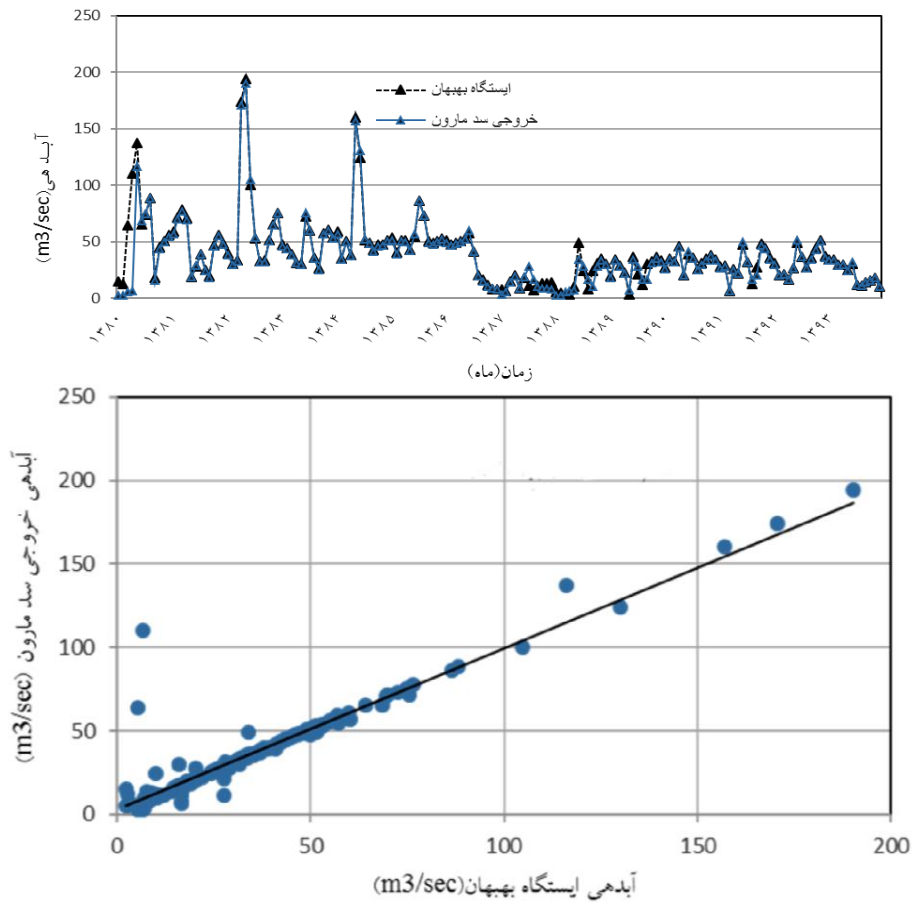
$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 * n^{-1}} \quad (6)$$

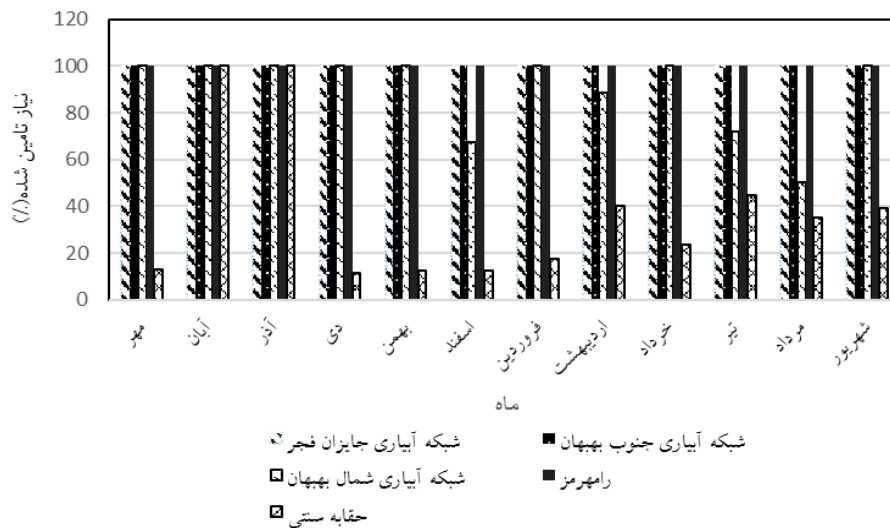
$$MAE = \left( \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| * n^{-1} \right) \quad (7)$$

$$NS = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (8)$$

که  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل،  $\bar{O}$  و  $\bar{P}$  به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل و  $n$  تعداد داده است. هرچه مقدار  $R^2$  (ضریب تبیین) به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همبستگی قوی‌تر مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده خواهد بود. حداقل بودن مقادیر RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و MAE (متوسط خطای مطلق) نیز نشان‌دهنده عملکرد مطلوب‌تر مدل خواهد بود. هر چقدر ضریب NS (نش- ساتکلیف) به عدد یک نزدیک‌تر باشد، تناسب کامل‌تری بین داده‌های مشاهداتی و



شکل ۳. مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در محل ایستگاه بهبهان و خروجی سد مارون

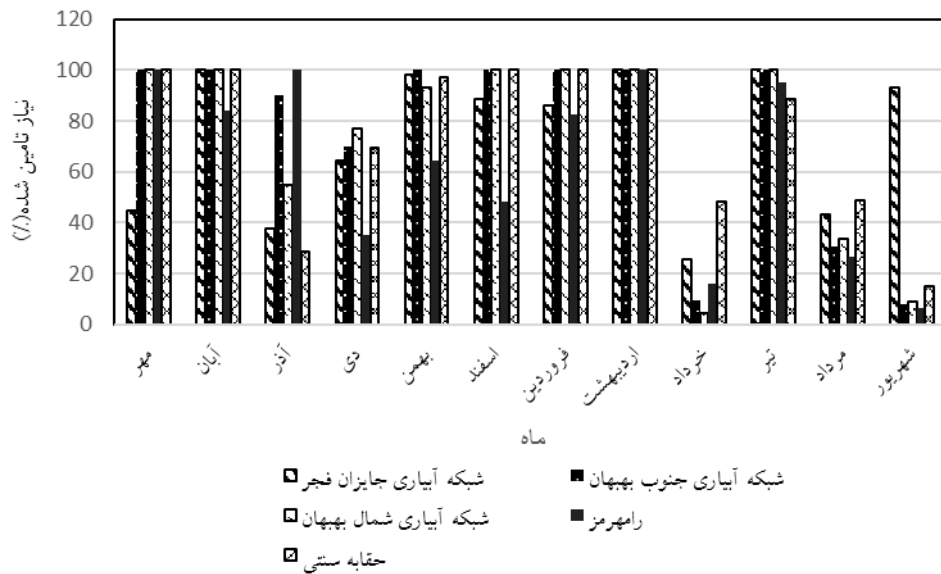


شکل ۴. درصد تأمین نیازهای شرب و کشاورزی در سناریوی M1

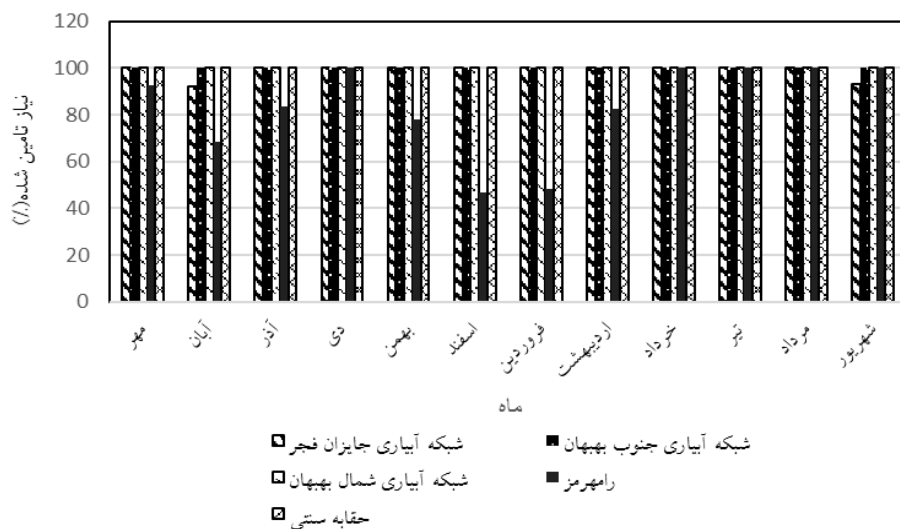
و جنوب دشت بهبهان کمتر از ۱۰ درصد است. مشابه پژوهش‌های هملت و همکاران (۱۰)، نیازهای کشاورزی منطقه

۱۰۰ درصد بوده است. برای مثال، مشاهده می‌شود که در ماه‌های خرداد و شهریور، تأمین نیاز آب برای شبکه‌های شمال





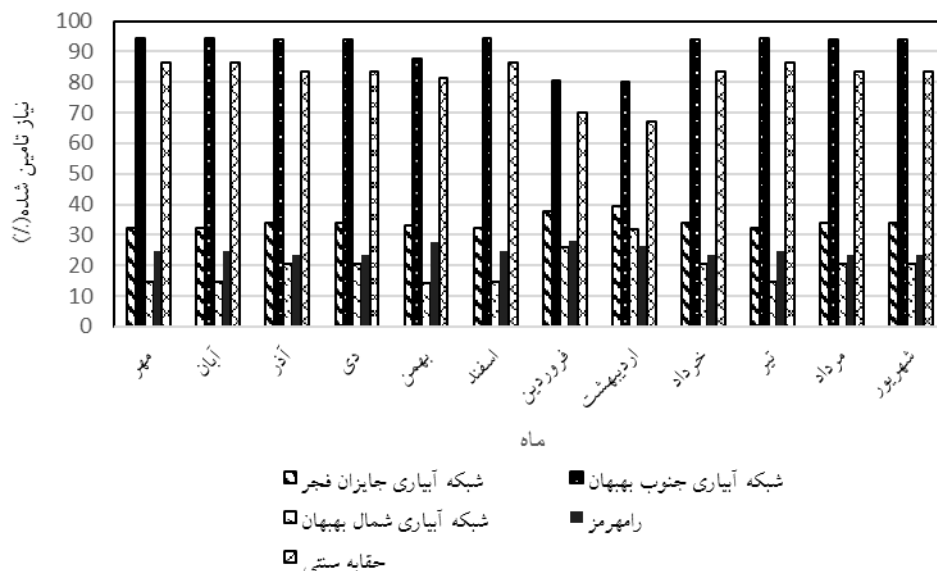
شکل ۵. درصد تأمین نیازهای شرب و کشاورزی در سناریوی M2



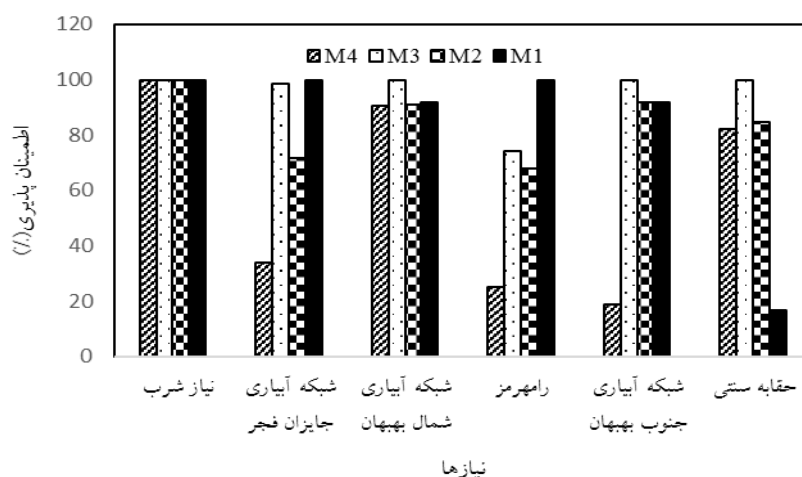
شکل ۶. درصد تأمین نیازهای شرب و کشاورزی در سناریوی M3

فروردین و اردیبهشت به ترتیب ۹۲/۶، ۶۸/۲، ۸۳/۸، ۷۷/۸، ۴۶/۶، ۴۸/۵ و ۸۲/۳ درصد تأمین نیاز صورت می‌گیرد. شمسایی و فرقانی (۱۷) تخصیص نیازهای کشاورزی آبخوان شهر یزد تحت سناریوی توسعه اراضی را بررسی کردند. ایشان بیان داشتند که توسعه اراضی نسبت به سناریوی حاضر عملکرد مناسبی ندارد و پیشنهاد دادند که از توسعه اراضی در منطقه خودداری شود. سناریوی M4 (از سناریوهای مدیریتی به‌کاربرده شده در

مورد مطالعه در آینده با مشکل مواجه خواهند شد. در سناریوی M3 (شکل ۶)، مشخص شد که نیاز کشاورزی در شبکه‌های آبیاری، به‌جز در شبکه آبیاری رامهرمز، در همه ماه‌ها بیشتر از ۹۰ درصد تأمین می‌شود و نشان‌دهنده تأمین نیازهای آبی با افزایش سطح زیر کشت در منطقه در سال‌های آتی است. لازم به‌ذکر است که در این سناریو تمام اولویت‌های تأمین نیاز در مدل مانند سناریوهای قبلی در نظر گرفته شد. در شبکه آبیاری رامهرمز در ماه‌های مهر، آبان، آذر، بهمن، اسفند،



شکل ۷. درصد تأمین نیازهای شرب و کشاورزی در سناریوی M4

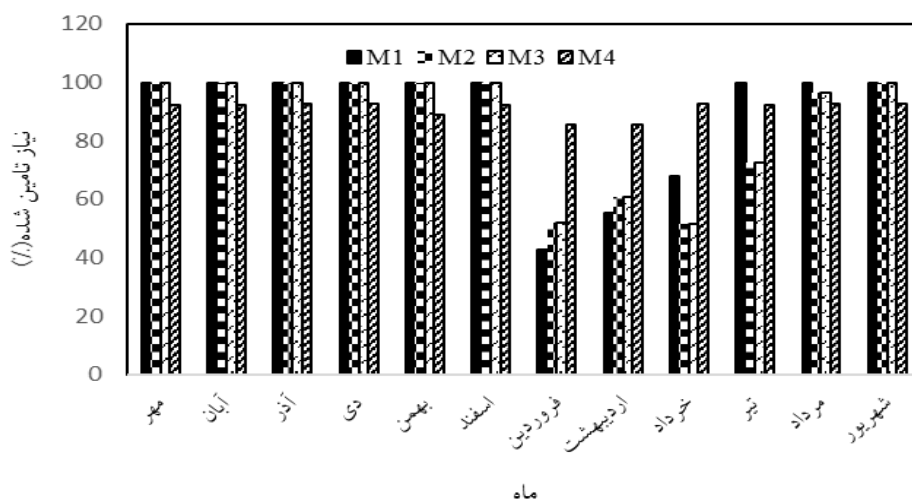


شکل ۸. درصد اطمینان پذیری تأمین نیازهای آبی در دشت بهبهان در چهار سناریوی مورد مطالعه

مصارف مختلف برای چهار سناریوی یاد شده در شکل (۸) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شرایط حاضر، میزان برداشت آب برای مصارف شرب و صنعت و شبکه‌های آبیاری (به‌جز شبکه‌های آبیاری شمال و جنوب دشت بهبهان) ۱۰۰ درصد و برای حقاچه‌های سنتی کمتر از ۵۰ درصد تأمین می‌شود و تقدم تأمین از منابع آب سطحی (رودخانه مارون) نسبت به آب زیرزمینی است. از مقایسه چهار سناریو مشخص شد که سناریوی M1 و سناریوی M2 در شبکه‌های آبیاری جازران فجر، جنوب بهبهان، شمال بهبهان و حقاچه‌های

پژوهش حاضر) نشان می‌دهد که شبکه آبیاری شمال بهبهان و حقاچه‌های سنتی در ماه‌های آذر تا اردیبهشت بیشتر از ۸۰ درصد تأمین شده‌اند (شکل ۷). همچنین، شبکه‌های جنوب بهبهان، رامهرمز و جازران فجر تقریباً در هر ماه به یک میزان تأمین می‌شوند؛ ولی در ماه‌های فصل تابستان کمتر از ۵۰ درصد تأمین نیازها رخ می‌دهد.

قابلیت اطمینان یا اطمینان‌پذیری در حقیقت اطمینان موفقیت است، یعنی احتمال اینکه سیستم بدون وقوع خرابی به وظایف تعیین شده عمل کند. درصد اطمینان‌پذیری تأمین



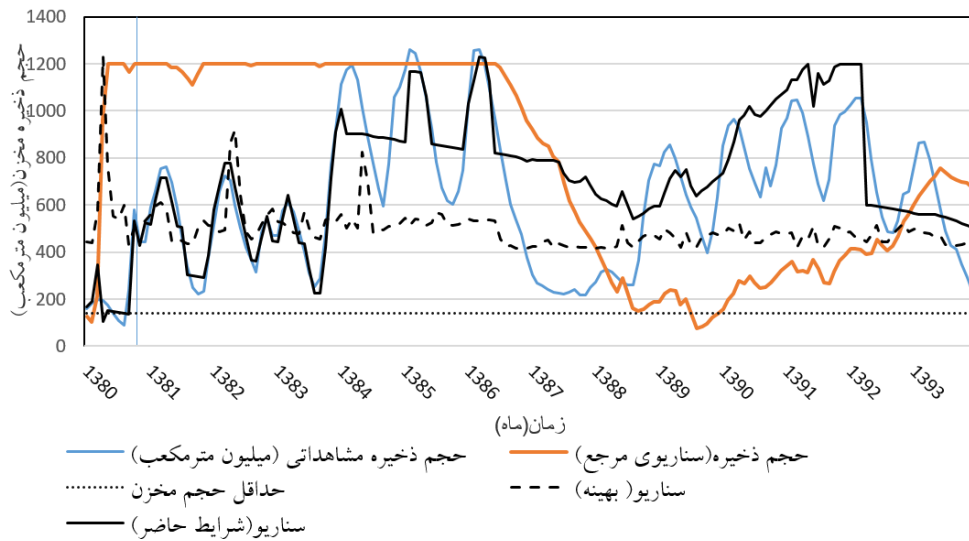
شکل ۹. درصد تأمین نیازهای زیست محیطی در دشت بهبهان در چهار سناریوی مورد مطالعه

در کل سال کمتر از ۱۰۰ درصد نیاز آبی تأمین می‌شود. اسدی (۶) نیز در بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب سد مارون با استفاده از الگوریتم PSO دریافت که سناریوی بهینه در نیاز زیست محیطی منطقه عملکرد مطلوب و بهتری دارد.

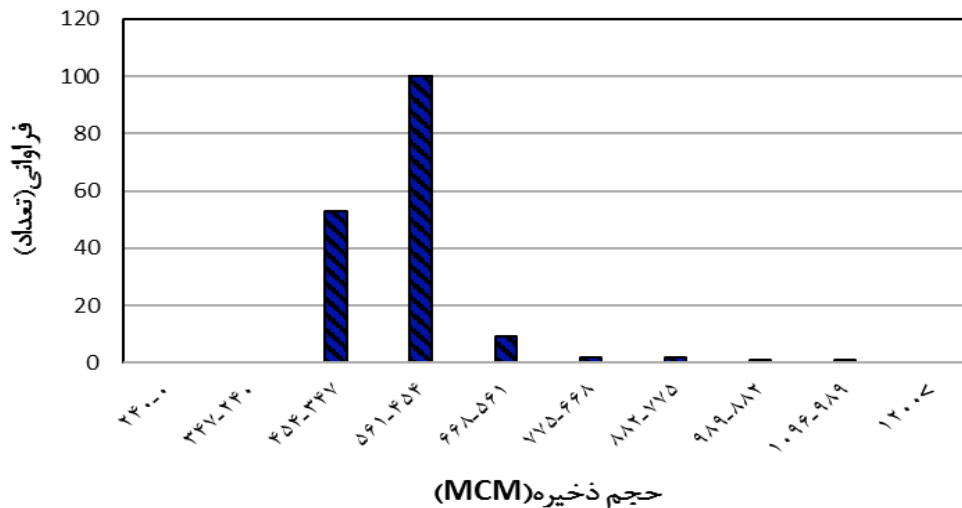
مقایسه حجم ذخیره مخزن شبیه‌سازی شده برای سناریوهای مورد مطالعه مطابق شکل (۱۰) نشان می‌دهد که در سناریوهای مرجع و توسعه اراضی در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ دارای کمترین مقدار حجم ذخیره بوده و در برخی از ماه‌ها از تراز حداقل حجم ذخیره مخزن کمتر بوده است. این امر نشان می‌دهد که سیستم نیاز به تعریف مدل بهینه‌ای دارد که همزمان هم میزان درصد تأمین نیاز در ماه‌های کم آب را افزایش دهد و هم میزان تخطی از تراز حداقل بهره‌برداری را کاهش دهد. با توجه به نتایج به دست آمده و نظر به اینکه در مدیریت و برنامه‌ریزی مخازن، میزان حجم ذخیره در زمان بهره‌برداری حائز اهمیت است، لذا می‌توان گفت که مدل بهینه‌سازی بهتر از مدل شبیه‌سازی عمل کرده است و نتایج آن با پژوهش‌های سایر پژوهشگران از جمله فرهنگی و همکاران (۸)، شمسایی و فرقانی (۱۷) و علی محمدی و حسین‌زاده (۵) انطباق دارد. فرکانس حجم ذخیره-زمان-احتمال حاصل از حجم ذخیره ماندگاری در سناریوی بهینه با تقسیم مقادیر حجم ذخیره به ۱۰ حالت و پیدا کردن فراوانی مربوط به هر بازه (شکل ۱۱) نشان

سنی بیشترین درصد اطمینان‌پذیری را داشت و کمترین درصد اطمینان‌پذیری در سناریوی بهینه به دست آمد. در پژوهش‌های علی محمدی و حسین‌زاده (۵) در بررسی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه ابهر بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی خطی نسبت به شبیه‌سازی عملکرد بهتری را نشان داد. همچنین، در مطالعات فرهنگی و همکاران (۸) بهینه‌سازی نتایج بهتری نسبت به مدل شبیه‌سازی برای تخصیص منابع آب منطقه را نشان داد.

با توجه به شکل (۹)، برای نیاز زیست محیطی در سناریوی M1 منطقه مشاهده می‌شود که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت در طول دوره شبیه‌سازی برای ماه‌های بهار که باید حدود ۶۰ درصد باشد تقریباً ۱۰ درصد کمتر از حد مجاز تأمین شده است که مطلوب نیست. تأمین نیاز برای سناریوی M2 در ماه‌های فروردین تا مرداد کمتر از ۱۰۰ درصد و در ماه‌های فروردین تا خرداد حتی کمتر از ۶۰ درصد بوده که قابل توجه است و در سایر ماه‌ها به‌طور کامل تأمین می‌شود. حداقل نیاز زیست محیطی پایین دست رودخانه مارون در شرایط توسعه اراضی در ماه‌های فروردین تا مرداد به ترتیب ۵۱/۸، ۶۰/۸، ۵۱/۵، ۷۲/۴ و ۹۶/۳ درصد تأمین شده است. از مقایسه چهار سناریو در تأمین نیاز آبی زیست محیطی مشخص شد که سناریوی M4 در ماه‌های بهار نسبت به سه سناریوی دیگر بهتر و مطلوب‌تر عمل می‌کند؛ ولی



شکل ۱۰. مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حجم مخزن سد مارون



شکل ۱۱. نمودار حجم ذخیره- فراوانی سد مارون

### نتیجه‌گیری

سیستم‌های مخازن ذخیره ممکن است برای دو منظور بهره‌برداری کلی نگهداشت و کنترل سیلاب طراحی شوند. اهداف ذخیره شامل مصارف آب شهری، کشاورزی، صنعت، قایقرانی و تولید انرژی برقی است. قسمتی از حجم کل مخزن که به منظور ذخیره در نظر گرفته می‌شود و قابل استفاده است به‌عنوان حجم مفید شناخته می‌شود. بنابراین، بایستی مدیریت بهره‌برداری طوری انجام شود که مخزن با شکست روبه‌رو

داد که احتمال اینکه حجم مخزن کمتر از ۱۳۸ میلیون متر مکعب نباشد ۱۰۰ درصد (یعنی در همه ماه‌ها این حجم تأمین شده است)، احتمال یک دوم حجم مخزن ۶۰ درصد، سه چهارم حجم مخزن ۳ درصد و احتمال ماندگاری برای حالت پر بودن مخزن ۰/۶ درصد (یعنی یک ماه این حجم تأمین خواهد شد) و همچنین احتمال سرریز شدن مخزن نیز ۰/۶ درصد است. فرکانس محاسبه شده می‌تواند برای محاسبه منحنی فرمان به مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب کمک کند.

می‌شود. حداقل تأمین نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه مارون در ماه‌های بهار کمتر از ۵۰ درصد بوده که قابل توجه است. برای سایر ماه‌ها به‌طور کامل تأمین می‌شود. نتایج سناریوی M3 نشان داد که نیاز کشاورزی در همه شبکه‌های آبیاری، به‌جز شبکه آبیاری رامهرمز، به‌صورت ماهانه بیشتر از ۹۰ درصد تأمین شد. همچنین، تأمین نیاز زیست‌محیطی در ماه‌های فروردین و خرداد به‌ترتیب ۵۱/۸ و ۵۱/۵ درصد بوده است. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با قید عدم تخطی از حجم حداقل بهره‌برداری مخزن در حل مسائل بهره‌برداری بهینه از مخازن کارایی مناسبی دارد. نیاز شرب در تمام ماه‌ها و در تمام سناریوها به‌طور کامل تأمین می‌شود. به‌طور کلی، از مقایسه شرایط حاضر با سناریوهای مدیریتی مشخص شد که در سه سناریوی شرایط حاضر، مرجع و توسعه اراضی، تأمین نیازهای آبی مصارف مختلف با درصد اطمینان‌پذیری بالاتر نسبت به سناریوی بهینه تأمین می‌شود. اما حجم مخزن در دوره‌ای در سه سناریوی M1، M2 و M3 با شکست مواجه شده است و این امر نیاز به انتخاب سناریوی مناسب و کاراتر برای توسعه پایدار و حفظ شرایط زیست‌محیطی در منطقه دارد. برای افزایش میزان تأمین نیازهای آبی کشاورزی در منطقه در سناریوی بهینه می‌توان پیشنهاد کرد که از الگوی کشت مناسب، سیستم‌های نوین آبیاری با راندمان بالا و همچنین انتقال آب از زیرحوضه‌های دیگر به این حوضه استفاده شود.

نشود. در این راستا، ارزیابی تخصیص منابع آب حوضه رودخانه مارون در شرایط موجود، سناریوی مرجع، توسعه اراضی و بهره‌برداری بهینه با اعمال محدودیت و عدم تجاوز از حداقل حجم مخزن برای مصارف مختلف هدف این پژوهش قرار گرفت. لزوم بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود، به‌دلیل محدودیت آنها و شکاف ایجاد شده بین عرضه و تقاضا در این نقاط، اهمیت بسزایی در سال‌های اخیر پیدا کرده است. نتایج حاصل از واسنجی انجام شده برای مدل، در دوره شبیه‌سازی (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳) نشان داد که شبیه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب این حوضه با استفاده از مدل WEAP با دقت مناسبی انجام شده است. نتایج ارزیابی سناریوها نشان داد که در سناریوی M1، با توجه به محدودیت ایجاد شده توسط ارگان‌های ذیربط در تخصیص آب به وسعت محدودی از دشت‌های تحت پوشش، ضریب اطمینان‌پذیری برای مصارف شرب، صنعت و شبکه‌های آبیاری و زهکشی ۱۰۰ درصد و برای حقبه‌های سنتی کمتر از ۵۰ درصد حاصل شد. نیاز زیست‌محیطی منطقه در این شرایط در ماه‌های فروردین و اردیبهشت در طول دوره شبیه‌سازی حدود ۱۰ درصد کمتر از حد مجاز تأمین شده و این برای ماه‌های بهار که بایستی حدود ۶۰ درصد باشد، نامطلوب است. در سناریوی مرجع، با وجود افزایش جمعیت در سال‌های آینده، نیاز شرب و صنعت به‌طور کامل تأمین می‌شود. نیازهای کشاورزی و حقبه‌های سنتی در همه شبکه‌های آبیاری منطقه مورد مطالعه غالباً در همه ماه‌ها بیشتر از ۹۰ درصد تأمین

## منابع مورد استفاده

1. Abdullahi, S. A., M. M. Muhammad, B. K. Adeogun and I. U. Mohammed. 2014. Assessment of water availability in the Sokoto Rima River Basin. *Resources and Environment Journal* 4(5): 220-233.
2. Adgolign, T. B., G. V. R. S. Rao and Y. Abbulu. 2016. WEAP modeling of surface water resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management Journal* 2(1): 55-70.
3. Alfarrar, A. 2004. Modeling water resource management in Lake Naivasha. MSc. Thesis, Department of Water Resources and Environmental Management, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
4. Alemayehu, T., M. McCartney and S. Kebede. 2010. The water resource implications of planned development in the Lake Tana catchment, Ethiopia. *Ecohydrology and Hydrobiology Journal* 10(2-4): 211-222.
5. Alimohammadi, S. and H. Hosseinzadeh. 2010. Conjunctive use of surface water and groundwater resources in Abhar river basin. *Journal of Water and Wastewater* 21(3): 75-87. (In Farsi).
6. Asadi, M. 1395. Optimal operation of water resources systems using PSO algorithm (Case study: Maroon Dam). MSc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).

7. Buras, N. 1963. Conjunctive operation of dams and aquifers. *Journal of the Hydraulics Division* 89(6): 111-131 .
8. Farhangi, M., O. Bozorg-Haddad and M. A. Marino. 2012. Evaluation of simulation and optimization models for WRP with Pls. *Water Management* 165(5): 265-276.
9. Flores-Lopez, F., S. E. Galaitsi, M. Escobar and D. Purkey. 2016. Modeling of Andean Paramo ecosystems hydrological response to environmental change. *Jornal of Water* 8(3): 94. doi:10.3390/w8030094 .
10. Hamlat A., M. Errih and A. Guidoum. 2013. Simulation of water resources management scenarios in Western Algeria Watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences* 6(7): 2225-2236 .
11. Harma, K. J., M. S. Johnson and S. J. Cohen. 2012. Future water supply and demand in the Okanagan Basin, British Columbia: A scenario-based analysis of multiple interacting stressors. *Water Resources Management Journal* 26(3): 667-689.
12. Loucks, D. P., J. H. Stedinger and D. A. Haith. 1981. *Water Resources System Planning and Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 250-275.
13. Mansouri, S., L. Ouerdachi and M. Remaoun. 2017. Inter-region planning and analysis of water resources by using WEAP model Seybouse (Annaba) and coastal east of Constantine (El-Taref). *Journal of Water and Land Development* 33: 115-122.
14. Moridi, A. 2007. Integrated water allocation model considering quantitative and qualitative objectives. PhD. Thesis, Amirkabir University of Technology. (In Farsi).
15. Mugatsia, E. A. 2010. Simulation and scenario analysis of water resources management in Perkerra catchment using WEAP model. MSc. Thesis, Department of Civil and Structural Engineering, School of Engineering, Moi University, Kenya.
16. Salimi, A. R., H. Zare Abyaneh, Sh. Mahdavi and A. Shahnazari. 2016. Simulation of water resources allocation in existing situations using MIKEBASIN model (Case study: Sha'ban Nahavand Creek). 6<sup>th</sup> Iran Water Resources Management Conference, Kurdistan University. (In Farsi).
17. Shamsai, A. and A. Forghani. 2011. Conjunctive use of surface and ground water resources in arid regions. *Iran-Water Resources Research* 7(2): 26-36. (In Farsi).
18. Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision. 2012. Guideline for finding aquatic ecosystems environmental water requirement. No. 557. (In Farsi).

## Conjunctive Use of Surface and Ground Water Resources by WEAP Simulation Model (A Case Study: Behbahan Plain, Khuzestan Province)

A. Kheyrandish<sup>1</sup>, S. F. Mousavi<sup>1</sup>, H. R. Ghafouri<sup>2</sup> and S. Farzin<sup>1\*</sup>

(Received: October 5-2017 ; Accepted: July 18-2018)

### Abstract

In this research, conjunctive and integrated operation of surface and ground water resources of Behbahan plain (Maroon dam's reservoir and existing wells, respectively) was investigated. Simulation of allocation of water demands in this basin was performed by four scenarios, using WEAP software: 1) current conditions (M1), 2) reference scenario for the next 16 years (M2), 3) land development scenario (M3), and 4) optimal scenario (M4). The optimal scenario was performed with multi-purpose linear programming. Based on the results, drinking water demands was satisfied completely in all scenarios. Under the scenario of current conditions, all agricultural demands, except the traditional rights, supplied more than 50% in the low-flow months. In the reference scenario, water supply for agricultural demands in some months was less than 100% and even in June and July, the water supply for North and South Irrigation networks of Behbahan plain was less than 10%. In the land development scenario, agricultural demands of all irrigation networks, except Ramhormoz network, satisfied more than 90% in all months. The optimal scenario performed better than other scenarios for minimum Maroon River flow and volume of storage in the reservoir. Comparison of the four scenarios in satisfying the environmental needs also revealed that the optimal scenario performed better than the other three scenarios in the spring months. However, it provided less than 100% of water needs in the whole year. Comparison of the four scenarios also showed that the first two scenarios had the highest reliability percent in the Jayzan-Fajr, South Behbahan and North Behbahan Irrigation Networks and traditional water rights. Frequency of storage-time-probability from the storage volume in the optimal scenario also showed that maximum storage lifetime of the lasting storage volume was 558 million m<sup>3</sup> (which was equal to half of the volume of Maroon dam's reservoir) with the highest probability (60%).

**Keywords:** Maroon River, WEAP, Behbahan plain, Water demands, Optimization

1. Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

2. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: saeed.farzin@semnan.ac.ir