محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره۷۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
صفحه ۵۳۷ تا ۵۵۳

ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بر منابع و مصارف حوضهٔ آبریز قره‌چای با استفاده از مدل WEAP

فاطمه فتحی آشتیانی*[۱]؛ جمال احمدآلی[۲]؛ خالد احمدآلی[۳]؛ شهرام خلیقی‌سیگارودی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۳- استادیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴- دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت ۰۰/۰۵/۱۶-تاریخ پذیرش ۰۰/۱۱/۱۴)

چکیده:

طرح‌های توسعهٔ منابع آب اثرهای محیط زیستی زیادی بر جای می‌گذارند که تغییر رژیم طبیعی رودخانه و کاهش جریان سطحی پایین‌دست از مهم‌ترین آنهاست. به‌کارگیری مدل‌های هیدرولوژیک، امکان برنامه‌ریزی پایدار را در مدیریت منابع آب فراهم می‌کند. حوضهٔ آبریز رودخانهٔ قره‌چای واقع در حوضهٔ دریاچه نمک در سال‌های اخیر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، مدل‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز قره‌چای با استفاده از نرم‌افزار WEAP۲۱ انجام گرفت. مدل برای دورهٔ آماری بیست‌وپنج‌ساله از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ توسعه، واسنجی و اعتبارسنجی شد. برای واسنجی مدل، مقادیر مشاهداتی دبی رودخانهٔ قره‌چای واقع در ایستگاه عسگرآباد در خروجی حوضهٔ آبریز با مقادیر محاسباتی با استفاده از شاخص ضریب نش- ساتکلیف ارزیابی شد. برای واسنجی مدل یک دورهٔ آماری سیزده‌ساله از ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۵ در نظر گرفته شد. مقدار ضریب نش- ساتکلیف برای دورهٔ واسنجی ۰/۸۶ به‌دست آمد. برای اعتبارسنجی، دورهٔ آماری یازده‌سالهٔ ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ در نظر گرفته شد. مقدار ضریب نش- ساتکلیف برای دورهٔ اعتبارسنجی ۰/۷۴ به‌دست آمد. این نتایج نشان‌دهندهٔ کارایی خوب مدل WEAP در شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز قره‌چای است. پس از تجزیه‌وتحلیل پنج سناریوی مدیریتی، در نهایت سناریوی ترکیبی با شاخص اعتمادپذیری بیش از ۹۵ درصد برای هر بخش مصرف و همچنین تأمین نیاز محیط زیستی به‌عنوان سناریوی برتر شناخته شد. نتایج تحقیق بیانگر آن است که با اجرایی شدن این سناریو، روند نزول حجم آبخوان نسبت به شرایط فعلی تا حد بسیاری تعدیل خواهد شد و خروج از حالت بحرانی با اعمال اقدامات مدیریتی مناسب امکان‌پذیر خواهد بود.

کلید واژگان: حوضهٔ آبریز، سناریو، ضریب نش- ساتکلیف، مدل شیءگرا، مدیریت یکپارچه، منابع آب

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۸۶۳۷۲۲۴۸۱۱ ایمیل: fateme.fathi1994@gmail.com

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی برای دستیابی به توسعهٔ پایدار منابع آب که به‌معنای تأمین احتیاجات نسل حاضر بدون از بین بردن توانایی آیندگان برای تأمین نیازهایشان است، به مدیریت سامانه‌های منابع آب نیاز دارد (Oryan *et al.*, 2013). تخصیص منابع محدود به نیازهای نامحدود و فزاینده، حفاظت از محیط زیست و استفاده پایدار از منابع آب از مهم‌ترین مسائل پیش روی تصمیم‌گیران و مدیران بخش آب است (Esmaili *et al.*, 2018). رودخانه‌ها از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های آبی هر کشورند و باید در برنامه‌های توسعه و بهره‌برداری از منابع آبی، سیاست‌ها و خط‌مشی‌ها از مصرف‌کنندگان قانونی آب شناخته شوند و برایشان جایگاه و برنامه‌ای خاص در نظر گرفته شود (Ahmadaali *et al.*, 2018). از مهم‌ترین اصول در یکپارچه‌سازی موضوعات مربوط به مدیریت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و رژیم جریان آب، برقراری تعادل پایدار در شرایط کنونی رودخانه‌ها و به حداقل رساندن آسیب‌های وارد به بخش‌های محیط زیست آبی است (Naderi *et al.*, 2020). بنابراین محاسبهٔ دقیق جریان محیط زیستی رودخانه‌ها و ضمانت اجرایی برای رهاسازی آن در ایران توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. پس از الزامی شدن ارزیابی آثار محیط زیستی سدهای بزرگ در سال ۱۳۷۶، تعیین حداقل جریان آب محیط زیستی در پایین‌دست طرح‌های توسعهٔ منابع آب، از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی برای کاهش آثار این طرح‌ها شناخته شد (Oryan *et al.*, 2013). با توجه به انجام نگرفتن تحقیقات مدون در زمینهٔ تخمین جریان‌های محیط زیستی در رودخانه‌ها، ورود به این عرصه نیازمند داشتن اطلاعات وسیعی در زمینهٔ این موضوع است. در این خصوص رهاسازی آب از سد به‌منظور پایداری، احیا، بهبود اکوسیستم‌های آبی پایین‌دست، حفظ کیفیت و خودپالایی رودخانه ضروری است. به‌طور کلی برای تعیین میزان رهاسازی آب از سدها روش‌های مختلفی وجود دارد که از بین روش‌های موجود روش مونتانا از قابلیت انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است (Tennant, 1976). در این تحقیق از طبقه‌بندی قابل قبول روش موتنا استفاده شده است. بدین ترتیب که در شش ماه نخست سال ۳۰ درصد و در شش ماه دوم سال ۱۰ درصد آبدهی رودخانه به نیاز زیست‌محیطی تعلق دارد تا کیفیت حیات آبزیان در رودخانه در وضعیت قابل قبولی قرار گیرد.

جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها حدود سال ۱۹۴۰ میلادی تعریف شد که عبارت است از میزان جریانی که شرایط و سلامت محیط زیستی اکوسیستم پهنهٔ آبی را در سطح قابل قبولی حفظ کند (Shafaeianfard *et al.*, 2014) برای مدیریت صحیح رویدادهای هیدرولوژیک هر حوضه، ابتدا باید درک درستی از رفتار طبیعی سیستم‌های هیدرولوژیکی وجود داشته باشد. در دهه‌های اخیر مدل‌های ریاضی، به‌طور فزاینده‌ای برای طراحی، برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی عملکرد سیستم‌های منابع آب استفاده شده است. مدیران و تصمیم‌گیران به کمک این مدل‌ها از عواقب اجرای سیاست‌های مدیریتی مختلف مطلع خواهند شد (Mohamadpoor *et al.*, 2016). از میان مدل‌های مختلف، مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) با توجه به قابلیت‌های بسیار زیاد و همچنین رویکرد یکپارچه‌نگر در مدیریت منابع آب، در شبیه‌سازی فرایندهای طبیعی تبخیر و تعرق،

رواناب، جریان پایه و ... و شاخصه‌های مهندسی (مانند مخازن و پمپاژ از آب‌های زیرزمینی) کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. این قابلیت‌ها به کاربر امکان اعمال دیدگاهی جامع‌تر از عوامل مؤثر در مدیریت منابع آب برای استفادهٔ حال و آینده را می‌دهد (Movahed Atar and Samadi, 2013). یکی از دلایل اصلی اقبال روزافزون به مدل WEAP در میان کاربران این است که این مدل، مسائل مربوط به الگوهای مصرف، استفادهٔ مجدد از آب، بازده تجهیزات، هزینه‌ها و تخصیص را توأم با مسائل مربوط به منابع (جریان سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن انتقال آب، تصفیهٔ فاضلاب و ...) لحاظ کرده است (Amini *et al*., 2017).

با توجه به اهمیت زیاد آب به‌منزلهٔ یکی از عناصر اساسی در ادامهٔ حیات و توسعهٔ جوامع بشری و تحولات اخیر در چرخهٔ آب در طبیعت ناشی از تغییر اقلیم جهانی و نیز به‌دلیل عواملی چون افزایش جمعیت و کاهش شاخص‌های زیست‌محیطی، مدیریت منابع آب جهان با چالش‌های جدی روبه‌رو شده است. بدین ترتیب امروزه مسئلهٔ آب در بسیاری از مناطق جهان به بحرانی جدی تبدیل شده که بازنگری در وضعیت و تعیین منابع بالقوهٔ آب و برنامه‌ریزی در منابع آب ضرورت می‌بخشد (Ahmadi, 2014). به همین دلیل تحقیقات زیادی در سرتاسر جهان در این زمینه انجام گرفته است؛ اهمیت موضوع با استفاده از منابع و مراجع داخلی و خارجی بررسی شده است که در ادامه به نتایج برخی پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

Yin و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقاتی در مخازن بزرگ چین بیان کردند که گرچه احداث سدها و مخازن بزرگ برای تولید نیروی برق‌آبی مفید است، اثرهای منفی توسعهٔ این طرح‌های صنعتی روی رودخانه و اکوسیستم آن بیشتر است. آنها همچنین بیان کردند که برای محاسبهٔ ظرفیت حجم ذخیرهٔ مخزن باید به مسئلهٔ حفاظت رودخانه و نیز اکوسیستم آن توجه شود. Li و همکاران (۲۰۱۵) با هدف بررسی وضعیت تخصیص منابع آب منطقهٔ شنژن چین و نیز تعیین حقابهٔ محیط زیستی مناطق ساحلی آن، با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی سه سناریوی متفاوت در برآورد پایداری منابع آبی پرداختند. نتایج نشان داد که فشار واردشده بر منابع آبی منطقه در آینده بسیار زیاد خواهد شد و برنامه‌ریزی فوری در این زمینه ضرورت دارد. Psoma و همکاران (۲۰۱۵) با هدف افزایش کارایی مدیریت منابع آبی حوضهٔ رودخانهٔ پینیوس یونان، از دو مدل WEAP و SWAT استفاده کردند. نتایج نشان داد که WEAP مدلی ساده‌تر و منعطف‌تر در برنامه‌ریزی جامع منابع آب است و SWAT پیچیدگی بیشتری دارد. براساس نتایج هر دو مدل و با اتخاذ رویکرد مناسب می‌توان در حدود ۷ تا ۲۳ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. Gao و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی استراتژیک محیط زیست چین پرداختند. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف نشان داد که مدل WEAP توانایی، انعطاف و کارایی لازم را برای بررسی گزینه‌های متنوع در مدیریت منابع آب دارد. Karmaoui و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سیستم تأمین آب درهٔ میدل‌درا در مراکش با استفاده از مدل WEAP بیان کردند که این مدل نوعی ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری قوی است که به‌راحتی قادر به بررسی و شبیه‌سازی پیچیدگی مسائل مربوط به منابع آب است. Momblanch و

همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل WEAP، آثار تغییرات جهانی اقلیم و سناریوهای توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی بر منابع آب هیمالایان در هند را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که تغییرات اقتصادی و اجتماعی در آینده نسبت به تغییرات آب‌وهوایی تأثیرات بسیار بیشتری بر منابع آب این منطقه خواهد داشت. Movahed Atar و Samadi (۲۰۱۳) برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های سد زاینده‌رود در مواجهه با خشکسالی با سناریوهای مختلف مدیریتی از مدل WEAP استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل WEAP به‌طور قابل قبولی سیستم‌های منابع آب را شبیه‌سازی می‌کند و سناریوی SC2 نسبت به بقیهٔ سناریوها شرایط بهتری را برای مخزن سد در دوران خشکسالی نشان می‌دهد. Amini و همکاران (۲۰۱۷) مدیریت منابع آب در حوضهٔ گاماسیاب و تأثیر سدهای بالادست بر عملکرد سد بیستون استان کرمانشاه را با استفاده از مدل WEAP ارزیابی کردند. نتایج بیانگر پوشش کامل نیازها در محدودهٔ سد بیستون در شرایط موجود و کمبود آب در صورت بهره‌برداری از سدهای پیش‌بینی‌شده در حوضه بود.

با توجه به مرور منابع ملاحظه می‌شود که مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز برای مدیریت هرچه بهتر و دقیق‌تر منابع آب ضرورت دارد. در سال‌های اخیر و با گسترش بهره‌برداری از منابع آب حوضهٔ آبریز قره‌چای در اثر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و دخالت‌های انسانی نظیر احداث سد الغدیر، حقابهٔ محیط زیستی رودخانه تأمین نشده است و تخصیص منابع آب منطقه وضعیت بحرانی دارد. مدیریت این شرایط با در نظر گرفتن مطلوبیت مصرف‌کنندگان و نیاز محیط زیستی رودخانه و اولویت‌بندی ذی‌نفعان مختلف نیازمند به‌کارگیری روشی یکپارچه و به‌هم‌پیوسته است. از این‌رو در پژوهش حاضر با هدف از بین بردن فاصلهٔ میان فرایندهای هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب حوضه، مدل WEAP توسعه، واسنجی و اعتبارسنجی شد و تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی در حوضه بررسی شد تا با در نظر گرفتن اصول مدیریت یکپارچهٔ منابع آب در طرح‌های آبی به‌منظور کاهش اثرهای تنظیم جریان آب رودخانه بر شرایط طبیعی آنها و دیگر اکوسیستم‌های وابسته به آن، سیاست‌ها، خط مشی‌ها و اصول مدیریتی، اجزای محیط زیست به‌عنوان مصرف‌کنندهٔ قانونی آب شناخته و در تصمیم‌های مدیریتی لحاظ شود ((Oryan *et al*., 2013).

در این پژوهش پنج سناریو با هدف کمّی‌سازی تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از تأثیر تغییر شرایط محیطی و اقلیمی و نیز عوامل انسانی بر منابع آب محدودهٔ پژوهش با استفاده از مدل WEAP ارائه شد. متأسفانه به‌دلیل دخالت‌های انسانی در برداشت از منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت ساوه با هدف تأمین آب شرب و آب مورد نیاز کشاورزی و صنایع مختلف، منابع آب زیرزمینی با تهدید جدی مواجه شده‌اند و ارزیابی و شبیه‌سازی تأثیرات روش‌های جایگزین بر رفتار هیدرولوژیک این حوضه در آینده از طریق ایجاد، تحلیل و بررسی سناریوهای مدیریتی کاربردی کاملاً ضروری است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. منطقهٔ پژوهش

محدودهٔ تحقیق در شهرستان ساوه، در شمال استان مرکزی در ۳۵ درجه و ۳ دقیقهٔ عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقهٔ طول شرقی در محدودهٔ ارتفاعی ۹۶۰ تا ۱۱۱۰ متر از سطح دریا واقع است

(شکل ۱). اقلیم دشت ساوه براساس دسته‌بندی آمبرژه خشک و معتدل، با حداکثر بارندگی سالانهٔ ۲۷۱/۱ میلی‌متر و حداقل بارندگی سالانهٔ ۷۶/۶ میلی‌متر و تبخیر متوسط سالانه در دشت، حداقل و حداکثر رقم منحنی هم‌دما در این محدوده بین ۱۵ تا ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. حداقل دمای مطلق ساوه ۱۵-، حداکثر دمای مطلق ۴۳/۸، میانگین دمای حداکثر ۲۴/۱، میانگین دمای حداقل ۱۲/۴، میانگین دمای سالانه ۱۸/۱، میانگین دمای گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۳۱/۵ و میانگین دمای سردترین ماه سال (دی) ۴/۹ درجهٔ سانتی‌گراد و ارتفاعات در محدودهٔ ساوه به‌ترتیب ۲۸۴۹ و ۲۷۱۹/۵ میلی‌متر است. این شهرستان شامل دو بخش مرکزی و نوبران است. دشت ساوه به وسعت ۱۴۰۰ کیلومتر مربع و دشت نوبران به وسعت ۱۵۵۰ کیلومتر مربع از جمله دشت‌های حاصلخیز این شهرستان هستند (Pak, 2015). منابع آب سطحی دشت ساوه رودخانه‌های قره‌چای، مزلقان‌چای و سد مخزنی الغدیر ساوه است. رودخانهٔ قره‌چای مهم‌ترین رودخانه این دشت است و رودخانهٔ مزلقان‌چای در قسمت خروجی حوضه در محدودهٔ دشت به آن می‌پیوندد. بررسی‌های آب زیرزمینی نشان داد که در این محدوده، آبخوان آبرفتی با وسعت ۱۶۳۲/۸ کیلومتر مربع که ۹۱ درصد از کل دشت (با مساحت ۱۷۹۳/۸ کیلومتر مربع) را شامل می‌شود تشکیل شده است. تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی در سطح آبخوان آبرفتی نیز در مجموع ۵۷۴/۹۹ میلیون متر مکعب در سال است. در این پژوهش داده‌های هواشناسی بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و کسر ابرناکی از ایستگاه‌های هواشناسی داخل و نزدیک حوضه، آمار دبی ماهانهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده از شرکت امور بهره‌برداری و نگهداری سد ساوه، آمار و اطلاعات چاه‌های پیزومتری، حجم آبخوان و سایر اطلاعات مورد نیاز آب زیرزمینی از طریق شرکت مادرتخصصی مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. مقادیر آب مصرفی در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت برای طول دورهٔ مطالعاتی از سازمان‌های مربوط تهیه شد. آمار سطح زیر کشت، الگوی کشت محصولات غالب زراعی و باغی و نوع سیستم‌های آبیاری از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه شد. الگوی کشت و نیاز خالص آبیاری ماهانهٔ محصولات در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۲. مدل WEAP

در این تحقیق از داده‌های دریافت‌شده از سازمان‌های مربوط شامل اطلاعات عمومی، هواشناسی، هیدرولوژیکی و اکولوژیکی منطقه استفاده شد. سپس اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژیکی و نیازهای آبی، مشتمل بر نیازهای صنعت، کشاورزی، شرب و نیاز زیست‌محیطی و پایداری جریان محیط زیستی محاسبه‌شده در شبیه‌سازی سیستم منابع آب حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ قره‌چای با استفاده از مدل WEAP محاسبه شد که براساس معادلات پایهٔ بیلان آب، قادر به ارزیابی یکپارچهٔ اقلیم، هیدرولوژی، کاربری اراضی، تأسیسات آبیاری و اولویت‌های مدیریت آب حوضهٔ آبریز است و می‌توان آن را در سیستم‌های شهری، کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای مرزی و پیچیده به‌کار برد (Amini *et al.*, 2017). مراحل مدل‌سازی با WEAP به این صورت بود که در مرحلهٔ نخست و در تعریف منطقهٔ پژوهش به مدل، چارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و تنظیمات مسئله مشخص شد (شکل ۲). در مرحلهٔ دوم، وضعیت فعلی حوضه به مدل

معرفی گردید که می‌توان آن را گام واسنجی مدل در شرایط توسعه در نظر گرفت. در مرحلهٔ بعد برای واسنجی مدل یا به‌عبارتی برای تعیین پارامترهای بهینه، از ابزار PEST استفاده شد که به مدل WEAP پیوست شده است. پس از واسنجی مدل، بدون تغییر پارامترهای ثابت و واسنجی‌شده، نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی ایستگاه منتخب در حوضه برای دورهٔ شبیه‌سازی مقایسه و اعتبارسنجی شد. در مرحلهٔ بعد سناریوهای مختلف با توجه به شرایط موجود ساخته شد و با استفاده از آنها اثر فرضیه‌ها یا سیاست‌های مختلف بر میزان دسترسی و مصرف آب در آینده بررسی شد. در نهایت سناریوهای ساخته‌شده با توجه به مقدار آب موجود در حوضه، سود و هزینه‌ها، سازگاری با اهداف محیط زیستی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای اساسی ارزیابی شد (Amini *et al.*, 2017).

۲-۳. ساختار مدل WEAP برای منطقهٔ پژوهش

در این تحقیق مدل WEAP۲۱ برای دشت ساوه توسعه داده شد که شماتیک آن در شکل ۲ نشان داده شده است. این مدل‌سازی شامل رودخانهٔ قره‌چای به‌عنوان واحد هیدرولوژیک اصلی دشت، دو ناحیهٔ کشاورزی (ساوه و نوبران)، دو نقطهٔ نیاز آب شهری ساوه و ناحیهٔ صنعتی، یک آبخوان دشت ساوه، شش خط انتقال آب به نقاط نیاز و سه ایستگاه هیدرومتری است. برای این پژوهش از یک دورهٔ آماری بیست‌وپنج‌ساله از سال آبی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. مدل‌سازی در گام‌های زمانی ماهانه برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک جریان انجام گرفت (شکل ۳).

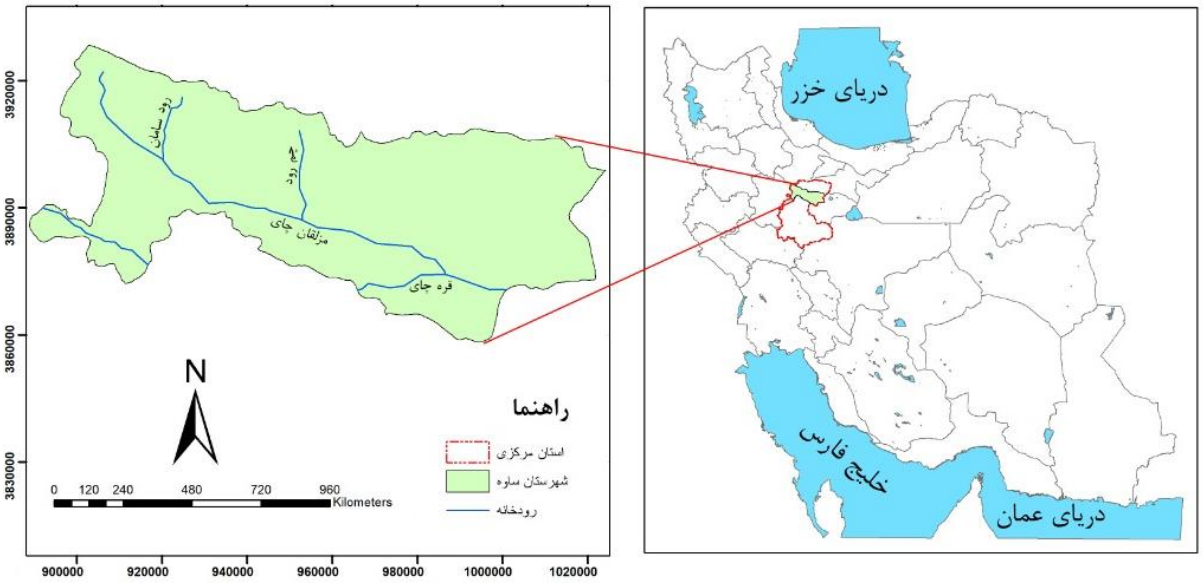
از هر بارش رخداده، مقداری به داخل زمین نفوذ می‌کند و مقداری به‌صورت رواناب درمی‌آید و بقیه نیز از سطوح مختلف تبخیر می‌شود. مدل WEAP براساس معادلهٔ بیلان آب عمل می‌کند و فرمول ریاضی محاسبهٔ تغییرات آب در لایهٔ اول خاک برحسب بیلان آب به‌صورت زیر است (Sieber and Purkey, 2007):

$$Rd_i \frac{dZ_{1,i}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,i}(t)\left(\frac{Z_{1,i} - 2Z_{1,i}^2}{3}\right) - P_e(t)Z_{1,i}^{\frac{1}{LAI_i}} - f_i k_{s,i} Z_{1,i}^2 - (1-f_i)k_{s,i}Z_{1,i}^2 \qquad (۱)$$

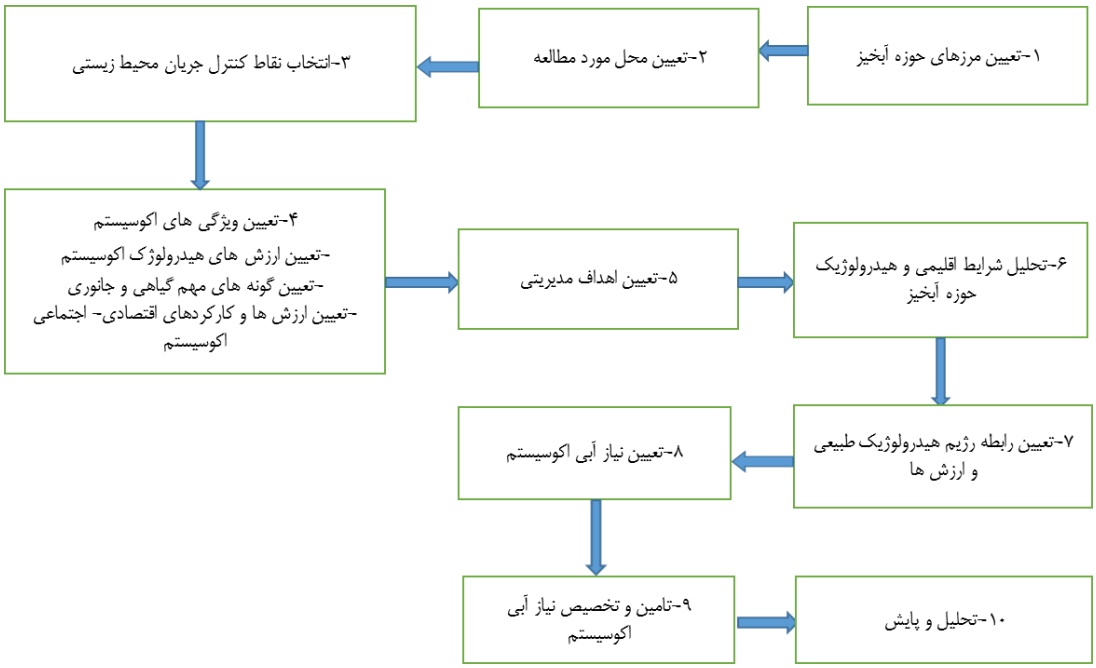
که در آن $Z_{1,i}$ ذخیرهٔ نسبی آب که مقداری بین ۰ تا ۱ دارد، Rd_i ظرفیت نگهداری آب در خاک (L)، P_e بارش مؤثر (mm)، $PET(t)$: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (L/T)، $k_{c,i}(t)$ ضریب گیاهی، LAI_i شاخص سطح برگ که مقدار حداقل آن ۰/۲۵ است، $P_e(t)Z_{1,i}^{\frac{1}{LAI_i}}$ رواناب سطحی، $f_i k_{s,i} Z_{1,i}^2$ جریان بین‌لایه‌ای از لایهٔ اول خاک، f_i فاکتور تقسیم که با توجه به نوع خاک، پوشش و توپوگرافی، مقدار آب باقی‌مانده را بین رواناب و نفوذ عمقی تقسیم می‌کند و $k_{s,i}$ هدایت هیدرولیکی اشباع منطقهٔ ریشه (L/T) است.

۲-۴. واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در این پژوهش داده‌های دبی مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری عسگرآباد، واقع در انتهای حوضه در دورهٔ زمانی (سال آبی) ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۵ برای واسنجی و دورهٔ زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. برای کاهش حداکثری خطاها و دستیابی به نتایج قابل اطمینان، پارامترهای ورودی به مدل با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان ساوه

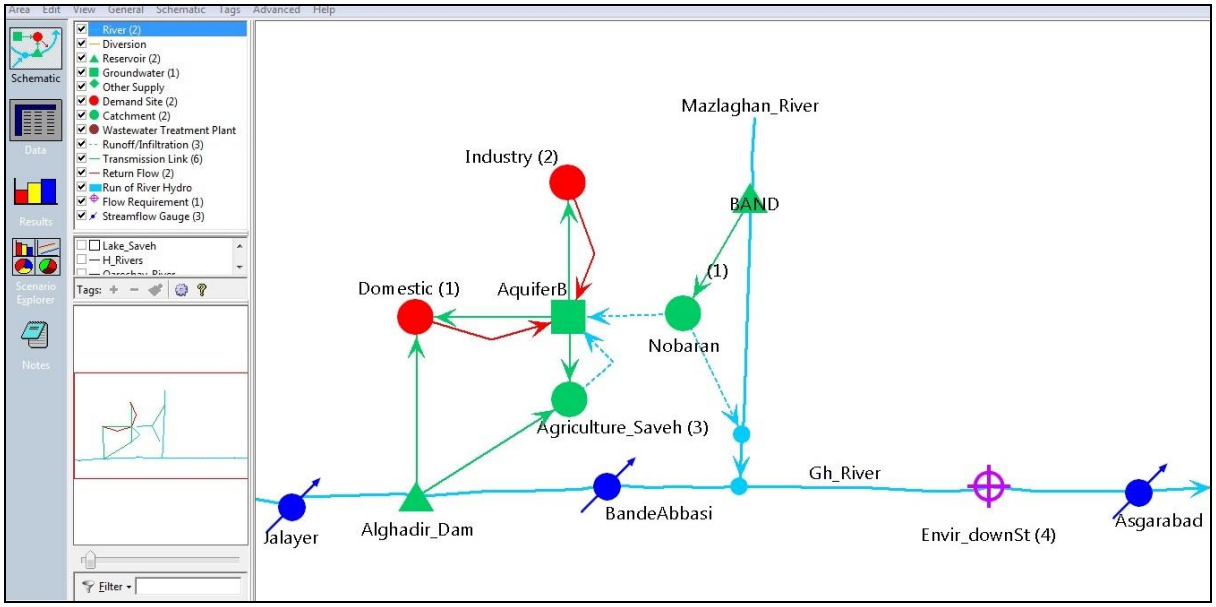


شکل ۲- فرایند برآورد نیاز آبی اکوسیستم

(الگوریتم گاوس- مارکوات- لونبرگ) در ابزار PEST واسنجی شد (ریچتر). پس از واسنجی متغیرهای مدل و رسیدن به بهترین کارایی، اعتبار مدل با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2) و ضریب نش- ساتکلیف (NSE)، ارزیابی شد Movahed (Atar and Samadi, 2013).

۲-۵. تدوین سناریوها

به همین دلیل پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در تولید دبی و تعیین شرایط فعلی حوضه، گام‌های مشابه برای تولید دبی جریان براساس راهکارهای مدیریتی نوشته شد. در این پژوهش پنج سناریو تدوین شد که عبارت‌اند از: ۱. سناریوی مرجع، بر اساس شرایط اقلیمی فعلی و وضع موجود منطقه (S0)؛ ۲. سناریوی افزایش غیرمحافظه‌کارانهٔ سطح زیر کشت کشاورزی (S1)؛ ۳. سناریوی بهبود بازده آبیاری (S2)؛ ۴. سناریوی بهبود الگوی کشت منطقه



شکل ۳- شکل کلی مدل توسعه‌یافتهٔ WEAP در حوضهٔ آبریز قره‌چای

(S3)؛ و ۵. ترکیب دو سناریوی ۳ و ۴ (S4). به‌منظور ارزیابی سناریوهای استفاده‌شده از معیار عملکرد اطمینان‌پذیری یا اعتمادپذیری زمانی که استفاده شد از قدیمی‌ترین و کاربردی‌ترین معیارهای ارزیابی برای تحلیل سیستم‌های منابع آب است.

$$Rel = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{M} d_j}{T} \qquad (۲)$$

که در آن Rel شاخص اطمینان‌پذیری، M تعداد کل وقایع شکست سیستم، d_j زامین واقعهٔ شکست سیستم و T تعداد کل وقایع سیستم است (Kjeldsen and Rosbjerg, 2004).

۳. نتایج و بحث

نتایج ارزیابی عملکرد مدل WEAP با استفاده از دو آمارهٔ ضریب تعیین و ضریب نش- ساتکلیف برای دبی ماهانهٔ ایستگاه هیدرومتری عسگرآباد در دو مرحلهٔ واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که مقدار ضریب نش-ساتکلیف برای جریان ماهانه در دورهٔ واسنجی برابر ۰/۸۶ و طی دورهٔ اعتبارسنجی برابر ۰/۷۴ است.

اعداد به‌دست‌آمده برای آماره‌های ارزیابی در هر دو مرحلهٔ واسنجی و صحت‌سنجی حاکی از عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی دبی ماهانه جریان است.

ارزیابی سناریوها

سناریوی (S0)

این سناریو نیاز کشاورزی ۲۳۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی دشت ساوه و ۶۰۰۰ هکتار در بخش نوبران با الگوی کشت رایج منطقه و بازده آبیاری ۵۰ درصد، نیاز شرب شهرستان ساوه با نرخ رشد جمعیت شرایط موجود، نیاز صنعت ۶/۳۷ میلیون متر مکعب در سال (محل تأمین از آبخوان زیرزمینی) و حداقل نیاز زیست‌محیطی (سطح قابل قبول) برای رودخانهٔ قره‌چای در نظر گرفته شد.

نتایج سناریوی (S0)

جدول ۳ نتایج مقادیر محاسبه‌شدهٔ نیاز ناخالص آبی بخش‌های مختلف شرب، صنعت، کشاورزی (دشت ساوه و بخش نوبران) و زیست‌محیطی تحت شرایط موجود در دورهٔ اعتبار سنجی (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در منطقهٔ پژوهش و در شرایط موجود، ۴۷۳۶/۷ میلیون متر مکعب آب

جدول ۱- نیاز خالص آبیاری محصولات کشاورزی ساوه (میلی‌متر در ماه)

محصول	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
جو	۹۴	۱۸	۰	۰	۰	۰	۷	۱۸	۰	۸	۲۱	۴۹
انار	۴۶	۱۵۱	۲۳۰	۲۴۷	۲۴۱	۱۷۹	۱۰۴	۴۸	۲	۰	۰	۰
گندم	۱۲۴	۱۰۸	۰	۰	۰	۰	۷	۱۸	۰	۷	۱۸	۴۹
ذرت علوفه‌ای	۰	۲۰	۸۸	۱۹۴	۲۷۵	۲۰۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
خربزه	۲۸	۹۵	۲۲۱		۲۵۸	۱۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
یونجه	۸۶	۱۳۲	۱۸۳	۱۹۷	۱۹۳	۱۴۸	۸۹	۴۶	۸	۸	۱۳	۳۱
پنبه	۱۷	۶۴	۱۸۹	۲۸۷	۲۸۱	۱۷۶	۳۳	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۲- معیارهای ارزیابی برای دبی ماهانهٔ رودخانه (CMS)

متغیر	مرحلهٔ واسنجی		مرحلهٔ اعتبارسنجی	
	R^2	NSE	R^2	NSE
دبی ماهیانهٔ ایستگاه هیدرومتری عسگرآباد	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۷۴

لازم است که این حجم از نیاز آبی از منابع آب سطحی (سد الغدیر) و آب زیرزمینی (آبخوان آبرفتی دشت ساوه) تأمین می‌شود.

بر اساس جدول ۳ مشاهده می‌شود که ۱۰۰ درصد نیاز شرب در طول دوره تأمین شده است. از نظر تأمین نشدن نیاز، نیاز زیست‌محیطی بیشترین کمبود را در بین نقاط تقاضای مختلف دارد و پس از آن نیاز کشاورزی با کمبود بیش از ۲۰ درصد مواجه است. طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی شهرستان ساوه، نظام آبیاری بیشتر اراضی دشت ساوه، آبیاری سطحی (غرقابی) با بازده کم (۵۰ درصد) است که برای تأمین نیاز این بخش، باید مقادیر بیشتری از منابع آب موجود به‌منظور تأمین نیاز ناخالص این محصولات تخصیص داده شود.

بررسی معیار عملکرد اعتمادپذیری نیازهای مختلف حوضه در کل دورهٔ تحت بررسی نشان داد که نیاز شرب و صنعت با ۱۰۰ درصد اعتمادپذیری بیشترین مقدار را دارد و اعتمادپذیری نیازهای کشاورزی دشت ساوه و بخش نوبران به‌ترتیب ۷۲/۵۶ و ۷۱/۸۷۵ درصد به‌دست آمد.

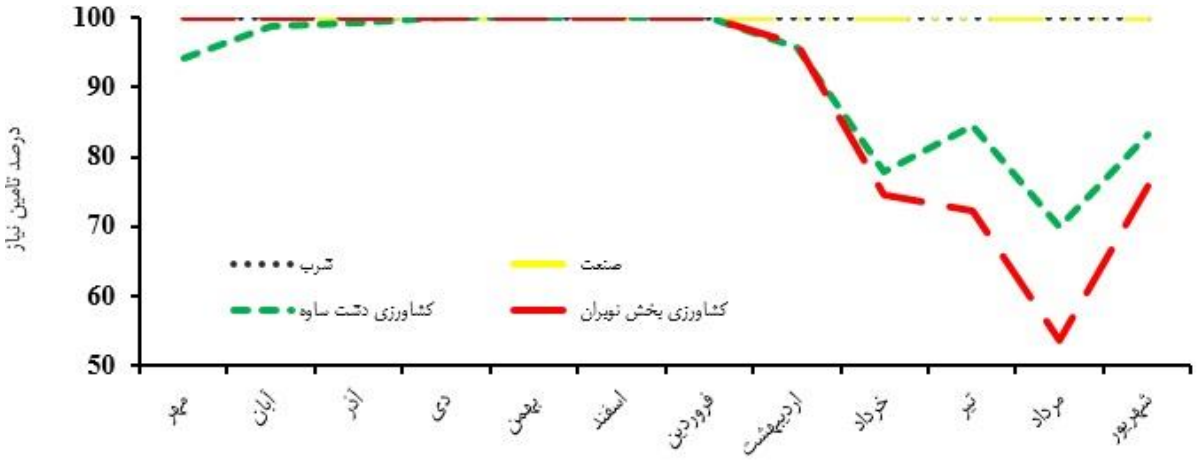
با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌شود که نیاز آبی بخش شرب و صنعت در همهٔ ماه‌های سال به‌طور کامل تأمین می‌شود، اما نیاز کشاورزی ساوه و نوبران با شروع ماه‌های گرم سال و کاهش بارش‌ها به‌ترتیب با کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی مواجه می‌شود. این کمبود در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) به اوج خود می‌رسد.

سناریوی (S1)

سناریوی افزایش غیرمحافظه‌کارانه (NCS)، اهمیت مدیریت منابع آب در این حوضه را بیش از پیش نمایان می‌کند و بیان می‌دارد که اگر بدون توجه به مقدار منابع آب موجود، سطح نیازها را افزایش دهیم، چقدر کسری آب خواهیم داشت. در این سناریو، مساحت اراضی کشاورزی در دشت ساوه از ۲۳ هزار

جدول ۳- وضعیت تأمین نیاز بخش‌های مختلف- سناریوی وضع موجود

نیاز	حجم کل نیاز (MCM)	حجم تأمین‌شده (MCM)	حجم تأمین‌نشده (MCM)	تأمین‌شده (٪)	تأمین‌نشده (٪)	اطمینان‌پذیری
شرب	۲۳۰	۲۳۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
صنعت	۸۸	۸۸	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
کشاورزی ساوه	۳۵۱۶/۹	۲۶۵۹/۷	۸۵۷/۲	۷۵/۶	۲۴/۴	۷۲/۵۶
کشاورزی نوبران	۹۰۱/۸	۶۶۹	۲۳۲/۸	۷۴/۲	۲۵/۸	۷۱/۸۷۵
زیست‌محیطی	۴۵۰/۴	۳۲۱/۲	۱۲۹/۲	۷۱/۳	۲۸/۷	۸۷/۵
مجموع	۴۷۳۶/۷	۳۶۴۶/۷	۱۰۸۹/۹	۷۷	۲۳	



شکل ۳- درصد آب تأمین‌شدهٔ نقاط مصرف به‌صورت متوسط ماهیانه در سناریوی (S0)

هکتار به ۵۵ هزار هکتار و در نوبران از ۶ هزار هکتار به ۱۲ هزار هکتار افزایش یافت.

نتایج سناریوی (S1)

نتایج حاصل از شبیه‌سازی این سناریو در دورهٔ اعتبارسنجی (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌شود که از نظر حجمی، بخش کشاورزی با بیشترین کمبود آب به میزان ۶۴ درصد مواجه است. در این سناریو نیاز شرب و صنعت کاملاً تأمین می‌شود. مقدار شاخص اعتمادپذیری برای نیاز کشاورزی بخش نوبران ۷۱/۸۷۵ درصد محاسبه شد که عدد کوچکی است. شایان ذکر است که سطح مقبول در تحقیقات دیگر محققان بیش از ۸۰ درصد برای بخش کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (Shafaeianfard *et al.*, 2014).

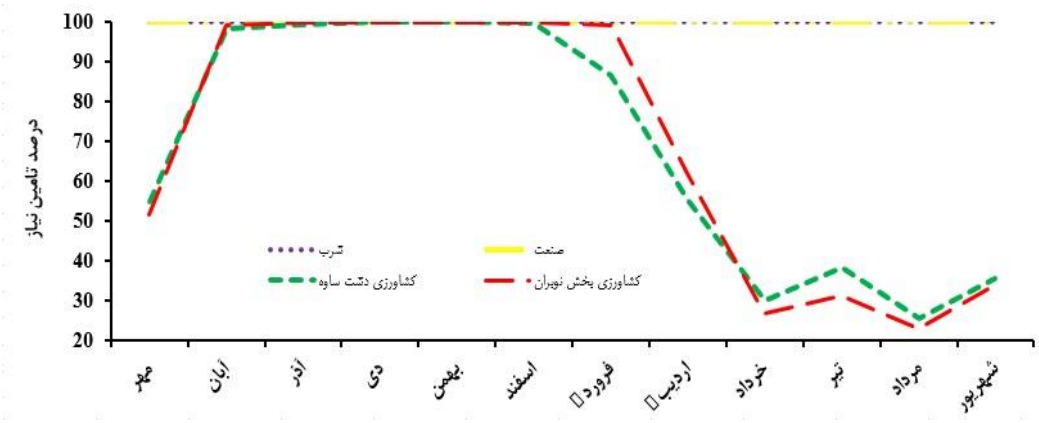
با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود که افزایش نیاز کشاورزی بدون توجه به ظرفیت منابع آب منطقه، سبب کمبود ۷۰ درصدی نیاز بخش کشاورزی نوبران و ساوه در ماه‌های کم‌آب خواهد شد.

سناریوی (S2)

تمامی پارامترهای این سناریو همانند سناریوی مرجع است و تنها تفاوت آن با سناریوی مرجع ترکیب کشت محصولات منطقه است. در این سناریو فرض بر

جدول ۴- وضعیت تأمین نیاز بخش‌های مختلف در سناریوی غیرمحافظه‌کارانه

نیاز	حجم کل نیاز (MCM)	حجم تأمین‌شده (MCM)	حجم تأمین‌نشده (MCM)	تأمین‌شده (٪)	تأمین‌نشده (٪)	اطمینان‌پذیری
شرب	۲۳۰	۲۳۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
صنعت	۸۸	۸۸	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
کشاورزی ساوه	۸۲۶۶/۲	۲۹۷۴/۷	۵۲۹۱/۴	۳۶	۶۴	۷۲/۵۶۹
کشاورزی نوبران	۱۸۰۳/۵	۶۹۶	۱۱۰۷/۶	۳۸/۶	۶۱/۴	۷۱/۸۷۵
زیست‌محیطی	۴۵۰/۴	۳۲۱/۲	۱۲۹/۲	۷۱/۳	۲۸/۷	۸۷/۵
مجموع	۱۰۳۸۷/۷	۳۹۸۸/۷	۶۳۹۹	۳۸/۴	۶۱/۶	



شکل ۴- درصد آب تأمین‌شدهٔ نقاط مصرف به‌صورت متوسط ماهیانه در سناریوی (S1)

این است که در سال‌های آینده بدون افزایش یا کاهش سطح زیر کشت، الگوی کشت به‌سمت محصولات کم‌مصرف تغییر خواهد کرد.

نتایج سناریوی (S2)

در این سناریو برای بهبود الگوی کشت، نیاز ناخالص بخش کشاورزی، با کاهش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر (پنبه، انار و ذرت) مدل‌سازی شد. نتایج این سناریو در جدول ۵ آمده است. با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که بهبود الگوی کشت منطقه سبب تأمین ۹۰ درصدی نیاز کشاورزی دشت ساوه و بخش نوبران می‌شود که در همهٔ سناریوهای پیشین با بیشترین کمبود و عدم تأمین نیاز آبی مواجه بوده‌اند.

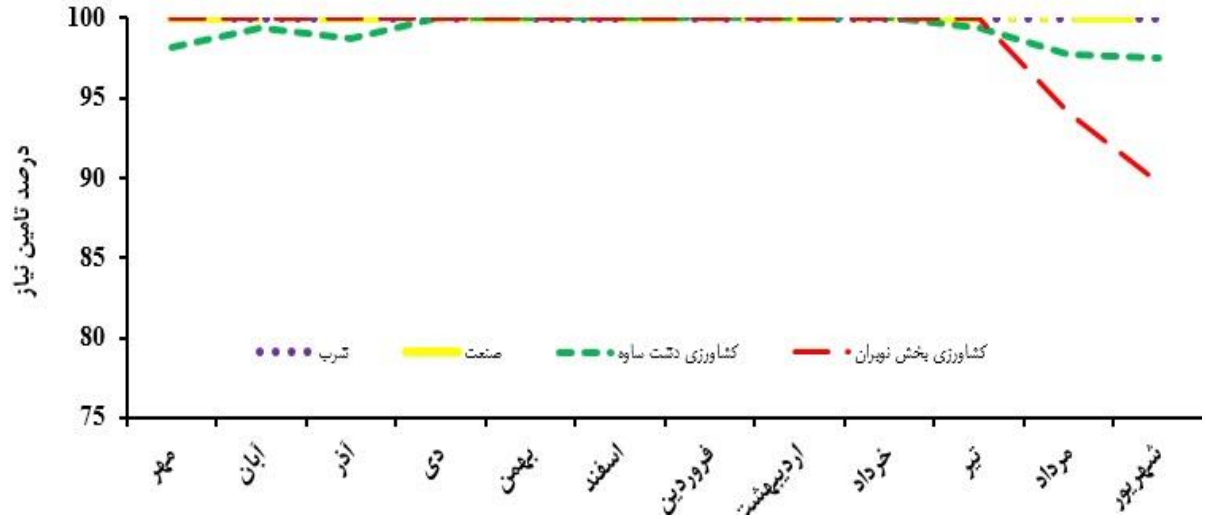
سناریوی (S3)

مدیریت آبیاری تصمیم‌گیری در خصوص نحوهٔ مصرف منابع با هدف افزایش بهره‌وری آنها برای رسیدن به توسعهٔ پایدار است. از اولین راهکارهای اعمال این مدیریت، افزایش بازده انتقال و توزیع آب است. در منطقهٔ پژوهش با افزایش سهم اراضی آبیاری‌شدهٔ مدرن از ۵۰ درصد شرایط موجود به ۷۰ درصد بهبود پیدا کرد. در این سناریو افزایش بازده انتقال و توزیع آب از طریق افزایش سطح اراضی تحت پوشش روش‌های آبیاری تحت فشار از ۵۰ به ۷۰ درصد، سبب کاهش مجموع نیاز آبی شد.

نتایج سناریوی (S3)

جدول ۵- وضعیت تأمین نیاز بخش‌های مختلف- سناریوی بهبود الگوی کشت

نیاز	حجم کل نیاز (MCM)	حجم تأمین‌شده (MCM)	حجم تأمین‌نشده (MCM)	تأمین‌شده (٪)	تأمین‌نشده (٪)	اطمینان‌پذیری
شرب	۲۳۰	۲۳۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
صنعت	۸۸	۸۸	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
کشاورزی ساوه	۲۵۲۹	۲۴۶۹/۲	۵۹/۸	۹۷/۶	۲/۴	۷۲/۵۶
کشاورزی نوبران	۶۴۸/۵	۶۲۴/۵	۲۴	۹۶/۳	۳/۷	۷۱/۸۷
زیست‌محیطی	۴۵۰/۴	۴۵۰/۳	۰/۲	۱۰۰	۰۰	۸۷/۵
مجموع	۳۴۹۵/۵	۳۴۱۱/۷	۸۳/۸	۹۷/۶	۲/۴	



شکل ۵- درصد آب تأمین‌شده در سناریوی (S2)

وضعیت تأمین و عدم تأمین نیازهای آبی در این بخش در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که در کل دوره، مقدار آب مورد نیاز ۳۸۵۲/۹ میلیون متر مکعب است که از این مقدار، ۹۱/۵ درصد حجمی در طول دوره تأمین شده است و کل نیازها فقط با ۸/۵ درصد کمبود حجمی مواجه‌اند. ملاحظه می‌شود که با اعمال این سناریو، نیاز آبی نقطهٔ مصرف کشاورزی در دشت ساوه و بخش نوبران که در سناریوهای قبلی به‌خصوص با شروع فصل کم‌آبی با کمبود و عدم تأمین بسیار زیاد مواجه می‌شدند، با درصد بسیار زیاد (بیش از ۹۰ درصد) تأمین خواهد شد.

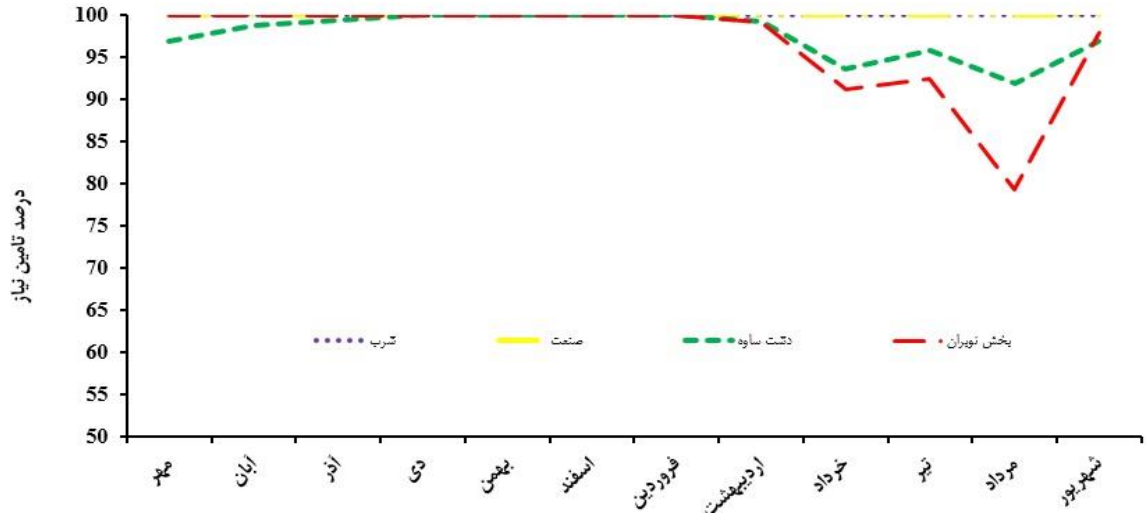
سناریوی (S4)

در این سناریو اقداماتِ مدیریتیِ بهبود الگوی کشت و افزایش بازده آبیاری توأم با یکدیگر اعمال شد. بررسی وضعیت تأمین و عدم تأمین نیازهای آبی در جدول ۷ آورده شده است.

مشاهده می‌شود که با اعمال مدیریت در بهبود الگوی کشت و افزایش بازده آبیاری، آب مورد نیاز ۳۶۵۰/۳ میلیون متر مکعب است که از این مقدار، ۹۵/۴ درصد حجمی در طول دوره تأمین شده است و کل نیازها فقط با ۴/۶ درصد کمبود حجمی مواجه‌اند. نتایجی مشابه توسط دیگر محققان گزارش شده است (Mehta *et al*., 2013; Richter *et al*., 2017; Ahmadaali *et al*., 2018).

جدول ۶- وضعیت تأمین نیاز بخش‌های مختلف- سناریو افزایش بازده آبیاری

نیاز	حجم کل نیاز (MCM)	حجم تأمین‌شده (MCM)	حجم تأمین‌نشده (MCM)	تأمین‌شده (٪)	تأمین‌نشده (٪)	اطمینان‌پذیری
شرب	۲۳۰	۲۳۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
صنعت	۸۸	۸۸	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
کشاورزی ساوه	۲۸۱۳/۵	۲۵۶۱/۱	۲۵۲/۴	۹۱	۹	۷۲/۵۶۹
کشاورزی نوبران	۷۲۱/۴	۶۴۶/۳	۷۵/۱	۸۹/۶	۱۰/۴	۷۱/۸۷۵
زیست‌محیطی	۴۵۰/۴	۴۴۹/۸	۰/۷	۹۹/۹	۰/۱	۸۷/۵
مجموع	۳۸۵۲/۹	۳۵۲۵/۴	۳۲۷/۶	۹۱/۵	۸/۵	



شکل ۶- درصد آب تأمین‌شده در سناریوی (S3)

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که در سناریوی ترکیبی، نیاز کشاورزی دشت ساوه و بخش نوبران که در سناریوهای قبلی با بیشترین کمبود مواجه بود، به‌ترتیب ۹۵ و ۹۷ درصد تأمین می‌شود.

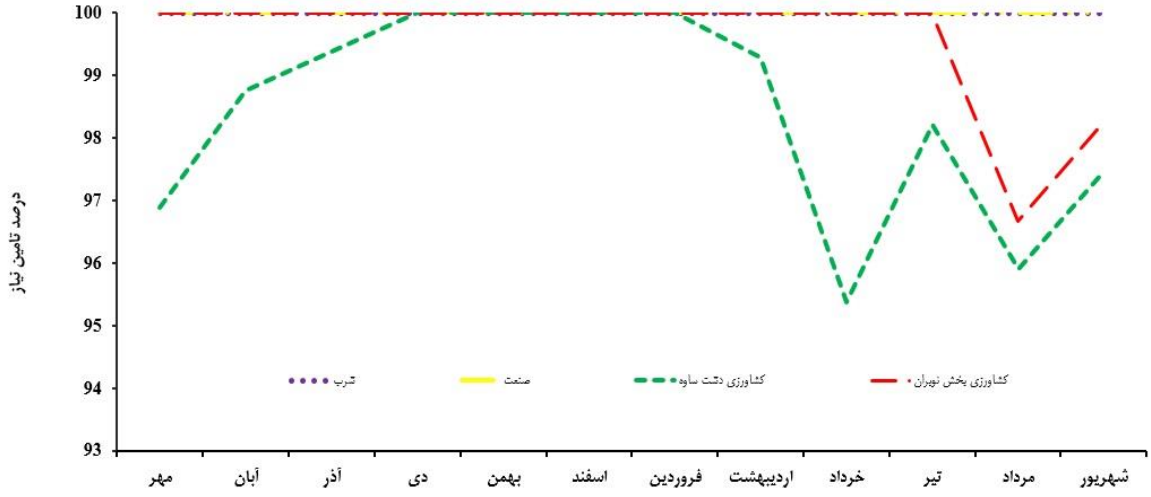
مقایسهٔ سناریوها

عملکرد سیستم در برابر تخصیص منصفانه همهٔ بخش‌های نیاز، اعم از نیاز محیط زیستی پایین‌دست رودخانه و بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی تحت سناریوهای مختلف اعمال‌شده با شاخص اعتمادپذیری مقایسه شد. مقادیر محاسبه‌شدهٔ شاخص اعتمادپذیری در سناریوهای مختلف در جدول ۸ خلاصه شده است.

با توجه به جدول ۸ ملاحظه می‌شود که سناریوی دوم با توجه به افزایش غیرمحافظه‌کارانهٔ سطح فعال نقاط مصرف، کمترین مقدار شاخص اعتمادپذیری برای بخش‌های کشاورزی دشت‌های ساوه و نوبران را به‌ترتیب با ۴۷/۶ و ۵۲/۸ درصد به خود اختصاص داده است. در مقایسهٔ سناریوهای بررسی‌شده، با اصلاح بازده آبیاری و بهبود الگوی کشت در سناریوی ترکیبی همراه با تأمین نیاز محیط زیستی پایین‌دست رودخانهٔ قره‌چای در سطح خوب، بهترین نتیجه برای عملکرد سیستم به‌دست آمده است. در این سناریو شاخص اعتمادپذیری برای همهٔ بخش‌ها بیش از ۹۵ درصد است.

جدول ۷- وضعیت تأمین نیاز بخش‌های مختلف- سناریوی ترکیبی

نیاز	حجم کل نیاز (MCM)	حجم تأمین‌شده (MCM)	حجم تأمین‌نشده (MCM)	تأمین‌شده (٪)	تأمین‌نشده (٪)	اطمینان‌پذیری
شرب	۲۳۰	۲۳۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
صنعت	۸۸	۸۸	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
کشاورزی ساوه	۲۸۱۳/۵	۲۶۴۹/۷	۱۶۳/۸	۹۴/۲	۵/۸	۷۲/۵۶۹
کشاورزی نوبران	۵۱۸/۸	۵۱۴/۷	۴/۱	۹۹/۲	۰/۸	۷۱/۸۷۵
زیست‌محیطی	۴۵۰/۴	۴۵۰/۳	۰/۱	۱۰۰	۰	۸۷/۵
مجموع	۳۶۵۰/۳	۳۴۸۲/۴	۱۶۷/۹	۹۵/۴	۴/۶	



شکل ۷- درصد آب تأمین‌شدهٔ نقاط مصرف در ماه‌های مختلف در سناریوی (S4)

نتایج این تحقیق را می‌توان با برخی پژوهش‌های پیشین مقایسه کرد. Ahmadali و همکاران (۲۰۱۸) در تأیید نتایج تحقیق حاضر بیان کردند که مدل WEAP قابلیت خوبی در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت استفاده از این مدل به‌دلیل کاهش هزینه و زمان لازم برای تحلیل مسائل می‌تواند از راهکارهای ارتقای مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست به حساب آید. برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران منابع آب با استفاده از این ابزار می‌توانند سناریوهای مختلف را بدون صرف هزینه‌های هنگفت و در کمترین زمان ممکن ارزیابی و بهترین تصمیم را برای مدیریت حوضهٔ آبخیز اتخاذ کنند. نتایج پژوهش Kermanshahi و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد که اعمال سناریوهای مدیریتی می‌توانند نقش بسزایی در کاهش تقاضای آب کشاورزی و در نتیجه کاهش برداشت از منابع آب منطقه داشته باشند که همسو با نتایج این تحقیق است. یافته‌های پژوهش Amini و همکاران (۲۰۱۳) که از مدل WEAP برای ارزیابی مدیریت توأم عرضه و تقاضا بر مقدار آورد ورودی به دریاچهٔ ارومیه استفاده کردند نیز نشان داد که هر گونه توسعهٔ اراضی کشاورزی در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه شرایط زیست‌محیطی این دریاچه را دچار مشکل خواهد کرد. یافته این تحقیق مؤید این است که افزایش بی‌محابا و غیرمحافظه‌کارانهٔ اراضی کشاورزی بدون در نظر گرفتن توان سیستم می‌تواند اکوسیستم

جدول ۸- مقایسهٔ شاخص اعتمادپذیری در سناریوهای مختلف

سناریو	S0	S1	S2	S3	S4
شرب	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
صنعت	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
کشاورزی دشت ساوه	۷۲/۶	۴۷/۶	۹۵/۵	۸۹/۹	۹۱/۷
کشاورزی بخش نوبران	۷۱/۹	۵۲/۸	۹۴/۴	۸۷/۵	۹۷/۹
زیست‌محیطی	۸۷/۵	۶۴/۶	۹۹/۷	۹۷/۹	۹۹/۳

منطقه را به‌شدت دچار چالش کند و فشار زیادی بر منابع آبی منطقه وارد آورد. Rahmati Aydenlu (۲۰۱۶) نیز در بررسی حوضهٔ آجی‌چای دریاچهٔ ارومیه با استفاده از مدل WEAP به این نتیجهٔ مهم دست یافت که تأثیرات مثبت ترکیب دو سناریوی بهبود الگوی کشت و افزایش بازده آبیاری بیشتر از حالت منفرد آنهاست. یافتهٔ این تحقیق نیز تأییدکنندهٔ نتیجهٔ به‌دست‌آمده از سناریوی ترکیبی تحقیق حاضر است. یافته‌های جائو و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیانگر این است که مدل WEAP کارایی، قابلیت و انعطاف‌پذیری لازم را برای بررسی گزینه‌های مختلف در منابع آب دارد.

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش، مدل WEAP21 با هدف آگاهی از رفتار هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز رودخانهٔ قره‌چای و دشت ساوه توسعه داده شد. یک دورهٔ آماری سیزده‌ساله (۱۳۷۲ تا ۱۳۸۵) برای واسنجی و یک دورهٔ یازده‌ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. ارزیابی نتایج شبیه‌سازی در دو دورهٔ واسنجی و اعتبارسنجی براساس مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های ضریب تعیین (R^2) و ضریب نش- ساتکلیف (NSE)، بیان‌کنندهٔ عملکرد مطلوب مدل WEAP در شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز بررسی‌شده است. همچنین برای پیش‌بینی پاسخ‌های هیدرولوژیکی منطقهٔ پژوهش به رفتار و دخالت‌های انسانی، پنج سناریوی مدیریتی تدوین شد که براساس نتایج، بیشترین مقدار تأمین نیازهای کشاورزی و محیط زیستی مربوط به سناریوی ترکیبی (افزایش بازده آبیاری همراه با بهبود الگوی کشت منطقه) بود که مناسب‌ترین راهکار مدیریتی برای حفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی نیز شناخته شد. نتایج نشان داد با اجرای این سناریو، روند نزولی حجم آبخوان تا حد زیادی نسبت به شرایط کنونی تعدیل خواهد شد. بنابراین یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال اقدامات مدیریتی مناسب در منطقه، احیای مجدد منابع آب زیرزمینی و خروج از حالت بحرانی امکان‌پذیر خواهد بود. بی‌توجهی به این مسئله خسارات جبران‌ناپذیری مانند تنزل کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، فرونشست زمین، بیابان‌زایی و ... را در پی خواهد داشت. بر همین اساس، بررسی تأثیرات هیدرولوژیک طرح‌های توسعهٔ منابع آب به کمک مدل‌سازی به‌منظور توسعهٔ پایدار منابع آب کشور و معرفی راهکارهای اجرایی برای مدیریت صحیح منابع آب، باید همواره مورد توجه برنامه‌ریزان، تصمیم‌گیران، محققان و مدیران بخش آب کشور قرار گیرد.

با در نظر گرفتن نتایج مدل‌سازی حوضهٔ تحت بررسی

و به‌منظور تحقق اهداف توسعهٔ پایدار در حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ قره‌چای، با توجه به کمبود آب و شرایط آب‌وهوایی منطقه موارد زیر برای ادامهٔ تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود:

۱. توسعهٔ مدل با ارزیابی کیفیت آب سد موجود در حوضه؛

۲. توسعهٔ مدل با روش WaterYear method با استفاده از داده‌های تغییر اقلیم منطقه و بررسی سناریوهای اقلیمی؛

۳. بررسی ابعاد دیگر مسئله: در این مسئله تنها تأثیر هیدرولوژیکی سناریوهای تخصیص بررسی شده است، بنابراین می‌توان تأثیر اقتصادی و اجتماعی این اقدامات را بررسی و به‌صورت سناریوهای مختلف در مدل WEAP ارزیابی کرد؛

۴. در این پژوهش تغییراتی در مقدار مصرف بخش صنعت انجام نگرفت. از این‌رو می‌توان با تعیین نیاز مناسب از نظر تخصیص آب، حالت‌های مختلف آن را در مدل WEAP به‌دست آورد. در خصوص محدودیت تحقیق هم باید به داده‌های آماری و دسترسی به آنها اشاره کرد.

References

Ahmadaali, J., Barani, G. A, Qaderi K, Hessari, B., 2018. Analysis of the effects of water management strategies and climate change on the environmental and agricultural sustainability of Urmia lake basin. Iran. Water 10(2), 160. (In Persian)

Ahmadi, K., 2014. Operation management of water resources in a watershed concerning environmental demands and assessment of different scenarios. The Dissertation of Master of Science in Civil Engineering. Graduate School. The University of Sistan & Baluchistan. Iran .171 p. (In Persian)

Amini, A., Javan, M., Eghbalzadeh, A., Ghasemi M.R., 2017. An assessment of water resources management using the WEAP model in the Gamasyab watershed, the province of Kermanshah, Iran. Journal Management System 10(32), 13-18. (In Persian)

Ashrafi, M., Zeinalzadeh, K., Besharat, S, Yasi, M., 2019. The performance of WEAP model in hydrologic simulation of Aland watershed. Iranian Journal of Ecohydrology 6(2), 341-352. (In Persian)

Esmaili, K., Sadeghi, Z., Kaboli, A., Shafaei, H., 2018. Application hydrological methods for estimating river environmental water rights (case study of Gorganroud River). Journal of natural environment (Iranian Journal of Natural Resources) 71(4), 437-451. (In Persian)

Gao, J., Christensen, P., Li, W., 2017. Application of the WEAP model in strategic environmental assessment (experiences from a case study in an arid/semi-arid area in china). Journal of Environmental Management 198, 363-371.

Karmaoui, A., Minucci, G., Messouli, M., Khebiza, M.Y., Ifaadassan, I., Babqiqi, A., 2019. Climate change impacts on water supply system of the middle draa valley in south morocco. In climate change, food security and natural resource management, springer, cham. 163-178.

Kermanshahi, S., Davari, K., Hasheminia, S.M., Faridhosseini, A., Ansari, H., 2013. Using the WEAP model to assess the impact of irrigation water use management on water resources of Neyshabour plain. Journal of Water and Soil 27(3), 495-505. (In Persian)

Kjeldsen, T.R., Rosbjerg, D., 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems/choix d'estimateurs de fiabilité, de résilience et de vulnérabilité pour les analyses de risque de systèmes de ressources en eau. Hydrological Sciences Journal 49(5).

Li, X., Zhao, Y, Shi, C., Sha, J., Wang, Z. L., Wan, Y. 2015. Application of water evaluation and planning WEAP model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai new area, china. Ocean & Coastal Management. 106, 97-109.

Mehta, VK, Haden, VR, Joyce, BA, Purkey, DR., Jackson, L.E., 2013. Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in yolo county, California. Agricultural Water Management 117, 70-82.

Mohamadpoor, M., Zeinalzade, K., Verdineghad, V.R., Hesari, B., 2016. WEAP model calibration and validation in simulating the impact of irrigation systems change on the Ahar-chai basin hydrological response. Iranian Journal of Ecohydrology 3(3), 477-490. (In Persian)

Momblanch, A., Aapadimitriou, L., Jain, S.K., Kulkarni, A., Ojha C.S., Adeloye, A., 2019. Untangling the water-food-energy-environment nexus for global change adaptation in a complex Himalayan water resource system. Science of the Total Environment 655, 35-47.

Movahed Atar, F., Samadi, S., 2013. Evaluation of Zayanderud dam operation during drought period by using WEAP model. Journal of Irrigation and Water Engineering 4(14), 18-28. (In Persian)

Naderi, M. H., Pourgholam amiji, M., Ahmadaali, Kh, Amiri, Z., Ghojoghi, A., Ghorbani Minaei, L., 2020. Determine and design range of optimal environmental flow Zarin- Gol River by investigation the Hydromorphological characteristics hydrological regime and habitat suitability simulation Ecohydraulic model. Journal of fisheries (Iranian journal of Natural Resources. 73(1), 17- 40. (In Persian)

Oryan, S., Sadeghiyan, M., Makdoum, M., Zarankabi, M., 2013. Comparison of environmental flow requirement assessment methodologies for rivers and proposing the appropriate approach for Iran by using TOPSIS technique. Environmental Research 4(8), 3-14. (In Persian)

Pak, Z., 2015. The effects of drought and excessive withdrawal on groundwater drawdown and quality of Saveh plain aquifer. Thesis for degree of Master of Science. Arak University. Arak. Iran. 337 p. (In Persian)

Psomas, A., Panagopoulos, Y., Konsta, D., Mimikou, M., 2016. Designing water efficiency measures in a catchment in Greece using WEAP and swat models. Procedia Engineering 162, 269-276.

Richter, Bd., Brown, J.D., Dibenedetto, R., Gorsky, A., Keenan, E., Madray, C., Morris, M., Rowell, D., Ryu, S., 2017. Opportunities for saving and reallocating agricultural water to alleviate water scarcity. Water Policy 19(5), 886-907.

Rahmati Aydenlu, N., 2016. The Effects of Improving Irrigation Efficiency and Crop Pattern Change Scenarios on the Agricultural Water Productivity. 2016. Thesis Submitted for Partial Fulfillment of Master of Science Degree in Agriculture Engineering- Irrigation and Drainage Engineering. University of Tabriz. Tabriz. Iran.116 p. (In Persian)

Shafaeianfard, D., Koohiyan Afzal, F., Yakheshi, M.A., 2014. Determination of Top Options in Utilization of Water Resources using WEAP Model and Multi Attribute Decision-Making Analysis (Case Study: Zarin-Gol Basin). Journal of Watershed Management Research 5(9), 29-45. (In Persian)

Sieber, J., Purkey, D., 2007. User Guide for WEAP21, Stockholm Environment Institute, q.

Tennant, D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1, 6-10

Yin X.A, Mao X.F, Pan B.Z, Zhao Y.W. 2015. Suitable range of reservoir storage capacities for environmental flow provision. Ecological Engineering. 31(76): 122- 129.

Zhao, C.S., Yang, S.T., Zhang, H.T., Liu, C.M., Sun, Y., Yang, Z. Y., Lim, R.P., 2017. Coupling habitat suitability and ecosystem health with AEHRA to estimate E-flows under intensive human activities. Journal of Hydrology 551, 470-483.