ارزیابی اثرهای اقتصادی سناریوهای مدیریت منابع آب درحوضه آبریز پیشین

جواد شهرکی*[۱]، علی سردارشهرکی[۲]، سیدآرمان هاشمی منفرد[۳]

تاریخ دریافت:۹۵/۱۱/۴ تاریخ پذیرش:۹۶/۳/۲۰

چکیده

سد پیشین یکی از مهم‌ترین سدهای حوزه آبریز شرقی ایران در جنوب استان سیستان و بلوچستان است. این منطقه از یک سو با بارندگی بسیار کم و تبخیر بسیار بالا و از سویی دیگر با افزایش روز افزون تقاضای شهری، کشاورزی و صنعتی، با تنش آبی شدیدی روبه‌روست. در این منطقه از سوی دولت و وزارت نیرو طرح‌های توسعه آبی پیش‌بینی شده و در حال اجراست و بر عرضه و تقاضای آب در منطقه تأثیر زیادی خواهد گذاشت. از این‌رو، هدف این مطالعه، ارزیابی اثرهای اقتصادی سناریوهای توسعه مدیریت منابع آب در حوضه آبریز پیشین می‌باشد. برای تحقق هدف و بدست آوردن نتایج، ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار WEAP با ۶ سناریوی گوناگون در یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی شد و در در گام دوم منافع اقتصادی ناشی از این سناریوها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده در سناریوی مرجع مقدار تخصیص برای بخش کشاورزی باهوکلات، بخش‌های شرب، کشاورزی غیرمجاز و محیط زیست به ترتیب حدود ۲۹، ۷، ۸ و ۳۰ میلیون متر مکعب بدست آمد. در این سناریو تنها ۲۴۵۰ هکتار از اراضی منطقه کشت خواهد شد. بیش‌ترین سطح زیر کشت در سناریوی بهره‌برداری از سد کهیر برای استفاده زمین‌های پایاب سد پیشین (۴۶۰۰ هکتار) بدست آمد که منافعی حدود ۸/۴۱ میلیارد تومان عاید منطقه خواهد شد. از این رو، سرمایه‌گذاری لازم جهت بهره‌برداری و اجرای این سناریو می‌بایست در اولویت قرار گیرد.

طبقه بندی JEL: Q_{22} ،A_1 ،Q_{25}

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اقتصادی، مدیریت منابع آب، WEAP، شبیه‌سازی، سد پیشین.

[۱]- نویسنده مسئول: دانشیار علوم اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان j.shahraki@eco.usb.ac.ir

[۲]- استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

[۳]- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

پیشگفتار

از کل حجم منابع آب جهان حدود ۹۷/۵ درصد آن را آب‌های شور تشکیل می‌دهند و تنها ۲/۵ درصد آن آب شیرین است. از این مقدار آب شیرین نیز، حدود ۶۷/۷ درصد آن بشکل توده‌های عظیم یخ‌های دایمی قطب ها و ۲۹/۹ درصد به صورت آب‌های زیرزمینی در اعماق زمین مدفون هستند. تنها ۰/۲۶ درصد از مجموع آب‌های شیرین روی زمین در دریاچه‌ها، برکه ها و رودخانه‌های جاری یافت می‌شوند (سردارشهرکی[۱] و همکاران، ۲۰۱۶). آخرین برآوردهای یونسکو و فائو از چرخه آب در کره زمین نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه ایران اختلافی معنادار با میانگین بارندگی نقاط دیگر جهان دارد. متوسط بارندگی سالانه در سطح کره زمین ۸۶۰ میلی‌متر، میانگین بارندگی سالانه در آسیا ۷۳۲ میلی‌متر و میانگین سالانه ریزش‌های جوی در ایران حدود ۲۶۰ میلی‌متر است، از سوی دیگر، میانگین تبخیر سالانه آب در جهان ۷۰۰ میلیمتر و در ایران ۲۱۰۰ میلیمتر است (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). افزون بر ثابت بودن نسبی منابع آب در جهان، بحران فزاینده آب را ناشی از رشد فزاینده جمعیت، توزیع نامتوازن منابع آبهای سطحی و زیر زمینی، افزایش آلودگی منابع آبی، نارسایی در قوانین بین‌الملل در برداشت از منابع آبی مشترک بین کشورها، تغییر الگوی مصرف، نبود سازکار صحیح تخصیص بهینه منابع آب و... می‌توان دانست (سردارشهرکی و همکاران، ۱۳۹۵). مصرف درست آب و بعبارتی تخصیص بهینه آب بین مصارف رقیب می‌تواند یکی از راهکارهای موثر در رویارویی با بحران آب باشد. تخصیص منابع آبی زمانی کارآمد است که بتوانند با فناوری موجود و مقادیر در دسترس آب، کل منافع ایجاد شده را به بیشینه برساند. به بیان دیگر، تخصیص بهینه آب می‌تواند به برابری منافع نهایی استفاده از آب در بخش های گوناگون به منظور بیشینه ساختن رفاه اجتماعی تعبیر شود (احمدی، ۱۳۹۳). به لحاظ اقتصادی، تخصیصی کارآمد است که بالاترین بازده، از مقدار معینی منابع آب را فراهم کند. استقرار روش‌های مناسب تخصیص منابع آب، نهادها و سیاست‌های مناسب، توجه شمار زیادی از پژوهشگران، برنامه‌ریزان و دولت‌ها را به خود جلب نموده است (شهرکی، ۱۳۸۸). افزون بر ثابت بودن نسبی منابع آب در جهان، بحران فزاینده آب را می‌توان ناشی از رشد فزاینده جمعیت، توزیع نامتوازن منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، افزایش آلودگی منابع آبی، صنعتی شده جوامع، نارسایی در قوانین بین‌المللی در برداشت از منابع آبی مشترک بین کشورها، تغییر الگوی مصرف، چالش تغییر اقلیم و نبود سازکار صحیح تخصیص بهینه منابع آب دانست (نظام‌نامه تخصیص منابع آب در برنامه پنجم توسعه، ۱۳۸۹).

وجود مصرف‌کنندگان متعدد با مطلوبیت‌ها و اولویت‌های گوناگون در مسایل مربوط به مدیریت

---

[۱]- Sardar Shahraki

و برنامه‌ریزی منابع آب، اختلاف‌نظرها و تنش‌های شایان توجهی را در مورد منابع آبی حوضه ایجاد می‌کند که دغدغه‌های بسیاری برای مدیران و برنامه‌ریزان به همراه داشته است (مدنی و لاند[۱]، ۲۰۱۰). با توجه به رشد نمایی جمعیت و کمبود منابع طبیعی بویژه منابع آبی که گاهی دست‌خوش تغییرات زیست‌محیطی هم قرار می‌گیرد، توانایی برنامه‌ریزان برای حل صلح‌آمیز اختلاف‌های موجود بر سر مسئله پیچیده توزیع آب می‌تواند، یک عامل مهم در ثبات و امنیت در منطقه باشد (والف[۲]، ۱۹۹۹). با افزایش نیازهای آبی، رقابت استفاده کنندگان بالادست و پایین‌دست سیستم‌های آبی، رو به افزایش است، این امر ضرورت توجه به مباحث تخصیص منابع آب را افزایش داده است، مدیریت جامع و کارآیی منابع آب در سطوح گوناگون مکانی و زمانی و در نقاط گوناگون حوضه ضروری است (سردارشهرکی و همکاران، ۱۳۹۵).

استان سیستان و بلوچستان، با توجه به محدودیت‌های شدید منابع آبی و دور بودن از چرخه توسعه از لحاظ مدیریت منابع آب، در این زمینه از پیچیدگی بیش‌تری نسبت به سایر نقاط کشور برخوردار است و از نظر هیدرولوژیکی، شرایط اقلیمی و مدیریت منابع آب، این استان شرایط خاص خود را دارد. حوزه آبریز رودخانه‌های بلوچستان جنوبی با مساحت ۴۸۶۶۲ کیلومترمربع شرقی‌ترین حوزه آبریز ایران است که از این مساحت در حدود ۴۰۸۱۱/۵ کیلومترمربع را مناطق کوهستانی و ۷۸۵۰/۵ کیلومترمربع آن را مناطق دشتی تشکیل می‌دهد (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). در این حوزه، سد پیشین به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌های آبی در منطقه مورد توجه بسیار است. این سد در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شهرستان چابهار قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه در حوزه آبخیز سد پیشین بین بیشینه ۴۹۹/۵ و کمینه ۴۴ میلیمتر در طول ۱۵ سال ثبت شده است. دمای میانگین ماهیانه در ایستگاه پیشین از کمینه ۱۷/۷ تا بیشینه ۳۵/۷ درجه سانتیگراد متغیر بوده و میانگین تبخیر در این منطقه۳۵۹۰ میلی‌متر در سال است. این سد مهم‌ترین و حیاتی‌ترین منبع آبی در منطقه و تغذیه کننده اصلی بخش‌های گوناگون کشاورزی، شرب، زیست‌محیطی و کلیه فعالیت‌های اقتصادی در منطقه می‌باشد. کمی نزولات جوی، پراکندگی و نامشخص بودن زمان بارش و بالا بودن سطح مقدار تبخیر باعث شده است تا وضعیت آب سد بحرانی گزارش شود. این در حالیست که ذخیره آب موجود جوابگوی نیاز ذینفعان نیست و این عدم تعادل در منابع و مصارف آب در سد پیشین، تنش و اختلاف‌هایی بر سر تخصیص آب به مصرف کنندگان پایین‌دست آن را به همراه داشته است (وزارت نیرو، ۱۳۹۳).

شناخت عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضای آب و تعیین روابط مبتنی بر نظریات اقتصادی برای

۱- Madani & Lund
۲- Wolf

مصارف گوناگون، می‌تواند شرایطی برای سیاست‌گذاران فراهم سازد تا با توجه به ذخایر آب در دسترس، و با استفاده از تحلیل حساسیت عرضه و تقاضا، نسبت به متغیرهای تأثیرگذار نظیر جمعیت، سرمایه، فناوری، درآمد و سایر متغیرهای مؤثر، سیاست‌هایی مناسب را برای برخورد با مشکلات و بحرآن‌های ناشی از کمبود آب اتخاذ نموده و نتایج سیاست‌ها و سناریوهای اتخاذ شده را پیش‌بینی، تحلیل و ارزیابی اقتصادی نمایند. با توجه به شرایط آبی سد پیشین سناریوهای گوناگون مدیریتی منابع آب از سوی وزرات نیرو در این حوضه پیش‌بینی و در حالا اجراست، که هر کدام از آن‌ها تأثیرات خاصی بر منابع و مصارف آب خواهد گذاشت. بنابراین، در مجموع تأکید این پژوهش بررسی تأثیر سناریوهای گوناگون توسعه آبی پیش‌بینی شده در حوضه آبریز سد پیشین و طرح‌های عرضه و تقاضای آب بر مقدار تأمین نیازهای آبی حال و آینده و ارزیابی اقتصادی آن‌ها با توجه به جنبه‌های گوناگون می‌باشد. لذا، تلاش این مطالعه بر این است که منابع و مصارف بلندمدت منابع آب شبیه‌سازی گردیده و براساس آن تمهیدهای لازم و سناریوهای گوناگون عرضه و تقاضای و طرح های توسعه آبی پیش بینی شده در حوضه بر مقدار عدم تأمین نیاز آب، بررسی شود. سناریوهای پیش‌بینی شده در این مطالعه، بر اساس سیاست‌های دولت و وزرات نیرو و برنامه توسعه بلندمدت منابع آب در منطقه در زمان حال و آینده از جنبه‌های گوناگون تدوین خواهد شد. به گونه مشخص اهداف این پژوهش شبیه‌سازی حوضه آبریز سد پیشین برای ارزیابی سناریوهای گوناگون مدیریتی منابع آب و ارزیابی اقتصادی اثرهای طرح‌های پیش‌بینی شده توسعه آبی در بخش‌های گوناگون در یک دوره بلندمدت می باشد.

ادبیات و پیشینه پژوهش

مدیریت و سیاست‌گذاری آب در سطح جهان تا آغاز دهه ۱۹۸۰، صرفاً در پی عرضه آب بیش‌تر برای تأمین تقاضای جمعیت رو به رشد بود (مدنی و همکاران، ۲۰۱۶). این امر جامعه جهانی را به واکنش و اتخاذ نگرشی تازه در مدیریت بخش آب وادار کرد. تلاش‌های بین‌المللی ۳۰ سال اخیر، ضرورت جامع‌نگری را به الگوی جدید مدیریت آب تبدیل کرده است که «مدیریت یکپارچه منابع آب» و «مدیریت یکپارچه حوضه» از مظاهر آن به شمار می‌رود (زارع زاده[۱] و همکاران، ۲۰۱۲). هدف از مدیریت یکپارچه منابع آب، ایجاد سیستمی است که ضمن ارتباط دادن متقابل مدیریت منابع آب با محیط‌زیست و توسعه اجتماعی و اقتصادی، از انعکاس و بازخورد آن‌ها بهره‌مند گردیده و در نهایت با مشارکت بخش‌های گوناگون تصمیم‌گیری تخصیص و توسعه منابع آب صورت گیرد

۱- Zarezadeh

(پانده و ارتسن[۱]، ۲۰۱۴). گزاره‌های مدیریت یکپارچه منابع آب را می‌توان به صورت جدول ۱ خلاصه کرد.

در مورد مدل‌سازی مدیریت منابع آب پژوهش‌هایی گسترده انجام گرفته است. در ابتدا مدل‌ها بسیار ساده بوده و با پیشرفت‌های علمی و توسعه نرم افزارهای رایانه‌ای این مدل‌ها پیچیده‌تر شدند (اورس[۲] و همکاران، ۱۹۸۸). با پیشرفت در فناوری داده‌ها یکی از راه‌های حل مسایل مدیریت آب با اهداف متضاد، سیستم‌های حمایت تصمیم‌گیری هستند. این سیستم‌ها برنامه‌های رایانه‌ای مناسبی می‌باشند که داده‌ها، نظرهای تصمیم‌گیرندگان و مدل‌های گوناگون را برای حل مسایل مدیریت آب با هم ترکیب کرده و راه حل مناسبی را ارایه می‌دهند (لوییس و تزیلیویکاس[۳]، ۲۰۰۰).

از دهه ۱۹۷۰ سیستم‌های حمایت تصمیم‌گیری بمنظور حل مشکلات بالا به گونه‌ای گسترده مورد استفاده تصمیم‌گیران قرار گرفته‌اند (هررو[۴] و همکاران، ۱۹۹۹). این سیستم‌ها با ایجاد مدل ساختاری به تصمیم‌گیری بهتر تصمیم‌گیران کمک می‌کنند. هم چنین، با تبدیل مدل‌های پیچیده به مدل‌های ساده‌تر درک آن را برای سیاست‌گذاران آسان‌تر کرده و شرایطی فراهم می‌کنند تا بین اجزا سیستم رابطه منطقی ایجاد شده و تصمیم‌گیری را بهبود بخشد، ولی باید توجه کرد که یک مدل برخی از مسایل یک منبع را توصیف می‌کند، به همین دلیل مدل‌هایی که به وسیله افراد گوناگون ساخته می‌شوند، متفاوت هستند (پاور[۵]، ۲۰۰۲). تعاریف زیادی در حوزه‌های گوناگون از این سیستم‌ها شده است. یکی از تعاریف که در مدیریت منابع آب نیز کاربرد زیادی دارد تعریف اسپراگ و کارلسون[۶] (۱۹۸۲) است. آن‌ها بیان می‌کنند: "این مدل‌ها، سیستم‌های تعاملی کامپیوتری هستند که به تصمیم‌گیران برای کاربرد داده‌ها و مدل‌سازی کمک کرده تا مسایل غیرساختاری را حل کنند". توربون[۷] (۱۹۹۵) تعریف کامل‌تری ارایه داد: "سیستم حمایت تصمیم‌گیری، یک سیستم داده‌های تعاملی، انعطاف‌پذیر و توافقی رایانه‌ای است که بمنظور بهبود تصمیم‌گیری به مدیریت مسایل غیرساختاری می‌پردازد. این سیستم با استفاده از داده‌های ورودی به کاربران کمک می‌کند تا مدل را ساده‌تر بیان کرده و تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران دید بهتری در مورد مسایل و مشکلات پیدا کنند". لذا به نظر می‌رسد نیاز زیادی به مدل‌سازی و تجزیه و

۱- Pande and Ertsen
۲- Evers
۳- Lewis and Tzilivakis
۴- Herrero
۵- Power
۶- Sprague and Carlson
۷- Turban

تحلیل سیستم‌های حمایت تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی وجود دارد (کرستن[۱]، ۱۹۸۸). لی و داینار[۲] (۱۹۹۵) (مروری بر مطالعات انجام شده در مورد مدل‌سازی مدیریت آب داشته و برخی مسایل مهم در این مورد را مطرح کرده‌اند. یک مدل، در واقع ساده شده واقعیت است و برای استفاده و تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت کارا استفاده می‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی مشخص می‌کنند که اگر از یک گزینه و سیاست خاص استفاده شود، در طول زمان و در گستره مکان، به احتمال زیاد چه اتفاقی خواهد افتاد، به همین دلیل در شبیه‌سازی معمولاً مسایل به صورت سناریوهای "اگر - آنگاه چه" مطرح می‌شوند. این مدل‌ها بر خلاف مدل‌های بهینه‌سازی با فرض‌های ساده‌کننده روبه‌رو نیستند؛ بنابراین، به کمک شبیه‌سازی می‌توان یک مسئله را مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار داد (لوکاس[۳] و همکاران، ۲۰۰۰). در این راستا مدل‌های متعددی توسعه یافته‌اند،[۴] WEAP، MIKE BASIN، [۵]RIBASIM، [۶]MODISM، WBALMO، AQUATOOL، WATER WARE، WARGI-SIM[۷] مدل‌هایی هستند که در مسایل تخصیص منابع آب با رویکرد شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در انتخاب مدل مناسب، توجه به قابلیت‌ها و داده‌های در دسترس و ساختار مدل اهمیت پیدا می‌کند. افزون بر این، مقایسه و ارزیابی آن‌ها، با توجه به اهداف مدیریتی انتخاب مدل مناسب و سازگار با شرایط آبی منطقه بسیار ضروری می‌باشد. در جدول ۲ خصوصیات مدل‌های شبیه‌سازی مدیریت منابع آب در حوضه آبریز با یکدیگر مقایسه شده است.

با توجه به روش مورد استفاده برای شبیه‌سازی حوضه آبریز سد پیشین، می توان به مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته در زیر اشاره کرد:

سلطانی و مدرس (۱۳۸۵) مدیریت منابع آب در استان اصفهان بر اساس تحلیل و پایش خشک‌سالی بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از زنجیره مارکف به عنوان یکی ازمدل‌های استوکاستیک مورد استفاده در منابع آب و تلفیق آن با شاخص دهک‌ها، مشخص شد احتمال وقوع خشک‌سالی در مناطق غربی استان اصفهان، با وجود اقلیم مرطوب‌تر، بیش‌تر است. با این وجود، تجمع صنایع و زمین‌های زیر کشت محصولات کشاورزی با نیاز آبی بالا مانند برنج درمناطق دارای احتمال وقوع بالای خشک‌سالی، نشان دهنده عدم توجه برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب به مدیریت

۱- Kersten
۲- Lee and Dinar
۳- Loucks
۴- Water evaluation and planning system
۵- River basin simulation
۶- Model simulator
۷- Water resources system optimization aided by graphical interface-simulation

بهنیه بر پایه روش‌های علمی و عدم توجه به احتمال وقوع خشک‌سالی در مناطق گوناگون استان اصفهان می‌باشد. حافظ‌پرست مؤدت و خلقی (۱۳۸۵) برنامه‌ریزی منابع آب با استفاده از مدل WEAPدر بخشی از حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود مورد بررسی قرار دادند. نتایج استفاده از مدل WEAPدر مدیریت منابع آب این بخش از حوضه حبله‌رود نشان می‌دهد که اراضی داخل شبکه آبیاری دشت گرمسار مشکل کمبود آب دارند و در این شرایط مقدار میانگین درصد کمبود سالانه اراضی بیش‌تر از ۶ درصد می‌باشد که بایستی کم‌تر شود و سطح زیر کشت کاهش یابد و یا با افزایش راندمان آبیاری، توسعه طرح‌های آبیاری تحت فشار، افزایش راندمان انتقال آب و یا ایجاد منابع تازه مثل احداث سد از این امر جلوگیری شود و اراضی خارج از دشت قابل توسعه می‌باشد. وطن‌دوست و همکاران (۱۳۸۸) سناریوهای گوناگون برنامه‌ریزی منابع آب در محدوده مطالعاتی درگز مدل‌سازی کردند. بر اساس بررسی‌های انجام شده در پژوهش مذکور، افزایش راندمان آبیاری بهترین راهکار برای کاهش مصرف آب است، به گونه‌ای که با این راهکار عملی و اجرایی، حتی در خشک‌ترین دوره‌ها نیز بیلان سفره‌های آب زیرزمینی با کاهش رو به رو نخواهد شد.

آقایی و همکاران (۱۳۹۲) تأثیر سناریوهای مدیریتی بر منابع آب دشت مشهد- چناران را با استفاده از مدل WEAP ارزیابی کردند. در این پژوهش با بکارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP برای حوضه آبریز دشت مشهد، منابع و مصارف آن مورد ارزیابی قرارگرفت و سناریوهای گوناگون مدیریتی ازجمله تامین آب شرب مشهد با استفاده از سناریوهای قطعی توسعه، افزایش راندمان کشاورزی، سطح زیرکشت ثابت و سناریوی ترکیبی جهت کاهش تقاضای آب مطرح شده و اثرهای آن بر روی منابع آب حوضه مورد بررسی قرار گرفت. با اجرای همزمان سه سناریو مقدار کسری سالانه مخزن به مقدار ۲۱۹۵ میلیون متر مکعب کاهش می‌یابد. نتایج این سناریوها نشان‌دهنده این موضوع هستند که بکارگیری همزمان راهبردهای گوناگون مدیریت مصرف آب، بهتر از حالت استفاده منفرد از هر کدام از آن‌ها می‌تواند برداشت آب از منابع گوناگون را کاهش دهد. جهان‌گرد و همکاران (۱۳۹۳) مدیریت یکپارچه منابع آب دشت همدان بهار را با استفاده از مدل WEAP بررسی کردند. بمنظور جلوگیری از کاهش بیش‌تر سطح آب زیرزمینی، شبیه‌سازی و تعریف سناریوهای گوناگون با استفاده ازمدل WEAP انجام شد. نتایج برای سناریوی تغییر سیستم‌های آبیاری نشان داد که در صورت استفاده از روش‌های نوین آبیاری مقدار راندمان تاحدود ۲۰ درصد افزایش یافته و وضعیت آبخوان منطقه به گونه قابل توجهی بهبود می‌یابد. سناریوی افزایش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی نشان داد که ادامه روند برداشت ازچاه‌ها منجر به کاهش بیش از ۴۰ درصدی سطح آب‌های زیرزمینی و تبدیل وضعیت دشت به حالت بحرانی خواهد شد. ولی‌زاده کاخکی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تاثیرات افزایش راندمان آبیاری بر تامین آب مورد

نیاز کشاورزی در حوضه‌ی نیشابور با استفاده از مدلWEAP پرداختند. هدف این پژوهش بررسی تأثیر اعمال افزایش راندمان کشاورزی و تاثیر آن برای وضعیت تقاضاهای آب کشاورزی است. برای ارزیابی تاثیرات افزایش راندمان آبیاری، سناریوی افزایش راندمان آبیاری تدوین شد و در این سناریو با فرض عدم توسعه در سطح زیرکشت به بررسی تغییرات در تقاضای بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین متقاضی آب در منطقه پرداخته شد که نشان‌دهنده کاهش چشمگیر آب کشاورزی است، در نتیجه کسری مخزن نیز به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. راسکین و همکاران[۱] (۱۹۹۲)، در پژوهشی، با استفاده از نرم افزار WEAP مطالعه‌ای بر روی دریاچه آرال انجام دادند که هدف آن ارزیابی وضعیت موجود بیلان آب و استراتژی‌های مدیریتی بود. از سوی دیگر، اهداف گوناگون احداث سدها چون کنترل سیلاب، تأمین آب بخش‌های گوناگون (اقتصادی، کشاورزی، شرب، صنعت و غیره)، ارتقاء اثر بخشی جریان‌کم، تولید انرژی برق آبی و تفریحات آبی در کنار چالش‌های زیست‌محیطی و ناهماهنگی تصمیم‌گیران، مدیران و ذینفعان نیازمند بکارگیری مدل‌های پیچیده ریاضی می‌باشد. حوضه رودخانه دریاچه نیواشا[۲] واقع در کشور کنیا به دلیل افزایش تقاضای بخش‌های گوناگون این منطقه در سال‌های آتی با مشکلاتی رو به رو خواهد بود، آلفرا[۳] (۲۰۰۴) برای بررسی سیستم این حوضه رودخانه در یک چارچوب جامع‌نگر از نرم افزار WEAP با هدف یافتن علل و نوع مشکلات آتی استفاده کرد. نتایج حاکی از آن است که اصلی‌ترین مشکل موجود مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد، به گونه‌ای‌که در برخی از این بخش‌ها بیش از نیاز آبیاری تخصیص آب انجام می‌شود، این در حالی است که در مناطق دیگر کل نیاز تأمین نمی‌شود. بنابراین، مشکل اصلی در حقیقت مدیریت ناصحیح است نه کمبود منابع آب. رینگلر[۴] (۲۰۰۴)، بمنظور بهبود بخشیدن به تخصیص آب درون حوضه آبریز دانگ در ویتنام، روند تخصیص آب را از نقطه نظر بازدهی اقتصادی و با دیدگاه جامع به وسیله مدل WEAP مورد بررسی قرار داد. چارچوب این مدل بر پایه نوع کاربری آب (کشاورزی، صنعت، برق آبی، مصارف خانگی و زیست‌محیطی)، موقعیت مناطقی که در آن آب قابل استفاده وجود دارد و قوانین اولویت بندی آب در حوضه می‌باشد. براساس این چارچوب سیاست‌هایی که می‌توانند روی اولویت‌بندی و استفاده از آب تأثیر گذار باشند شامل حوضه مورد نظر و سیاست‌های کلان اقتصادی هستند که مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

یاتس و همکاران[۵] (۲۰۰۵)، مطالعه‌ای را با استفاده از مدل WEAP، بمنظور بررسی و اثرهای

۱- Raskin et al
۲- Naivasha
۳- Alfarra
۴- Ringler
۵- Yates et al

افزودن اهداف زیست‌محیطی انجام دادند، سناریوهای اصلی این مطالعه شامل ترتیب اولویت های تخصیص آب در گذشته به شکل‌های گوناگون بود. جنیفر و همکاران[۱] (۲۰۱۰)، در پژوهشی، با استفاده از نرم افزار WEAP به تخصیص آب به عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی برای به کمینه رساندن درگیری‌های استفاده از آب در کنیا پرداختند. در این پژوهش WEAP روی داده‌های موجود برای سه زیر حوضه روی یک گام ماهانه پی‌ریزی شد. آن‌ها نشان دادند که اصلاح بهره‌وری آبیاری به مقدار قابل توجهی تأمین آب مورد نیاز پایین دست را بهبود بخشیده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مدل‌سازی با مدل WEAP مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است که نشان نیرومند بودن این ابزار در فرآیند شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز و اثرهای سناریوهای مدیریتی منابع آب است. از این رو، در این پژوهش ابتدا حوضه آبریز پیشین با استفاده از مدل WEAP بر اساس سناریوهای گوناگون شبیه‌سازی شد و در ادامه منافع سناریوهای گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است.

روش پژوهش

مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق منابع آب، نیازمند مدل‌های پیچیده سیستم مهندسی آب می‌باشد (کوچیوکمتگلو[۲]، ۲۰۱۲). این پروسه یک روند خطی است که در شکل ۱ نشان داده شده است.
WEAP به وسیله موسسه SEI[۳] طراحی و توسعه داده شده است. WEAP ابزاری رایانه‌ای برای برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب است. این ابزار چهارچوبی جامع، انعطاف‌پذیر و کاربردوست را برای تحلیل سیاست‌ها فراهم می‌کند. تعداد کارشناسانی که WEAP را به جمع مدل‌ها، پایگاههای داده، صفحات گسترده و سایر نرم‌افزارهای خود اضافه می‌کنند، رو به افزایش است. نرم‌افزار WEAP با هدف دخیل کردن یکپارچه نگری در یک ابزار کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب توسعه داده شده است (سایبر[۴]، ۲۰۰۸). کار با WEAP معمولاً شامل چندین گام است. در تعریف مطالعه مورد نظر، چارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و تنظیم‌های مسئله انجام می‌شود. وضع موجود یک تصویر کلی از نیازهای آبی واقعی، بارهای آلودگی، منابع و تأمین سیستم نشان می‌دهد. فرضیه‌های کلیدی در شرایط موجود و برای بیان سیاست‌ها، هزینه‌ها و عواملی که بر نیاز، آلودگی، تأمین و هیدرولوژی مؤثرند، تعریف می‌شود. سناریوها در شرایط موجود ساخته می‌شوند و با استفاده از آن‌ها می‌توان اثر فرضیه‌ها یا سیاست‌های گوناگون را بر مقدار دسترسی و مصرف آب در

۱- Jeniffer et al
۲- Kucukmehmetoglu
۳- Stockholm Environment Institute‘s Boston
۴- Sieber

آینده بررسی کرد. در نهایت، سناریوها با توجه به مقدار آب، هزینه‌ها و سودها، سازگاری با اهداف زیست‌محیطی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی ارزیابی می‌شوند (سایبر، ۲۰۰۸).
WEAP از یک مدل برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسایل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن بیشینه کردن درصد تأمین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت در عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر قیود می‌باشند. تمامی قیود به طور متناوب برای هر گام زمانی و با توجه به اولویت در عرضه و تقاضا تعریف می‌شود. WEAP در هر گام زمانی معادله تعادل جرمی آب را برای هر گره و شاخه محاسبه می‌کند. با این فرض که عملکرد اجزاء سیستم به جزء در مخازن و رطوبت خاک در هر گام زمانی مستقل از گام‌های دیگر می‌باشد. گام‌های زمانی با توجه به بزرگی حوضه می‌تواند کوچک (روزانه، ۱۰ روزه) یا بزرگ (ماهانه و یا بیش‌تر) در نظر گرفته شود (یاتس[۱] و همکاران، ۲۰۰۵). به سایت‌های گوناگون تقاضا اولویت‌هایی متفاوت داده می‌شود که در حل مسئله تخصیص آب به آن توجه می‌شود. تقاضاهایی که اولویت‌های یکسانی دارند در چارچوب گروه‌های معادل دسته‌بندی می‌گردند. اولویت‌ها می‌توانند مقادیری از ۱ تا ۹۹ داشته باشند. مسئله برنامه‌ریزی خطی به گونه‌ای تنظیم شده است که در شرایط محدودیت منابع آب، درصد یکسانی از کل تقاضای سایت‌های موجود درون یک گروه معادل، تأمین شود. فرمول‌بندی مدل تخصیص (تابع هدف و قیود) در مدل WEAP به شرح رابطه (۱) می‌باشد:

۱- Yates

$$For\ each\ p = 1 to\ P$$
$$For\ each\ f\ = 1 to\ F \in (D_k^{P,t-n})$$

$$Max\ \ Z = C_P$$

$$Subject\ to$$
$$\sum_{j=1}^{n} x_{j,i}^{p} - \sum_{r=1}^{m} x_{i,r}^{p} + S_i^{t-1} = S_i^t$$
$$\sum_{j=1}^{F} x_{j,i}^{p} = D_k^{p,t-n}$$
$$\sum_{j=1}^{F} x_{j,i}^{p} = D_k^{p,t-n} \times c_k^p$$
$$\sum_{j=1}^{F} x_{j,i}^{p} \geq D_k^{p,t-n} \times c_k^p$$
$$c_k^p = C$$
$$c_k^p \geq C$$
$$0 \leq c_k^p \leq 1$$
$$\begin{cases} x_{i,1}^{\succ p} = 0 & For\ Demand\ Site\ \ I\ with\ priority \succ P \\ x_{i,1}^{p} \geq 0 & For\ Demand\ Site\ \ k\ with\ priority = P \end{cases}$$
$$\begin{cases} x_{i,k}^{\succ f} = 0 & For\ Demand\ Site\ \ k\ with\ priority \succ f \\ x_{i,k}^{f} \geq 0 & For\ Demand\ Site\ \ k\ with\ priority = f \end{cases}$$
$$next\ f$$
$$next\ p$$

(۱)

در روابط بالا P بیانگر اولویت تقاضا[۱]، f اولویت در عرضه[۲] برای مرکز تقاضای K، N گام زمانی، $x_{j,i}^{p}$ مقدار جریان از گره عرضه j به گروه تقاضای i با اولویت P، S_i^t ذخیره مخزن در نقطه i در

۱- Priority
۲- Preference

زمان T، C_p درصد پوشش نیاز[۱] کلی برای اولویت P، c_k^p درصد شاخص پوشش نیاز مرکز تقاضای K و $D_k^{p,t}$ مقدار آب مورد نیاز برای مرکز تقاضای K با اولویت P در گام زمانی T می‌باشند. مدل WEAP اولین Lp (برنامه ریزی خطی) را با $P=1$ و $f=1$ شروع می‌کند. در حل اولین مدل Lp، منابع آبی موجود را طوری بین گره‌های نیاز با اولویت P تقسیم می‌کند که درصد پوشش نیاز این گره‌ها با هم یکسان بوده و هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار ممکن را داشته باشد. در ادامه اگر گره نیازی با همان اولویت P موجود باشد که به منابع آبی بیش‌تری دسترسی داشته و می‌تواند درصد پوشش نیاز بیش‌تری را اختیار کند، مدل Lp فوق با حذف قیود برابری مربوط به گره‌هایی که نمی‌توانند بیش‌تر از درصد پوشش اولیه تأمین نیاز شوند و ثابت قرار دادن پارامترهای مربوط به آن گره‌ها دوباره حل می‌شود. حال مقدار بدست آمده برای $x_{j,k}^f$ که همان مقدار بهینه می‌باشد، در معادله جایگزین می‌شود و مدل برای f بعدی و سپس P حل می شود (یاتس و همکاران، ۲۰۰۵). در مرحله برآورد اقتصادی منافع حاصل از اعمال هر یک از سناریوهای گوناگون مدیریتی و ارزیابی منافع و هزینه‌های آن‌ها در حوضه مورد مطالعه از روابط بهینه‌سازی استفاده می شود. بر اساس رابطه (۲) مدل بهینه‌سازی برای هر یک از سناریوهای عرضه و تقاضای آب تخمین زده خواهد شد:

$$Max \quad \tilde{\beta}_j = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Pcp_{ij}.Ya_{ij}.AF_{ij} - \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{q} Pco_{ijk}.X_{ijk}.AF_{ij}$$

$$S.to: \qquad (۲)$$

$$P_{CP}, Ya, AF, P_{CO}, X \in F \qquad \forall i = 1,2,...,n$$
$$P_{CP}, Ya, AF \geq 0 \qquad \forall j = 1,2,...,m$$
$$P_{CO}, X \geq 0 \qquad \forall k = 1,2,...,q$$

Pcp_{ij}: قیمت محصول iام در منطقه jام؛

Ya_{ij}: عملکرد محصول iام در منطقه jام؛

AF_{ij}: سطح زیر کشت محصول iام در منطقه jام،

Pco_{ijk}: قیمت نهاده kام مربوطه به محصول iام در منطقه jام؛

X_{ijk}: مقدار نهاده kام مربوطه به محصول iام در منطقه jام؛

F: مجموعه امکان پذیر می‌باشد.

[۱]- Coverage

در شکل ۲ ساختار پژوهش نشان داده شده است.

در این پژوهش ۶ سناریو بر اساس سیاست‌های پیش‌بینی شده وزارت نیرو تدوین و شبیه‌سازی شده است:

سناریوی ۱: (سناریوی مرجع) این سناریو به صورت پیش فرض وجود دارد که داده‌های شرایط موجود را تا انتهای دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۶ منظور کرده و به عنوان مبنای مقایسه با سایر سناریوهای که در آن‌ها تغییراتی در داده‌های سیستم داده شده، به کار می‌رود.

سناریوی ۲: سناریوی افزایش راندمان کشاورزی.

سناریوی ۳: کاهش تلفات تبخیر.

سناریوی ۴: سناریوی حذف زمین‌های کشاورزی غیرمجاز.

سناریوی ۵: سناریوی تامین آب شرب چابهار با دستگاه آب شیرین کن.

سناریوی ۶: بهره‌برداری از سد کهیر جهت استفاده زمین‌های پایاب سد پیشین.

نتایج و بحث

در جدول ۳ تقاضای آبی بخش‌های گوناگون در سناریوی مرجع بر حسب میلیون متر مکعب نشان داده شده است. سناریوی مرجع یک سناریو پایه است که بر اساس آن سناریوهایی ارزیابی می‌شوند. سناریوی مرجع بیانگر وضع موجود است و چگونگی الگوی مصرف آب را در غیاب هرگونه سیاست توسعه‌ای و یا طرح‌های توسعه منابع آب برای آینده آزمایش خواهد نمود. در این جدول AGR_{BHO}: کشاورزی باهوکلات، AGR_{GH}: کشاورزی غیر مجاز، DOM_{CH}: بخش شرب منطقه و ENV بخش محیط‌زیست می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که بخش کشاورزی باهوکلات با ۶۸/۳۶ میلیون مترمکعب در سال بیش‌ترین تقاضای آبی را به خود اختصاص داده است.

در جدول ۴ مقدار نیاز تأمین نشده (مقدار تقاضایی که به آن‌ها آب تخصیص داده نشده است) بر اساس محاسبات مدل WEAP ارایه شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، مشاهده می شود که در سناریوی مرجع (SC_1) برای بخش AGR_{BHO} سالانه حدود ۴۰ میلیون متر مکعب تخصیص داده نمی‌شود و با توجه به مقدار تقاضای کل آب این بخش تنها حدود ۲۶ میلیون متر مکعب به این بخش آب اختصاص می یابد. نتایج مشابه برای بخش AGR_{GH} حدود ۷ میلیون متر مکعب است که سالانه حدود ۸ میلیون آب به این بخش اختصاص می‌یابد.

در سناریو راندمان بخش کشاورزی باهوکلات (SC_2) سیستم‌های مکانیزه آبیاری، ارتقاء یافته تا

اثرهای آن بر منابع و مصارف آب مورد بررسی قرار گیرد. مطابق نتایج بدست آمده، مقدار تخصیص در بخش کشاورزی باهوکلات افزایش یافته و مقدار نیاز تأمین نشده به طور میانگین در هر سال حدود ۱۱ میلیون متر مکعب کاهش می‌یابد. این افزایش راندمان سبب افزایش مقدار تخصیص به بخش‌های شرب و محیط‌زیست نیز می شود. در سناریو SC_3 کاهش تلفات تبخیر از سطح آزاد سطح مخزن مد نظر بوده است. بر اساس مطالعات تجربی این مقدار بر اساس پوشش فیزیکی تا ۳۰ درصد قابلیت کاهش را دارد. بر اساس نتایج بدست آمده در سناریوی کاهش تلفات تبخیر، مقدار تخصیص آب به همه‌ی بخش‌های ذینفع افزایش چشم‌گیری می‌نماید. به گونه‌ای که در بخش کشاورزی باهوکلات مقدار نیاز تامین نشده از ۴۰ در حالت پایه به ۲۵ میلیون متر مکعب حدوداً در هر سال کاهش خواهد یافت و یا مقدار پوشش برآورده نشده در بخش محیط‌زیست از ۱۶ در سناریوی مرجع به ۱۱ میلیون متر مکعب کاهش یافته است. در سناریوی حذف زمین‌های کشاورزی غیرمجاز فرض گردیده است که ۱۲۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی غیر مجاز در حاشیه رودخانه که از آبریز سد پیشین استفاده می‌کنند، حذف شود، تا اثر آن بر بخش دیگر مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که با حذف بخش کشاورزی غیر مجاز در حاشیه رودخانه مقدار تخصیص به تمامی بخش‌ها افزایشی قابل توجه یافته است. بخشی از آب شرب چابهار از مخزن سد پیشین تامین می‌شود. در سناریو SC_5 از دستگاههای آب شیرین کن برای تامین نیاز کامل آب شرب چابهار استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل از مدل WEAP در این سناریو، مشاهده می‌شود که مقدار تخصیص به بخش‌های گوناگون افزایش قابل توجهی نسبت به حالت پایه یافته است. در سناریو (SC_6) از سد کهیر برای تأمین آب شرب و کشاورزی مورد نیاز اراضی دشت چابهار (کهیر و پیشین) مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که مقدار تخصیص در بخش کشاورزی باهوکلات به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که نسبت به حالت پایه افزایش ۲۵ میلیون متر مکعبی داشته است. در این سناریو نیاز بخش شرب به گونه کامل تأمین شده است. هم چنین نیاز بخش محیط‌زیست نیز افزایش محسوسی داشته است.

با هدف ملموس‌تر شدن نتایج اعمال سناریوهای مدیریت عرضه و تقاضای آب، منافع حاصل از این سناریوها به منافع ناشی از حفظ آب و با معادل‌سازی در بخش کشاورزی، مورد ارزیابی قرار گرفت. این منافع، معادل مقدار افزایش یا کاهش سطح زیر کشت و سود ناشی از تولید محصول با حجم آب صرفه‌جویی شده یا هدر رفته، فرض شده است. نتایج بدست آمده در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

بر اساس نتایج بدست آمده، در سناریوی پایه (حالت فعلی) حدود ۲۴۰۰ هکتار از زمین‌های

منطقه به زیر کشت خواهند رفت و سود حاصل از آن با توجه به الگوی کشت منطقه حدود ۴/۶ میلیارد تومان می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بیش‌ترین سطح زیر کشت در سناریوی ۶ حاصل می‌شود. سود حاصل از این سناریو (بهره‌برداری از سد کهیر برای استفاده زمین-های پایاب سد پیشین) حدود ۸ میلیارد تومان است که نسبت به حالت پایه حدود ۴ میلیارد افزایش داشته است. در سناریو ۲ (سناریوی افزایش راندمان کشاورزی) سطح زیر کشت حدود ۱۰۰۰ هکتار نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد و سود ناشی از این سناریو به ۶/۱۹ میلیون متر مکعب افزایش خواهد یافت. در سناریوی ۳ سطح زیر کشت افزایش حدود ۱۲۰۰ هکتاری نسبت به حالت پایه خواهد داشت که در نتیجه افزایش سودی معادل ۲/۲ میلیارد نسبت به حالت پایه در سناریوی کاهش تلفات تبخیر نصیب منطقه خواهد شد. این سناریو اهمیت طرح کاهش تلفات آب از سد مورد مطالعه را نشان می‌دهد، در فاز اجرایی کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر) به وسیله گوی‌های شیمیایی و فیزیکی قابل اجرا می‌باشد. در سناریوی ۴ مقدار سطح زیر کشت به ۳۷۰۰ هکتار افزایش یافته که حدود ۱۳۰۰ هکتار نسبت به سناریوی پایه (حالت فعلی) افزایش یافته است. بر اساس این سناریو (سناریوی حذف زمین‌های کشاورزی غیرمجاز) سودی معادل ۶/۶۷ میلیارد تومان عاید منطقه خواهد شد که نسبت به حالت فعلی ۲ میلیارد افزایش داشته است. در سناریوی ۵ (سناریوی تامین آب شرب چابهار با دستگاه آب شیرین کن) مقدار افزایش سطح زیر کشت نسبت به حالت پایه ۲۳۰۰ هکتار و افزایش سود نسبت حالت پایه حدود ۳/۸ میلیارد تومان خواهد بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه ارزیابی اقتصادی سناریوهای مدیریتی پیش بینی شده در حوضه آبریز پیشین برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۳۶-۲۰۱۵) مدنظر بوده است. برای تحقق اهداف مطالعه، ابتدا حوضه آبریز ذکر شده با استفاده از مدل WEAP شبیه سازی شد و در ادامه اثرهای اقتصادی حاصل از اجرای این طرح‌ها ارزیابی گردید. بر اساس نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود که در سناریوی مرجع (SC_1) برای بخش AGR_{BHO} از مقدار تقاضای کل سالانه حدود ۴۰ میلیون متر مکعب تخصیص داده نمی‌شود و با توجه به مقدار تقاضای کل آب این بخش تنها حدود ۲۶ میلیون متر مکعب به این بخش آب اختصاص می‌یابد. در این سناریوی حدود ۲۴۰۰ هکتار از زمین‌های منطقه به زیر کشت خواهند رفت و سود حاصل از آن با توجه به الگوی کشت منطقه حدود ۴/۶ میلیارد تومان بدست آمد. در سناریو راندمان بخش کشاورزی باهوکلات (SC_2) سیستم‌های مکانیزه آبیاری، ارتقاء یافته تا اثرهای آن بر منابع و مصارف آب مورد بررسی قرار گیرد. مطابق نتایج بدست آمده،

مقدار تخصیص در بخش کشاورزی باهوکلات افـزایش یافتـه و مقـدار نیـاز تـأمین نشـده بـه طـور میانگین در هر سال حدود ۱۱ میلیون متر مکعب کاهش می‌یابد. در این سناریو سـطح زیـر کشـت حدود ۱۰۰۰ هکتار نسبت به حالت پایه افزایش یافته و سود ناشی از این سناریو بـه ۶/۱۹ میلیـون متر مکعب افزایش خواهد یافت. در سناریو SC_3 کاهش تلفات تبخیر از سطح آزاد سطح مخزن مـد نظر بوده است، بر اساس مطالعات تجربی این مقدار بر اساس پوشش فیزیکی تا ۳۰ درصـد قابلیـت کاهش را دارد. بر اساس نتایج بدست آمده در سناریوی کاهش تلفات تبخیر، مقدار تخصیص آب به همه بخش‌های ذینفع افزایش چشم‌گیری می‌کند. در این سناریو سطح زیر کشـت افـزایش حـدود ۱۲۰۰ هکتاری نسبت به حالت پایه خواهد داشت که در نتیجه افزایش سودی معادل ۲/۲ میلیـارد نسبت به حالت پایه در این سناریو نصیب منطقه خواهد شـد. ایـن سـناریو اهمیـت طـرح کـاهش تلفات آب از سد مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در سناریوی حذف زمین‌هـای کشـاورزی غیرمجـاز فرض شده است که ۱۲۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی غیر مجاز در حاشیه رودخانه که از آبریز سـد پیشین استفاده می‌کنند، حذف شود، تا اثر آن بر بخش دیگر مورد بررسـی قـرار گیـرد. بـر اسـاس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که با حذف بخش کشاورزی غیر مجاز در حاشیه رودخانه مقدار تخصیص به تمامی بخش‌ها افزایش قابل توجهی یافته است. بخشی از آب شـرب چابهـار از مخـزن سد پیشین تامین می‌شود. هم‌چنین، در این سناریو مقدار سطح زیر کشت به ۳۷۰۰ هکتار افزایش یافته که حدود ۱۳۰۰ هکتار نسبت به سناریوی پایه (حالت فعلی) افزایش داشته اسـت. بـر اسـاس این سناریو (سناریوی حذف زمین‌های کشاورزی غیرمجاز) سودی معادل ۶/۶۷ میلیارد تومان عایـد منطقه خواهد شد که نسبت به حالـت فعلـی ۲ میلیـارد افـزایش داشـته اسـت. در سـناریو SC_5 از دستگاههای آب شیرین کن برای تامین نیاز کامل آب شرب چابهار استفاده شده اسـت. بـر اسـاس نتایج حاصل از مدل WEAP در این سناریو، مشاهده می‌شود که مقـدار تخصـیص بـه بخـش‌هـای گوناگون افزایش قابل توجهی نسبت به حالت پایه یافته است. در این سناریو مقدار افـزایش سـطح زیر کشت نسبت به حالت پایه ۲۳۰۰ هکتار و افزایش سود نسبت حالت پایـه حـدود ۳/۸ میلیـارد تومان خواهد بود. در سناریو SC_6 از سد کهیر برای تأمین آب شرب و کشاورزی مـورد نیـاز اراضـی دشت چابهار (کهیر و پیشین) مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اسـاس نتـایج بدسـت آمـده مشـاهده می‌شود که مقدار تخصیص در بخش کشاورزی باهوکلات به مقداری قابل توجه افزایش می‌یابد، بـه گونه‌ای که نسبت به حالت پایه افزایش ۲۵ میلیون متر مکعبی داشته اسـت. در ایـن سـناریو نیـاز بخش شرب به گونه کامل تأمین شده است. هم‌چنـین، نیـاز بخـش محـیط زیسـت نیـز افزایشـی محسوس داشته است. هم‌چنین، نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بیش‌ترین سطح زیر کشت در این سناریوی حاصل می‌شود. سود ناشی از این سناریو حدود ۸ میلیارد تومان است کـه نسـبت بـه

حالت پایه حدود ۴ میلیارد افزایش داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهادهای زیر ارایه می‌شود:

- بیش‌ترین مقدار تقاضا در منطقه مورد مطالعه مربوط به بخش کشاورزی است. لذا تغییرات مصرف در این بخش اثرهای زیادی بر منابع آب و توسعه منطقه خواهد گذاشت. لذا عزم جدی و توجه ویژه مسئولان و مدیران مربوطه جهت رونق این بخش، بیش از پیش مورد نیاز است. بر اساس نتایج بدست آمده و شواهد موجود، مقدار تبخیر در منطقه یکی از معضلات اصلی است. نتایج حاصل از سناریوهای فنی کاهش تلفات آب نشان می‌دهد که شناورها و پوشش‌های فیزیکی و شیمیایی از مقدار هدر رفت آب تا حد بسیار زیادی جلوگیری می‌کند که نیاز است این مسئله در منطقه مورد مطالعه مورد توجه و دستور کار جدی قرار گیرد. از آنجا که محیط زیست بکر منطقه پیشین و بستر این رودخانه، محل زندگی تمساح‌های پوزه کوتاه می باشد، بایستی سرمایه‌گذاری لازم در این زمینه برای حفظ شرایط محیطی انجام گیرد. با مصاحبه با کارشناسان مربوطه مشخص گردید که برنامه مدونی برای بهره‌برداری، با توجه به شرایط بحرانی آب در منطقه وجود ندارد، لذا پیشنهاد می‌شود سیاستگذاری‌ها، راهبردهای بلندمدت و برنامه‌های آتی در مورد تخصیص و بهره‌برداری آب، با توجه به شرایط کنونی منطقه تدوین شود. با توجه به جامع و یکپارچه بودن پژوهش حاضر و در نظر گرفتن سناریوهای گوناگون مدیریتی عرضه و تقاضای آب در یک دوره بلند مدت ۱۰ ساله در آینده، پیشنهاد می‌شود مدیران مربوطه نتایج این پژوهش را مورد توجه ویژه قرار دهند.

منابع

- احمدی ک. (۱۳۹۳). مدیریت بهره برداری از منابع آب حوضه آبریز با در نظر گرفتن نیازهای زیست محیطی و ارزیابی سناریوهای گوناگون، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران (سازه های هیدرولیکی)، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- آقایی، س. فریدحسینی، ع. علیزاده، ا. گازرانی، ح. (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر سناریوهای مدیریتی بر منابع آب دشت مشهد چناران با استفاده از مدل WEAP، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران.
- جهان‌گرد، ص. معروفی، ص. نوذری، ح. (۱۳۹۳). مدیریت یکپارچه منابع آب دشت همدان بهاربا استفاده از مدل WEAP، دومین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران.
- حافظ پرست مودت، م. خلقی. م. (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی منابع آب با استفاده از مدل WEAP در

بخشی از حوضه آبریز رودخانه حبله‌رود، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.
- سردارشهرکی، ع. شهرکی، ج. هاشمی‌منفرد، س.آ، (۱۳۹۵). بررسی رویکردهای مدیریتی منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، پژوهش‌های مدیریت عمومی،سال ۹، شماره ۳۱، ۹۸-۷۳.
- سلطانی، س. مدرس، ر. (۱۳۸۵). مدیریت منابع آب در استان اصفهان بر اساس تحلیل و پایش خشکسالی، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.
- شهرکی، ج، (۱۳۸۸). تخصیص اقتصادی منابع آب حوضه ی آبریز هیرمند استان سیستان و بلوچستان، پایان نامه دکتری، دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان.
- علیزاده، ح. (۱۳۸۵). ارزیابی تاثیر هیدرولوژیکی سناریوهای تخصیص آب در سطح حوضه با استفاده از نرم افزار WEAP، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- لاکس، د.پ.، ون بیک ا. (۱۳۹۲)، برنامه ریزی و مدیریت سامانه های منابع آب، ترجمه امید بزرگ حداد، پریسا سادات آشفته، سمانه سیف اللهی آغمینونی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- نظام نامه تخصیص منابع آب، برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، (۱۳۸۹).
- وزارت نیرو، گزارشات دفتر مطالعات پایه منابع آب (۱۳۹۳).
- وزارت نیرو، گزارشات دفتر مطالعات پایه منابع آب، (۱۳۹۳).
- وطن‌دوست، م. اژدری‌مقدم، م. علی‌پرست، م. (۱۳۸۸). مدل‌سازی سناریوهای گوناگون برنامه-ریزی منابع آب در محدوده مطالعاتی درگز، همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب.
- ولی‌زاده کاخکی، م. غضنفری، م. عباس بارانی، غ. (۱۳۹۴). بررسی تاثیرات افزایش راندمان آبیاری بر تامین آب مورد نیاز کشاورزی حوضه ی نیشابور با استفاده از مدل WEAP، دومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران.

Refrences

- Alfarra, A., (2004). Modelling Water resource management in Lake Naivasha, MSC Thesis, International institute for Geo-information science and earth observation of Enscheda, The Netherlands.
- Evers, A.J.M., Elliott, R.L., & Stevens, E.W., (1998). Integrated decision making for reservoir, irrigation, and crop management, Agricultural Systems, Vol. 58, No. 4, pp.529-554.
- Herrero, M., Fawcett, R.H., & Dent, J.B., (1999). Bio-economic evaluation of

dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models, Agricultural Systems, Vol. 62, No. 3, pp. 169–188.
- Jeniffer, K.M., Shadrack, T., Mavengano, S.Z., Tsehaie, W., & Robert, B., (2010). Water allocation as a planning tool to minimise water use conflicts in the upper EwasoNgiro North basin, Kenya, Water Resource Management, Vol. 24, pp. 3939 – 3959.
- Kersten, G.E., (1998). A procedure for negotiating efficient and non-efficient compromises, Decision Support Systems, Vol. 4, pp. 167–77.
- Lewis, K.A. & Tzilivakis, J., (2000). The role of the EMA software in integrated crop management and its commercial uptake, Pest Management Science, Vol. 56. No. 11. Pp. 969–973.
- Loucks, D.P., Stakhiv, E., & Martin, L.R., (2000). Sustainable water resources management, Journal of water resources planning and management, Vol. 126, No. 2, pp. 43-47.
- Madani, K,. Zarezadeh, M., & Morid., S., (2014). A new framework for resolving conflicts over transboundary rivers using bankruptcy methods, Hydrol. Earth Syst. Sci., Vol. 18, pp. 3055–3068.
- Madani, K., & Lund, J.R., (2010). The Sacramento-san Joaquin delta conflict: chicken or prisoner's dilemma?, Proceeding of the 2010 world environmental and water resources congress, pp. 2513-2521.
- Pande, S, & Ertsen, M., (2014). End ogenous change: on cooperation and water availability in two ancient societies, Hydrol Earth Syst Sci, Vol. 18, pp. 1745–1760.
- Power, D.J., (2002). Decision Support Systems: Concepts and resources for managers, Quorum.
- Raskin, P., Hasen, E., & Zhu, Z., (1992). Simulation of Water Supply and Demand in The Aral Sea Region, Water International, Vol. 17, pp. 55-67.
- Ringler, C., (2004). Water allocation policies for the DONG NAI basin in Vietnam: An integrated perspective, consultative group on international agricultural research (CGIAR), International Food Policy Research Institute, Vol. 127, 46-52.
- Sardar Shahraki A., Shahraki, J., & Hashemi Monfared, S.A., (2016). An Application of WEAP Model in Water Resources Management Considering the Environmental Scenarios and Economic Assessment Case Study: Hirmand Catchment, Modern Applied Science; Vol. 10, No. 5; Pp: 49-56.
- Sieber, J., (2008). WEAP Tutorial, Stockholm Environment Institute.
- Sprague, R.H., & Carlson, E.D., (1982). Building Effective Decision Support Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Status Report on Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans, UN-Water, 2008.
- Turban, E., (1995). Decision Support and Expert Systems: Management

Support Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Wolf, A., (1999). Criteria for equitable allocation, Natural Resources forum, Vol. 230, No. 1, 3-30.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber Lee, A., (2005). WEAP21 A Demand, Priority, and Preference- Driven Water Planning Model (Part 1), International Water Resources Association, Water International, Vol. 30, No. 4, pp. 487-500.
- Zarezadeh, M., Madani, K., & Morid, S., (2012). Resolving transboundary water conflicts: lessons learned from the Qezelozan-Sefidrood river bankruptcy problem, World Environ. Water Resour. Congr, American Society of Civil Engineers, Reston.

پیوست‌ها

جدول ۱- گزاره های مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM).

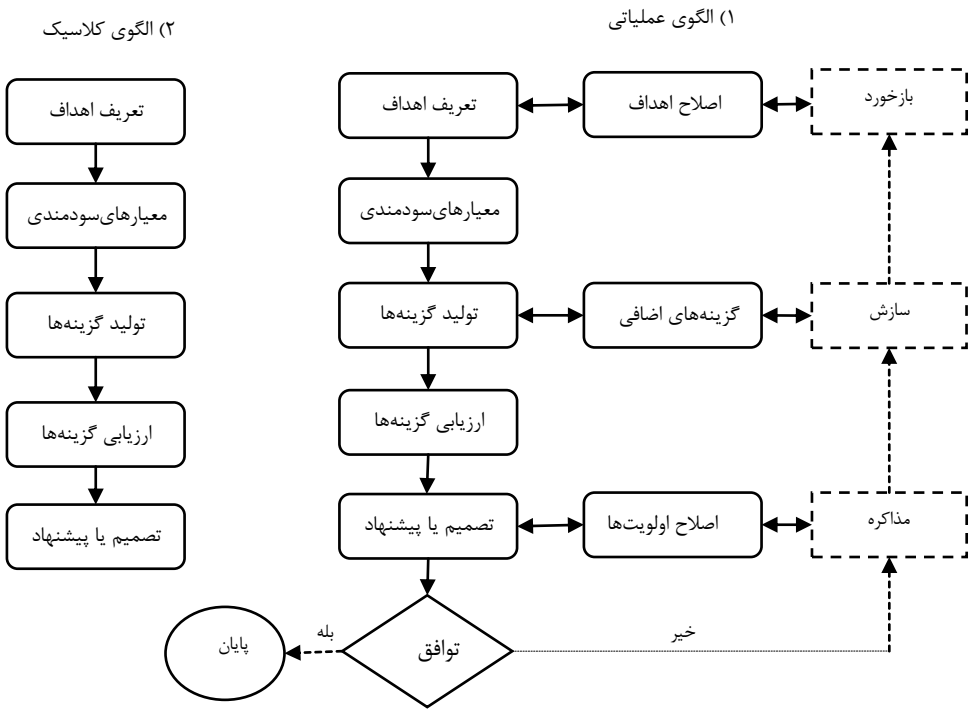
گزاره‌ها	توضیحات
هدف IWRM	برقراری تعادل و توازن میان عرضه و تقاضای، برقراری تعادل نیازهای اجتماعی و اقتصادی، محافظت زیست بوم.
معیار های اصلی IWRM	بازدهی اقتصادی در استفاده، پایداری اکولوژیکی و زیست محیطی، مساوات.
رهیافت ها و خطی مشی IWRM	مدیریت مبتنی بر عرضه آب: تأکید بر برداشت از منابع جهت تأمین نیازهای آبی با محوریت پاسخ به تقاضای در حال رشد؛ مدیریت جامع منابع آب: با هدف حفظ پایداری آب و اکوسیستم با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیطی؛ رهیافت راهبردی (استراتژیک): سه هدف حفظ کارایی اکوسیستم منابع آب شیرین، مدیریت مبتنی بر اکوسیستم و نحوه تخصیص آب.
محدودیت های IWRM	محدودیت طبیعی آب: توجه به منابع آب تجدید شونده با تأکید بر رشد جمعیت و سهم سرانه آب؛ محدودیت اجتماعی و فرهنگی: تأکید بر ویژگی‌های اجتماعی و فرهنگی بهره‌برداران مثل سن و تحصیلات آن‌ها؛ محدودیت اقتصادی: توجه به قیمت‌گذاری منطقی آب بر اساس ارزش کمیابی آب؛ محدودیت‌های طرف تقاضا: تأکید بر مالکیت، اصلاح و یکپارچه‌سازی اراضی و نظام بهره‌برداری کشاورزی؛ محدودیت آلودگی منابع آب: بررسی حجم پساب‌های کشور در بخش‌های گوناگون بهره‌برداری آب.
چالش های عمده IWRM	عدم اولویت‌بندی و اجرای طرح‌های توسعه آبی، تهدید فزاینده در تخریب کیفیت منابع سطحی و زیرزمینی، محدودیت‌های داده‌های پایه، گزینه‌های جدید توسعه با تأکید بر فن آوری نوین، بومی کردن فن آوری‌ها، تحلیل اثرهای، ترویج تفکر راهبردی (استراتژیک)، محیط‌زیست در حال تغییر، محدودیت منابع آب، محدودیت‌های عمومی و ویژه اجتماعی- فرهنگی، ساختار بخش کشاورزی، زیر ساخت‌های ضعیف مدیریت منابع آب.
اصول و قوانین حاکم بر IWRM	تخصیص متعادل، لزوم حل مسایل به گونه صلح آمیز، لزوم آسیب نرساندن به مناطق ساحلی دیگر، مبادله اطلاعات و داده‌ها و آگاهی از تغییرات هیدرولوژیکی سایر حوضه‌ها.
ضرورت بهینه‌سازی IWRM	تدوین سیاست‌های مدیریت منابع آب، اقدامات مدیریتی برای دست‌یابی به این سیاست‌ها، ارزیابی اثرهای آن‌ها.

منبـع: (Status Report on Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans. UN-Water, 2008).

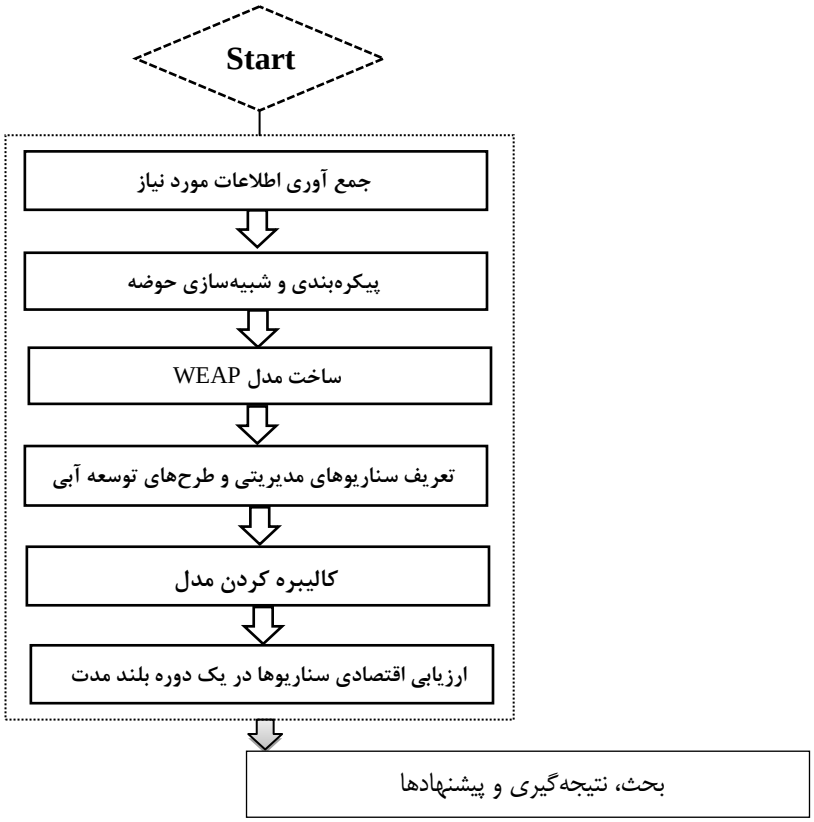
جدول ۲- مقایسه خصوصیات مدل‌های شبیه‌سازی تخصیص آب در حوضه های آبریز.

سطح۱	سطح۲	سطح۳	مدل‌های شبیه سازی				
			RIBASIM	WEAP	MIKEBASIN	MODSIM	WBalMo
مدل‌سازی سیستم‌های منابع‌طبیعی و سازه‌های مرتبط	مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه	فرآیندهای سطحی	✓	✓	✓	✗	✗
		فرآیندهای زیرسطحی	✗	✗	✗	✗	✗
		اندرکنش سفره و رودخانه	✓	✓	✓	✓	✗
		روندیابی جریان	✓	✗	✓	✓	✗
	نوع مدل هیدرولوژیکی حوضه	معین/ احتمالاتی	معین و احتمالی	معین	معین	معین	معین و احتمالی
		پیشامد/پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی
		توده ایی/ توزیعی	نیمه توزیعی	نیمه توزیعی	نیمه توزیعی	نیمه توزیعی	نیمه توزیعی
		تئوری/ تجربی	نیمه تئوری	نیمه تئوری	نیمه تئوری	نیمه تئوری	نیمه تئوری
مدل‌سازی توابع اقتصادی		مخازن سطحی	✓	✓	✓	✓	✓
		کیفیت آب	✓	✓	✓	✗	✗
		تخمین تقاضای صنعتی	✓	✓	✗	✗	✗
		تخمین تقاضای کشاورزی	✓	✓	✗	✗	✗
		تخیمن تقاضای شرب	✓	✓	✗	✗	✗
		تخمین تولید برق آبی	✓	✓	✓	✓	✗
روش تخصیص منابع به مصارف			بهینه‌سازی- اولویت‌دهی	بهینه‌سازی- اولویت‌دهی	بهینه‌سازی- اولویت‌دهی	بهینه سازی- شبکه جریان	بهینه‌سازی- اولویت‌دهی
امکانات جانبی		تحلیل GIS	✓	✗	✓	✗	✓
		ابزار واسنجی	✗	✗	✗	✓	✗
		ابزار تحلیل حساسیت	✗	✗	✗	✗	✗
		ابزار تحلیل عدم قطعیت	✗	✗	✗	✗	✗
		تحلیل مالی	✗	✓	✗	✗	✗

مأخذ: علیزاده، ۱۳۸۵



شکل ۱- ساختار عملیاتی و کلاسیک شبیه‌سازی مربوط به تحلیل سیستم‌های منابع آب (لاکس و ون بیک، ۱۳۹۲).



شکل ۲- ساختار پژوهش.

جدول ۳- تقاضای آبی بخش‌های گوناگون در سناریوی مرجع (واحد: میلیون متر مکعب).

سال	AGR_{BHO}	DOM_{CH}	AGR_{GH}	ENV
۲۰۱۶	۶۸/۳۶	۱۳/۲۱	۱۵/۲۳	۴۶
۲۰۱۷	۶۸/۳۶	۱۳/۵۶	۱۵/۲۳	۴۷
۲۰۱۸	۶۸/۳۶	۱۴/۲۳	۱۵/۲۳	۴۸
۲۰۱۹	۶۸/۳۶	۱۴/۸۹	۱۵/۲۳	۴۵
۲۰۲۰	۶۸/۳۶	۱۴/۲۵	۱۵/۲۳	۴۹
۲۰۲۱	۶۸/۳۶	۱۴/۵۸	۱۵/۲۳	۴۸
۲۰۲۲	۶۸/۳۶	۱۴/۶۹	۱۵/۲۳	۴۵
۲۰۲۳	۶۸/۳۶	۱۴/۶۹	۱۵/۲۳	۴۴
۲۰۲۴	۶۸/۳۶	۱۵/۵۷	۱۵/۲۳	۵۰
۲۰۲۵	۶۸/۳۶	۱۵/۷۷	۱۵/۲۳	۴۸
۲۰۲۶	۶۸/۳۶	۱۵/۶۹	۱۵/۲۳	۴۷
۲۰۲۷	۶۸/۳۶	۱۵/۲۲	۱۵/۲۳	۴۵
۲۰۲۸	۶۸/۳۶	۱۶/۴۴	۱۵/۲۳	۴۶
۲۰۲۹	۶۸/۳۶	۱۵/۳۶	۱۵/۲۳	۴۵
۲۰۳۰	۶۸/۳۶	۱۶/۱۱	۱۵/۲۳	۴۴
۲۰۳۱	۶۸/۳۶	۱۶/۴۴	۱۵/۲۳	۴۴
۲۰۳۲	۶۸/۳۶	۱۶/۲۸	۱۵/۲۳	۴۷
۲۰۳۳	۶۸/۳۶	۱۶/۷۵	۱۵/۲۳	۴۴
۲۰۳۴	۶۸/۳۶	۱۶/۳۴	۱۵/۲۳	۴۹
۲۰۳۵	۶۸/۳۶	۱۷/۰۱	۱۵/۲۳	۴۵
۲۰۳۶	۶۸/۳۶	۱۷/۲۲	۱۵/۲۳	۴۶

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۴- میانگین نیاز تأمین نشده در بخش‌های گوناگون مورد سناریوی مدیریتی (۲۰۳۶-۲۰۱۶) (واحد: میلیون متر مکعب).

	AGR_{BHO}	DOM_{CH}	AGR_{GH}	ENV
SC_1	۴۰/۴۳	۷/۶۰	۷/۳۰	۱۶/۷۲
SC_2	۲۹/۱۰	۵/۲۷	۷/۳۰	۱۲/۷۵
SC_3	۲۴/۷۵	۳/۹۱	۴/۶۵	۱۱/۰۷
SC_4	۲۱/۷۳	۴/۳۷	-	۹/۶۸
SC_5	۳۵/۶۶	-	۶/۰۲	۱۴/۶۸
SC_6	۱۵/۶۵	۰	۴/۰۵	۱۴/۴۳

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۵- سطح زیر کشت کل و سود بدست آمده از سناریوی های مدیریتی.

	سطح زیر کشت (هکتار)	سود (میلیارد تومان)
SC_1	۲۴۵۰	۴/۶۰
SC_2	۳۴۴۱	۶/۱۹
SC_3	۳۷۹۴	۶/۸۲
SC_4	۳۷۰۰	۶/۶۷
SC_5	۲۷۳۵	۴/۹۲
SC_6	۴۶۷۶	۸/۴۱

منبع: یافته‌های پژوهش