تأثیر مدیریت مصرف بر منابع آب سطحی دشت‌های اشنویه و نقده با مدل WEAP (مطالعه موردی: دشت‌های اشنویه و نقده)

مریم محمدپور[۱]*

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۳ تاریخ اولین بازنگری: ۹۸/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۲ صص: ۸۴-۷۱

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توسعه کشاورزی و افزایش روزافزون جمعیت، سبب کاهش منابع آب شده است؛ این مسئله منجر به عواقب اجتماعی و زیست‌محیطی برای جوامع بشری خواهد شد. یکی از چالش‌های اساسی مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی صحیح منابع آب در شرایط بهینه است. در پژوهش حاضر مدیریت منابع آب دشت‌های اشنویه و نقده واقع در حوزه آبخیز گدار چای با نرم‌افزار WEAP برای دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا مدل در شرایط واقعی مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. سپس شرایط منطقه با دو سناریوی تغییر سطح زیرکشت کشاورزی و جمعیت ارزیابی شد. نتایج ارزیابی مدل با شاخص‌های آماری، عملکرد خوب مدل در دوره تاریخی را نشان داد. همچنین سناریوسازی نشان داد: افزایش ۱۰ تا ۳۰ درصدی سطح زیرکشت حوضه باعث کاهش ۰/۱۰ تا ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه متوسط جریان سالانه رودخانه گدار و افزایش ۸/۲ تا ۲۴/۵ میلیون مترمکعب میزان مصرف آب منطقه می‌شود. با توجه اهمیت دشت‌های اشنویه و نقده در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و کم آب بودن منطقه می‌توان گفت هرگونه توسعه کشاورزی که منجر به افزایش برداشت از منابع آب منطقه شود، سبب از بین رفتن آن منابع ارزشمند و حیاتی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز گدار چای، شاخص نش- ساتکلیف، نرم‌افزار WEAP.

[۱] دکتری مهندسی منابع آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه. ایران.
* نویسنده مسول مقاله: mmohammadpour1064@yahoo.com

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی موجب افزایش ضرورت مدیریت منابع آب برای تامین نیازهای بخش‌های مختلف مصرف‌کننده شده است (امینی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرف دیگر، وضعیت بحرانی آب به‌همراه افزایش تقاضا، ضرورت ارزیابی و برنامه‌ریزی صحیح در بهره‌برداری از منابع آب را ایجاب می‌کند. همچنین مدیریت استراتژیک در بخش‌های مصرف کننده‌ی آب، مستلزم تخصیص منابع است که اثرات عمده‌ای بر پیشرفت منطقه در بلندمدت خواهد داشت (محمدیان کبریا، ۱۳۹۱). این راهبردها، باید آینده‌نگرانه و در تقابل با تغییرات محیط اتخاذ گردند تا سبب توسعه پایدار منابع آب شود. مفهوم توسعه پایدار منابع آب، تأمین نیازهای جمعیت فعلی، بدون اثر منفی بر نیازهای نسل‌های آینده می‌باشد (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵). برنامه‌ریزی مناسب جهت بهره‌برداری صحیح از منابع موجود نیازمند استفاده از ابزارها و مدل‌های شبیه‌سازی مدیریت و برنامه‌ریزی به‌هم پیوسته منابع آب برای ارزیابی آن‌هاست (اشرفی، ۱۳۹۷). برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب نیازمند شناخت اثرات هیدرولوژیک توسعه جوامع بر روی منابع آب دشت‌هاست. فرآیندهای هیدرولوژیک دشت‌ها بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک حساسیت بسیار زیادی در برابر ایجاد تغییرات دارند (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵). به‌طوری که هیدرولوژی رودخانه‌ها را از طریق انواع فرآیندها از جمله تغییرات در جریانات بازگشتی، نشت و نفوذ عمقی، تبخیر-تعرق و مصرف آب تحت تأثیر قرار می‌دهند. امروزه حفظ محیط‌زیست و منابع طبیعی جزء مهمترین بحث‌های مدیریت منابع آب می‌باشند. در جوامع اروپایی چارچوب و دستورالعمل‌های زیادی از جمله WFD (دستورالعمل چهارچوب آب اتحادیه اروپا) برای محاظت از شرایط اکوهیدرولوژی مجموعه‌های آبی در مقیاس حوضه‌های آبریز وجود دارد (کوزاپه، ۲۰۰۹). اما متاسفانه جای خالی چنین دستورالعمل‌هایی در کشور ایران بسیار محسوس است.

استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک جامع و توانمند در شبیه‌سازی هیدرولوژی جریان در رودخانه‌ها و دشت‌ها می‌تواند برای بررسی اثرات هیدرولوژیک توسعه جوامع بر روی منابع آب بسیار سودمند باشد. امروزه مدل‌های مختلفی (SWAT2005، MIKE-SHE، HSPF، ETH-WASIM، DHSVM، HEC-HMS، WEAP) برای کمی‌سازی تأثیر تغییرات و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیک استفاده می‌شوند اما اخیراً نرم‌افزار WEAP با توجه به قابلیت‌های آن برای شبیه‌سازی فرایندهای طبیعی (تبخیر و تعرق، رواناب، جریان پایه و ...) و مولفه‌های مهندسی (برای مثال، مخازن، پمپاژ از آب‌های زیرزمینی) توسعه یافته است. مزیت اصلی مدل WEAP، رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد. WEAP در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ کرده است (محمدپور، ۱۳۹۵ و احمدآلی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعات زیادی در سراسر دنیا انجام شده است که قابلیت مدل WEAP در شبیه‌سازی و ارزیابی منابع آب نشان را داده است. گوآ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی استراتژیک محیط زیست چین پرداختند. آن‌ها با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف نشان دادند مدل WEAP کارائی، قابلیت و انعطاف‌پذیری لازم برای بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی در منابع آب را دارد. سینگ و همکاران (۲۰۱۶) با ادغام روش‌های RS[1] و GIS[2] و مدل WEAP، مدل هیدرولوژیک حوزه آبخیز رودخانه Mahanadi در هند را تهیه نموده و قابلیت این مدل را برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و استفاده در حوضه‌های دیگر را نشان دادند. اینگل- بلانکو و مک-کنی (۲۰۱۲) با واسنجی و اعتبارسنجی مدل WEAP در آبخیز Rio Conchos مکزیک و زیرحوزه Rio Grande، عملکرد خوب مدل را گزارش نمودند. بلانکو- گوتیرز و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از ترکیب مدل WEAP و مدل بهینه‌سازی GAMS[3]، بیلان آب در حوزه آبخیز Middle Guadiana واقع در کشور اسپانیا را مدل‌سازی کردند. آن‌ها ضریب نش- ساتکلیف برای ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره واسنجی را بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۸ گزارش کردند.

[1] Remote Sensing (RS)
[2] Geographic Information Systems (GIS)
[3] General Algebraic Modeling System (GAMS)

همچنین محققان زیادی ارزیابی اثرات مختلف توسعه جوامع بر منابع آب را با مدل WEAP مورد مطالعه قرار داده‌اند، که از جمله می‌توان به انزاب و همکاران (۲۰۱۶)، دیمووا و همکاران (۲۰۱۴)، هارما و همکاران (۲۰۱۲)، اشرفی و همکاران (۱۳۹۷)، احمدآلی و همکاران (۱۳۹۶)، محمدپور و همکاران (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) و غیره اشاره کرد. مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد، ارزیابی منابع آب با استفاده از مدل WEAP همواره مورد توجه محققین بوده است. با توجه به موقعیت قرار گیری دشت‌های اشنویه و نقده در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و وضعیت بحرانی این دریاچه، که حاکی از سوء مدیریت صحیح منابع آب منطقه است. در این تحقیق تلاش شد، منابع آب دشت‌های اشنویه و نقده در راستای بررسی پایداری منابع آب آن در شرایط کمبود آب و توسعه جوامع محلی برای اولین بار در این منطقه با یک مدل تخصصی ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP) مورد بررسی قرار بگیرد؛ تا بتوان برای اجتناب از بروز مشکلات آتی کمبود آب در این دشت‌ها و کمک به بحران خشک شدن دریاچه ارومیه، برای مدیریت صحیح منابع آب توصیه‌های ارزشمند به مدیران آبی منطقه پیشنهاد نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

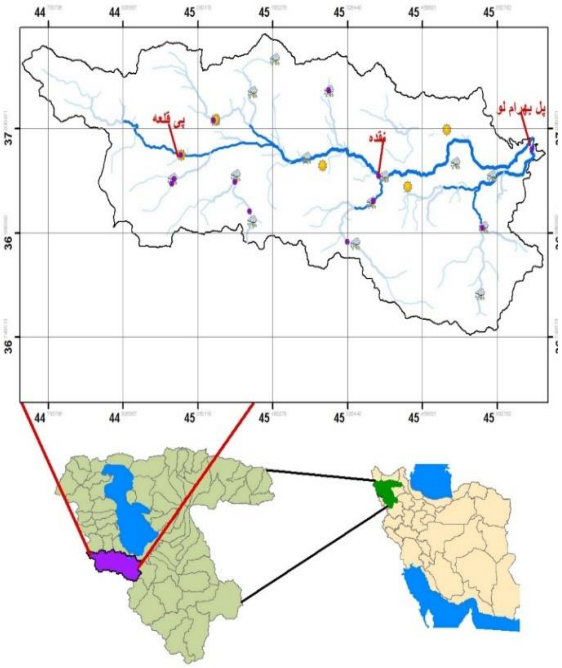
دشت‌های اشنویه و نقده در محدوده جنوب استان آذربایجان غربی در شمال‌غرب کشور ایران واقع شده است. موقعیت جغرافیای و مشخصات عمومی دشت‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است. این محدوده‌های مطالعاتی در حوزه آبخیز گدارچای قرار دارند که یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه است. از طرف شمال به دریاچه ارومیه و سرچشمه رودخانه‌های باراندوز و بالانج، از سمت غرب به کشور عراق، از سمت شرق به حوزه آبخیز رودخانه مهاباد و از طرف جنوب به حوزه آبخیز رودخانه زاب محدود می‌شود. واحد هیدرولوژیک اصلی آن رودخانه گدار می‌باشد که؛ از قسمت غربی پس از عبور از دشت اشنویه وارد محدودهٔ مطالعاتی نقده شده و پس از جریان یافتن به سمت شرق، در انتها به شوره‌زارهای دریاچهٔ ارومیه ختم می‌گردد. مساحت کل محدوده مطالعاتی اشنویه ۱۱۶۸ کیلومتر مربع است که بیش از ۳۷۷ کیلومتر مربع آن را گستره آبرفتی دشت اشنویه تشکیل می‌دهد. همچنین مساحت شهرستان نقده ۱۱۴۰ کیلومتر مربع و مساحت دشت آبرفتی نقده ۳۷۷ کیلومترمربع می‌باشد عمده‌ترین فعالیت اقتصادی منطقه کشاورزی است و بیشترین مقدار آب زیرزمینی در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبخوان دشت نقده و اشنویه از نوع آزاد می‌باشند (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، ۱۳۸۸). ایستگاه‌های هیدرومتری پی قلعه در بالادست و نقده در پایین دست دشت اشنویه و ایستگاه‌های هیدرومتری نقده در بالادست و پل بهرام‌لو در پایین دست دشت نقده بر روی رودخانه گدار واقع شده‌اند. در جدول ۲ مشخصات این ایستگاه‌ها آورده شده است. این مناطق از نظر آب و هوایی براساس روش اقلیم نمای آمبرژه جزو اقلیم نیمه خشک سرد محسوب می‌شود. متوسط بارش ۱۰ ساله (۱۳۸۵-۹۵) دشت نقده ۳۶۵ میلی‌متر در سال می‌باشد که بیشترین مقدار آن در ماه‌های اسفند و فروردین حادث شده است. پتانسیل تبخیر این منطقه بیش از بارندگی بوده و مقدار متوسط سالانه آن ۱۴۴۵ میلی‌متر در آمار دراز مدت مربوط به ایستگاه سینوپتیک نقده با متوسط درجه حرارت سالانه ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر ارتفاع محدودهٔ مطالعاتی نقده ۲۲۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۲۷۰ متر در حواشی دریاچه ارومیه است (صادقی‌اقدم و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین میانگین بارش بلند مدت سالانه (۱۳۹۰-۱۳۶۶) محدوده مطالعاتی اشنویه ۴۲۸/۷ میلی‌متر، میانگین دمای بلند مدت سالانه همین دوره نیز در این دشت ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. علاوه بر سد مخزنی حسنلو، مهم‌ترین تالاب‌های بین‌المللی استان شامل تالاب‌های حسنلو، یادگارلو، درگه‌سنگی، شیطان‌آباد و سولدوز در این دشت واقعند (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان-غربی، ۱۳۹۰). تمامی اطلاعات از ارگان‌های مربوطه از جمله شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌غربی اخذ شده است.

جدول ۱- مشخصات عمومی دشت اشنویه و نقده

نام دشت	نوع منطقه	مساحت (کیلومترمربع)	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	دمای سالانه (سانتی‌گراد)	تبخیر سالانه (میلی‌متر)
نقده	دشت	۳۷۷	۳۶۵	۱۵	۱۴۴۵
اشنویه	دشت	۱۴۴	۴۲۸/۷	۱۱/۶	۱۲۸۲/۱

جدول ۲- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری دشت‌های اشنویه و نقده واقع در حوزه آبخیز گدارچای

نام ایستگاه هیدرومتری	شهرستان	ارتفاع از سطح دریا (متر)	متوسط آورد سالانه (مترمکعب بر ثانیه)	مختصات جغرافیایی	
				طول	عرض
پی قلعه	اشنویه	۱۴۸۷	۸/۶۷	۴۰۹۴۱۸۷	۵۰۲۹۷۸
نقده	نقده	۱۳۴۰	۱۱/۷۴	۴۰۹۰۹۷۹	۵۳۴۷۲۵
پل بهرام‌لو	نقده	۱۲۸۳	۱۰/۶۴	۴۰۹۰۷۰۲	۵۵۲۱۷۵



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز گدارچای شامل دشت‌های نقده و اشنویه و ایستگاه‌های آن.

روش‌شناسی تحقیق

مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) توسط مؤسسه تحقیقات محیط زیست استکهلم توسعه یافته است که قادر به ارزیابی یکپارچه‌ای از اقلیم، هیدرولوژی، کاربری اراضی، تأسیسات آبیاری و اولویت‌های مدیریت آب می‌باشد. این مدل از یک مدل برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند و تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تأمین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر محدودیت‌ها می‌باشد. تمامی محدودیت‌ها به‌طور متناوب برای هر گام زمانی و با توجه به اولویت عرضه و تقاضا تعریف می‌شود. مدل WEAP در هر گام زمانی معادله تعادل جرمی آب را برای هر گره و شاخه محاسبه می‌کند (محمدپور ۱۳۹۵).

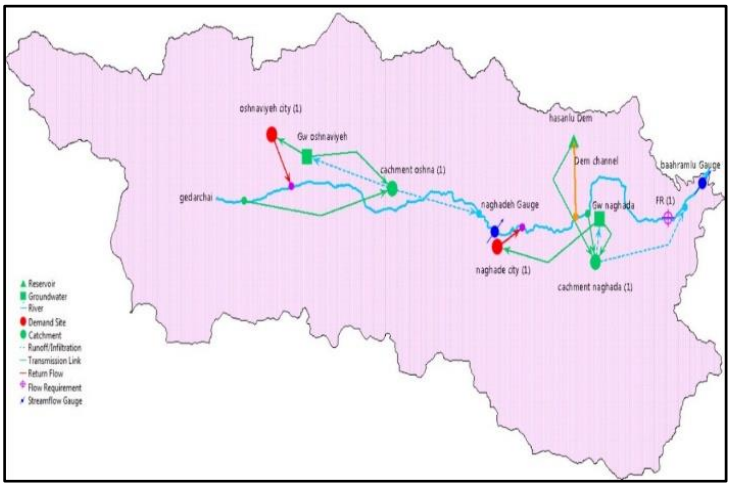
در پژوهش حاضر، مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب دشت‌های اشنویه و نقده واقع به روش مدل‌سازی بارش- رواناب در یک دوره آماری ۱۶ ساله (سال‌های آبی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴) ساخته شد. شکل شماتیک مدل توسعه داده شده در این مطالعه در شکل ۲ (الف) آمده است. با استفاده از سری‌های زمانی اقلیمی منطقه، مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیک دشت‌های مورد مطالعه با شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب شبیه‌سازی شد. در فرآیند شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک، ابتدا وضعیت فعلی منطقه بر اساس منابع و مصارف در سال پایه و سپس در سری زمانی مورد مطالعه ساخته شد. در پژوهش حاضر به‌دلیل کمبود اطلاعات خاک منطقه، صرفاً از روش بارش-رواناب (ضرائب ساده) برای مدل‌سازی هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه استفاده شد؛ و مدل‌سازی در گام زمانی ماهانه برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک جریان انجام شد. برای شبیه‌سازی مدل، داده‌های مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی، نقشه کاربری اراضی، مصارف و نقاط برداشت آب کشاورزی، شهری و اطلاعات اقلیمی به مدل داده شد. اطلاعات کاربری اراضی، اقلیم منطقه مورد مطالعه (میزان بارندگی (ماه/ میلی‌متر)، بارش مؤثر و مقادیر تبخیر)، مقادیر مصارف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی و شرب برای طول دوره مورد مطالعه از سازمان‌های مربوطه تهیه شد. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز گدار چای شامل دو دشت اشنویه و نقده درصد پوشش کاربری‌های اراضی آن‌ها در شکل ۲ (ب) و جدول ۳ آمده است. سپس سطح زیرکشت و ترکیب کشت محصولات غالب زراعی و باغی در سال‌های مختلف و هم‌چنین سیستم‌های آبیاری موجود در منطقه (آبیاری‌های سطحی، بارانی و قطره‌ای) نیز استخراج شد. نیاز آبی محصولات نیز مطابق با روش پیشنهادی FAO (پیرنیا و همکاران، ۱۳۹۲) با روابط ۱ تا ۳ محاسبه شد.

Precipitation (0: MAX = Runoff + Potential) ET – ET Available For (1-Precipitation * (Precipitation * Irrigation Fraction) (1- Effective)) + Supply (۱)

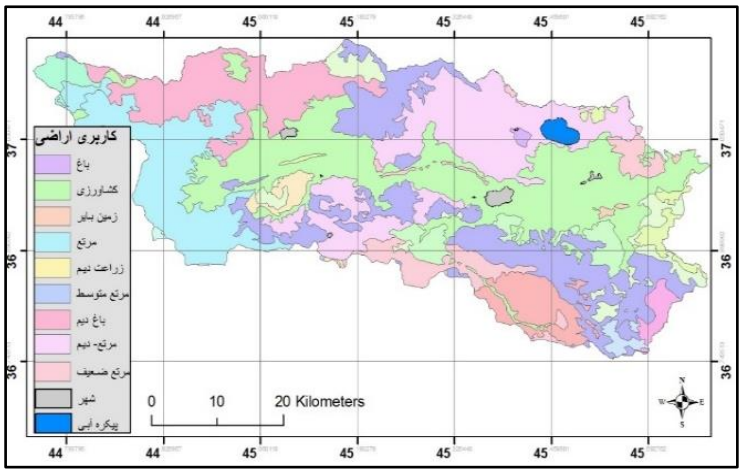
(Runoff * Runoff to GW Fraction) = Runoff to GW (۲)

(Runoff * (1-Runoff to GW Fraction)) = Runoff to Surface water (۳)

که در آن، Precipitation بارش (میلی‌متر)، Precipitation Effective بارش مؤثر (درصد)، Precipitation Available For ET مقدار آب موجود برای تبخیر و تعرق (میلیون مترمکعب)، ET Potential تبخیر تعرق بالقوه (میلیون مترمکعب)، Irrigation Fraction درصدی از آب آبیاری (درصد)، Supply مقدار آب مورد نیاز آبیاری (میلیون مترمکعب)، Runoff to GW Fraction ضریب رواناب جریان یافته به آب زیرزمینی، Runoff to GW رواناب خروجی به آب‌های زیرزمینی (میلیون مترمکعب)، Runoff to Surface Water رواناب خروجی به آب‌های سطحی (میلیون مترمکعب) می‌باشند.



(الف)



(ب)

شکل ۲- (الف) شماتیک مدل توسعه داده شده در مدل WEAP، (ب) کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز گدار چای شامل دشت‌های نقده و اشنویه.

جدول ۳- درصد پوشش کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز گدار چای شامل دشت‌های نقده و اشنویه (برحسب درصد)

نوع کاربری	شهر	صخره	پیکره آبی	مرتع	کشاورزی آبی		کشاورزی دیم
					باغ	زراعت آبی	
درصد	۰/۱۸۳	۰/۱۸۸	۱۱/۲۱	۴۱/۸	۹/۹۳	۱۹/۵۰۹	۱۷/۱۸

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در پژوهش حاضر بازه زمانی (سال آبی) ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ به‌ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدنظر قرار گرفتند. در این راستا مقادیر دبی مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری نقده و پل بهرام‌لو به‌ترتیب واقع در پایین دست دشت‌های اشنویه و نقده برای واسنجی و اعتبارسنجی فرآیند هیدرولوژی آن‌ها استفاده شد (جدول ۴). به‌منظور کاهش حداکثری خطاها و در نهایت دستیابی به نتایج قابل اطمینان، اقدام به واسنجی متغیرهای ورودی مدل با استفاده از روش رگرسیون‌گیری غیرخطی (الگوریتم گاوس- مارکوارت- لونبرگ) در ابزار PEST در مدل WEAP شد (دوهرتی و همکاران، ۱۹۹۵). پس از واسنجی، بدون تغییر در متغیرهای ثابت و پارامترهای واسنجی شده، نتایج مدل با داده‌های مشاهده شده ایستگاه‌های منتخب برای دوره شبیه‌سازی مقایسه و اعتبارسنجی شد. تدوین سناریوها گام سوم بوده که مجموعه‌ای از فرضیه‌های مربوط به تأثیرات تغییر سیاست‌ها، هزینه‌ها و شرایط اقلیمی تعریف می‌شود. در نهایت مدل برای بررسی سناریوها با توجه به اهداف مطالعه و حساسیت مدل نسبت به عدم قطعیت‌ها در متغیرهای کلیدی در گام چهارم مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای ارزیابی کمّی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2[1])، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[2]) و ضریب نش-ساتکلیف[3] (NSE) استفاده شد. شاخص‌های آماری ضریب تعیین و نش-ساتکلیف بین صفر و یک متغیر بوده که و مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده کارایی بالا بوده و مقادیر شاخص جذر میانگین مربعات خطا نیز بیش از صفر متغیر بوده و مقادیر حداقل آن حاکی از کارایی بالای مدل می‌باشد (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ بلانکو-گوتیرز و همکاران، ۲۰۱۳؛ حصاری و همکاران، ۱۳۹۰ و احمدآلی و همکاران، ۱۳۹).

تحلیل سناریوهای مدیریت آب با مدل WEAP

برای شناسایی اثرات تغییر شرایط بر هیدرولوژی دشت‌های مورد مطالعه به تنش‌های ناشی از تغییرات در بخش کشاورزی و توسعه جامعه محلی، سناریوهای مختلفی در قالب دو سناریو با استفاده از مدل WEAP طرح‌ریزی شد. از این‌رو، پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در تولید دبی جریان و تعیین شرایط پایه حوضه، گام‌های مشابه برای تولید دبی جریان بر اساس راهکارهای مدیریتی تدوین شد. به‌سبب دخالت‌های انسانی در برداشت از منابع آب دشت‌های نقده و اشنویه با هدف تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و شرب در منطقه و تهدید جدّی منابع آب این دشت‌ها، شبیه‌سازی و ارزیابی اثرات راهکارهای جایگزین بر رفتار هیدرولوژی آن‌ها از طریق تدوین و بررسی سناریوهای کاربردی ضروری می‌باشد. از این‌رو در پژوهش حاضر دو سناریو در هر دشت تدوین شده است: ۱) سناریوی اول (S1) بر پایه سناریوی مرجع و با شرایط توسعه کشاورزی و ۲) سناریوی دوم (S2) بر پایه سناریوی مرجع و با شرایط توسعه شهری و افزایش جمعیت منطقه. لازم به ذکر است سناریوهای اول و دوم به‌طورجداگانه در هر دو دشت اعمال و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند. سناریوی مرجع شبیه‌سازی شرایط واقعی بر اساس وضع موجود و شرایط اقلیمی منطقه ساخته شده است. در سناریوی اول فرض شد؛ افزایش سطح زیرکشت دشت‌های اشنویه و نقده باعث افزایش در مصرف آب و کاهش در ذخایر منابع دشت‌های مورد مطالعه شود. این سناریو با اعمال تغییرات ۱۰، ۱۶±، ۲۰ و ۳۰ درصدی سطح زیرکشت منطقه در مدل اجرا شد. نتایج اعمال سناریوی اول به‌صورت تغییر در رواناب خروجی از مدل و میزان تقاضای آب منطقه مورد مطالعه به سناریوی مرجع مورد ارزیابی قرار گرفت. در سناریوی دوم فرض شد؛ همگام با روند توسعه جمعیت در کشور و با توجه به پتانسیل منطقه، دشت‌های نقده و اشنویه نیز تا نرخ رشد پنج درصد افزایش بیابد. نتایج این سناریوسازی نیز به‌صورت رواناب خروجی از حوضه و میزان تقاضای آب مصرفی در منطقه نسبت به سناریوی مرجع مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

در این تحقیق، ابتدا پارامترهای ضریب گیاهی کاربری‌های غیرزراعی و بارش مؤثر برای ایستگاه‌های هیدرومتری نقده و پل بهرام‌لو با ابزار PEST واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج مقادیر بهینه شده در جدول ۴ آمده است. مقادیر آماری و شاخص‌های مربوط به ارزیابی کمّی

[1] Coefficient of Determination (R^2)

[2] Root Mean Square Error (RMSE)

[3] Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. براساس جدول ۵، مقادیر ضریب نش- ساتکلیف برای جریان ماهانه در ایستگاه‌های نقده و پل بهرام‌لو به‌ترتیب برابر ۰/۸۲ و ۰/۷۹ برای دوره واسنجی و ۰/۸۸ و ۰/۶۷برای دوره اعتبارسنجی بودند. همچنین ضریب همبستگی برای جریان ماهانه در ایستگاه‌های نقده و پل بهرام‌لو به‌ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۸۱ برای دوره واسنجی و ۰/۷۴ و ۰/۷۲برای دوره اعتبارسنجی بدست آمد. نتایج ارزیابی با شاخص RMSE قابل قبول نبودند که از ارائه آن‌ها خودداری شد؛ این اهم به‌دلیل پایین بودن آورد جریان رودخانه‌ای است.

در حالت کلی انطباق بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی با توجه به حدود شاخص‌ها، در حد مطلوبی بوده و استفاده از مدل WEAP برای شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف به برنامه‌ریزان منابع آب توصیه می‌شود. دبی‌های جریان ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه‌های نقده و پل بهرام‌لو و همبستگی بین آن‌ها در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ داده‌های شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی تطابق خوبی دارند؛ که بیانگر عملکرد خوب مدل است.

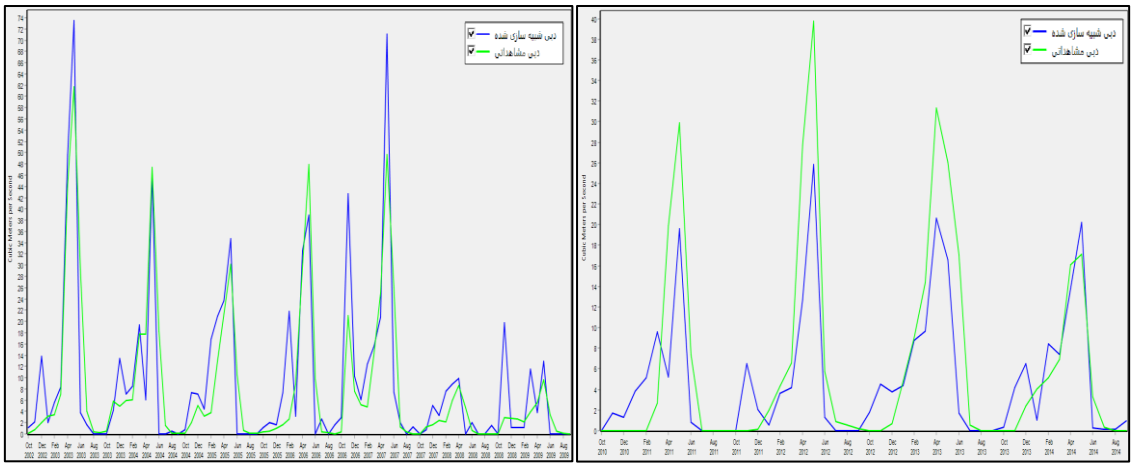
جدول ۴- پارامترهای واسنجی و مقادیر آن‌ها در منطقه مورد مطالعه

حوضه/ پارامتر	ضریب گیاهی کاربری‌های غیرزراعی (بدون واحد)	بارش مؤثر (درصد)
زراعت دیم	۰/۳۴	۸۰
مرتع	۰/۳۵	۸۰
زراعت آبی سطحی [1]	-	۸۰
باغ سطحی[1]	-	۸۰
تحت‌فشار (باغی)[1]	-	۸۰
تحت‌فشار (زراعت آبی)[1]	-	۸۰

[1]مقدار ضرایب گیاهی به‌عنوان پارامتر واسنجی تعریف نشده است.

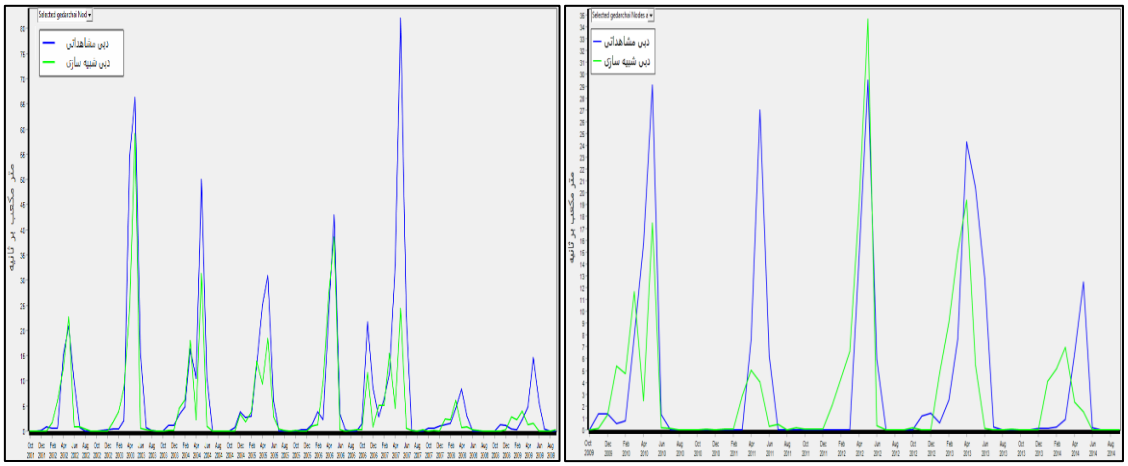
جدول ۵- مقادیر شاخص‌های ارزیابی نتایج مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

نام ایستگاه هیدرومتری	واسنجی		اعتبارسنجی	
	R^2	NSE	R^2	NSE
نقده	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۸۸
پل بهرام‌لو	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۶۷



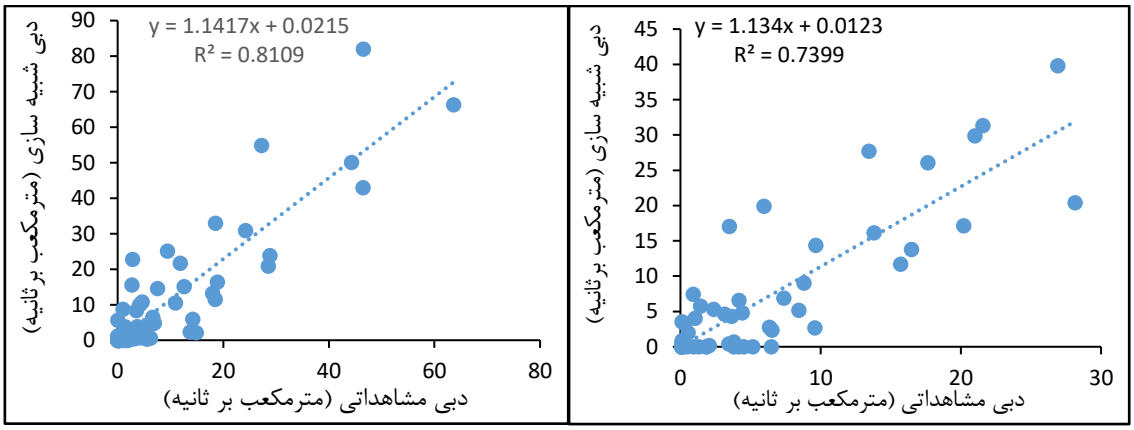
(الف) واسنجی (ب) اعتبارسنجی

شکل ۳- دبی‌های ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی در ایستگاه هیدرومتری نقده



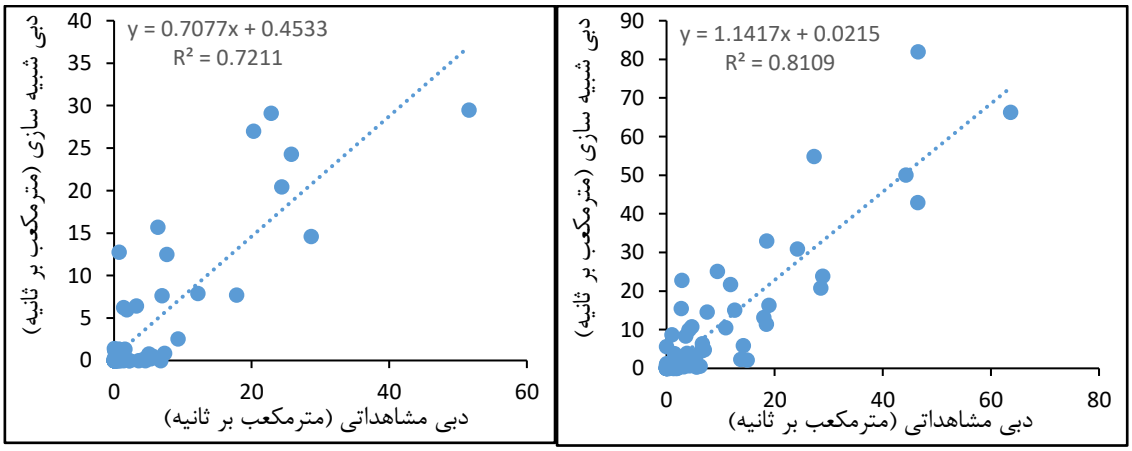
(الف) واسنجی (ب) اعتبارسنجی

شکل ۴- دبی‌های ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی در ایستگاه هیدرومتری پل بهرام‌لو



(الف) واسنجی (ب) اعتبارسنجی

شکل ۵- نمودار همبستگی دبی‌های مشاهداتی در مقابل شبیه‌سازی در ایستگاه‌های هیدرومتری نقده

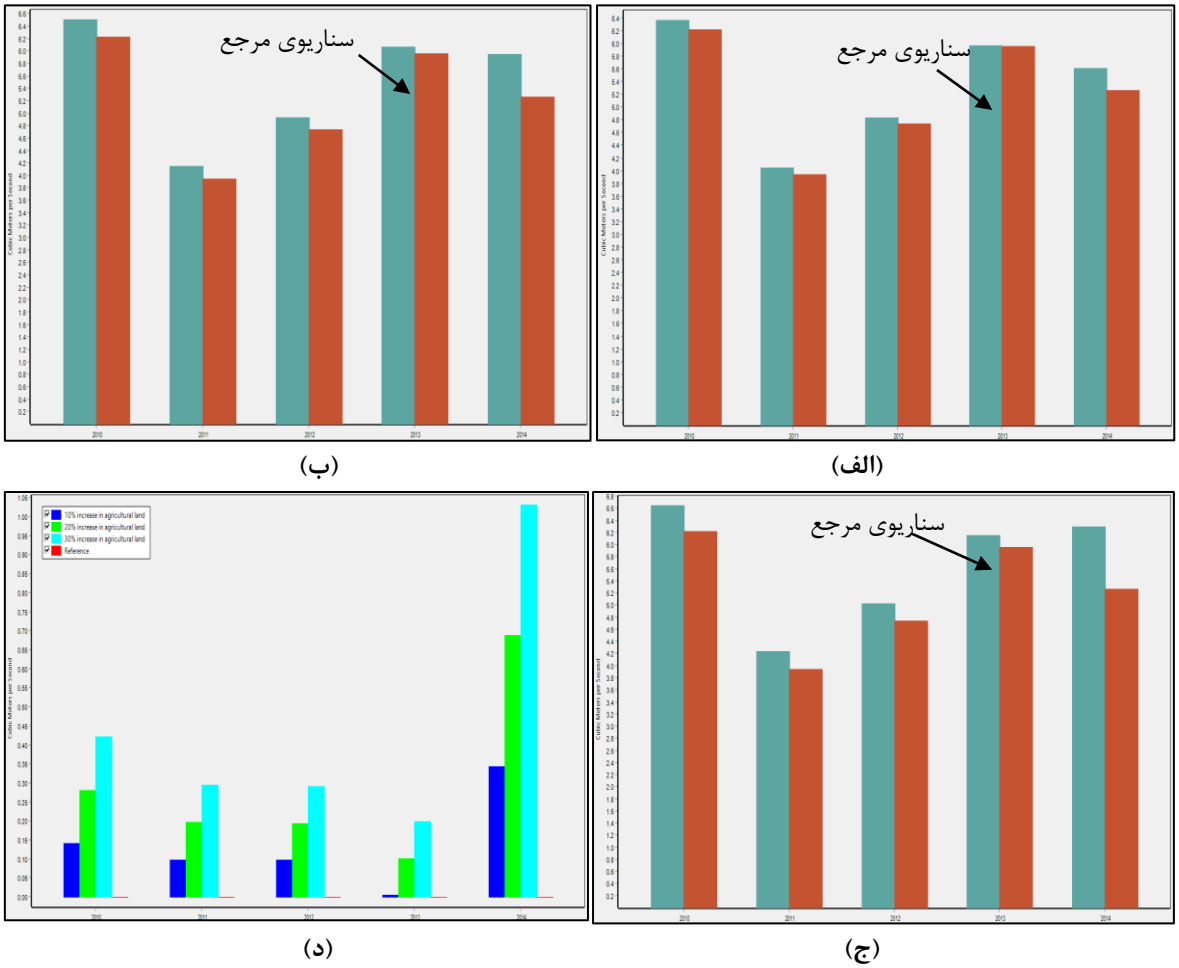


(الف) واسنجی (ب) اعتبارسنجی

شکل ۶- نمودار همبستگی دبی‌های مشاهداتی در مقابل شبیه‌سازی در ایستگاه‌های هیدرومتری پل بهرام‌لو

در بخش سناریوسازی که براساس سناریوی مرجع و شبیه‌سازی شرایط واقعی جهت برنامه‌ریزی برای وضعیت موجود و پیش‌بینی برای شرایط آینده انجام شد. نتایج شبیه‌سازی با اجرای سناریو ۱ در دشت اشنویه نشان داد: افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی سطح زیرکشت حوضه باعث کاهش متوسط جریان سالانه رودخانه گدار به‌ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۳۰ و ۰/۴۵ مترمکعب برثانیه می‌شود (شکل ۸). همچنین سبب افزایش به‌ترتیب ۸/۲، ۱۵/۳ و ۲۴/۵

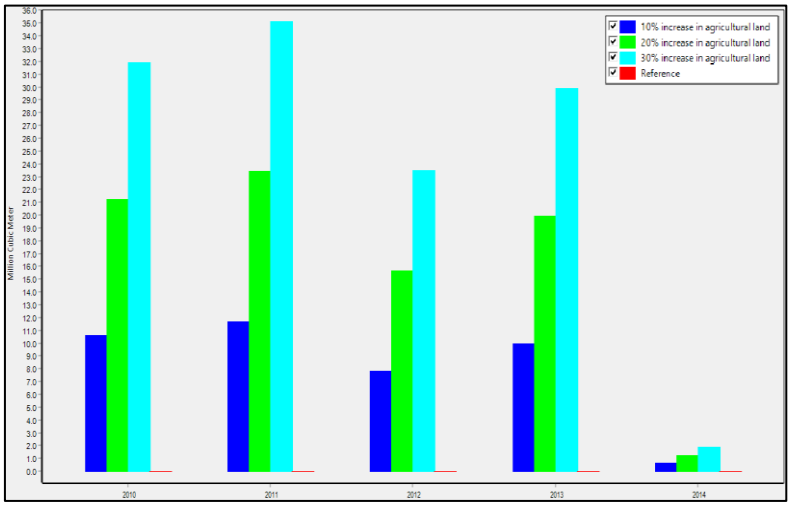
میلیون مترمکعب میزان مصرف آب منطقه می‌شود (شکل ۹). با توجه به اینکه متوسط آورد بلند مدت رودخانه گدار در ایستگاه نقده (واقع در خروجی دشت اشنویه) برابر ۱۱/۷۴ مترمکعب برثانیه می‌باشد، کاهش سالانه قریب به ۰/۵ مترمکعب برثانیه در بلند مدت ناشی از اضافه برداشت‌ها سبب از بین رفتن منابع آب منطقه خواهد شد.



(ب) (الف)

(د) (ج)

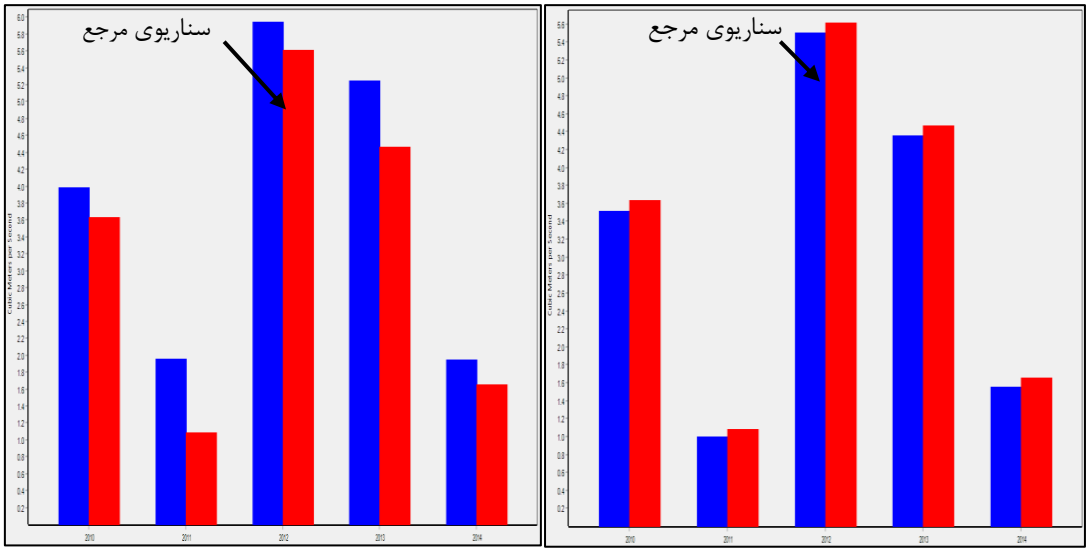
شکل ۸- متوسط سالانه رواناب خروجی از دشت پس از اعمال سناریوی اول نسبت به سناریوی مرجع، الف) سناریوی ۱۰ درصد افزایش، ب) سناریوی ۲۰ درصد افزایش، ج) سناریوی ۳۰ درصد افزایش و د) مقایسه تمام سناریوها با هم.



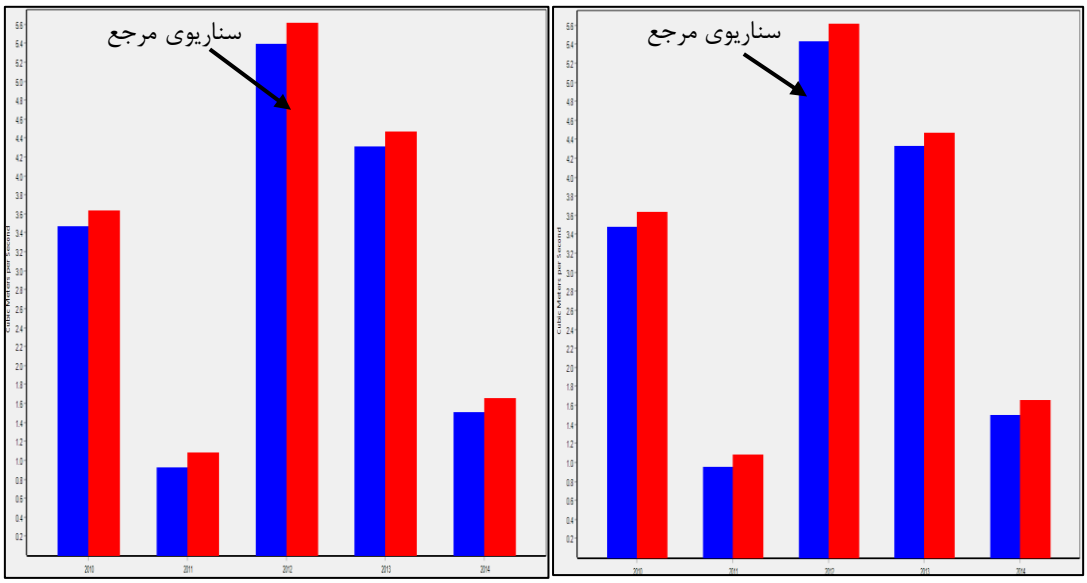
شکل ۹- تقاضای آب منطقه مورد مطالعه ناشی از اعمال سناریوی اول نسبت به سناریوی مرجع.

همچنین نتایج شبیه‌سازی با اجرای سناریو ۱ در دشت نقده نشان داد: کاهش ۱۶ درصدی سطح زیرکشت حوضه باعث می‌شود جریان رودخانه سالانه به‌طور متوسط ۰/۵۳ مترمکعب بر ثانیه افزایش بیابد (شکل ۱۰- الف)؛ و سبب کاهش سالانه ۱۸۷/۳۲ میلیون مترمکعب میزان مصرف آب منطقه می‌شود (شکل ۱۰- ب). همچنین سناریوهای افزایش ۱۰، ۱۶، ۲۰ و ۳۰ درصدی سطح زیرکشت منطقه باعث می‌شود به‌طور متوسط جریان سالانه رودخانه به‌ترتیب ۰/۱۰، ۰/۱۵، ۰/۱۷ و ۰/۲۲ مترمکعب برثانیه کاهش بیابد (شکل ۱۰- ج تا و).

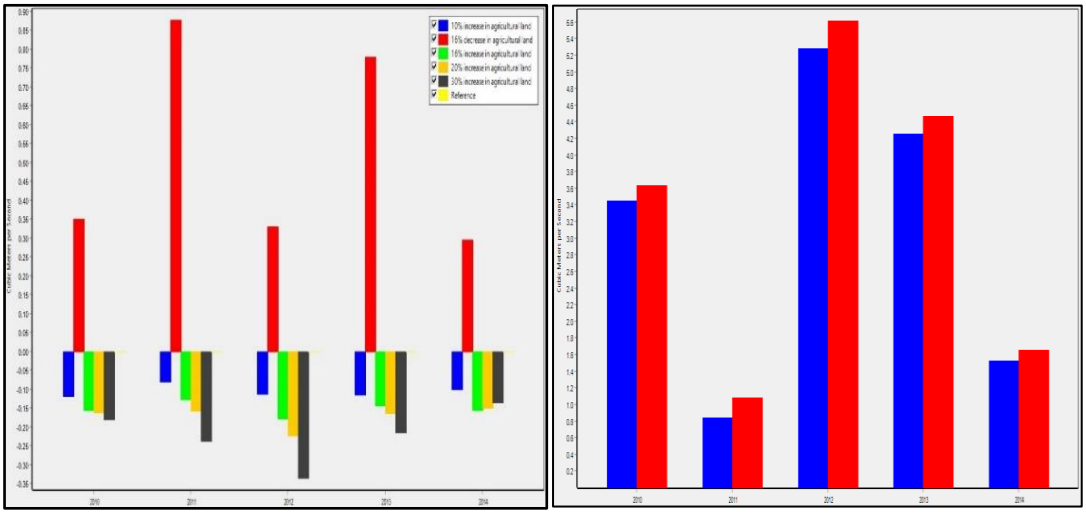
همچنین سبب کاهش سالانه ۶۳/۶۳، ۱۰۱/۸۰، ۱۲۷/۲۵ و ۱۹۰ میلیون مترمکعب میزان مصرف آب منطقه می‌شود (شکل ۱۱). اعمل این سناریو حساسیت‌پذیری منطقه به کشاورزی را نشان می‌دهد. به‌طوری که برای مقادیر مختلف افزایش سطح زیرکشت همواره کاهش جریان خروجی از دشت وجود دارد. بنابراین می‌توان گفت با مدیریت صحیح میزان تقاضای کشاورزی و جلوگیری از توسعه‌های بی‌رویه کشاورزی در منطقه به‌عنوان بزرگترین مصرف کننده آب منطقه، می‌توان منابع آب منطقه را مدیریت نمود.



(ب) (الف)

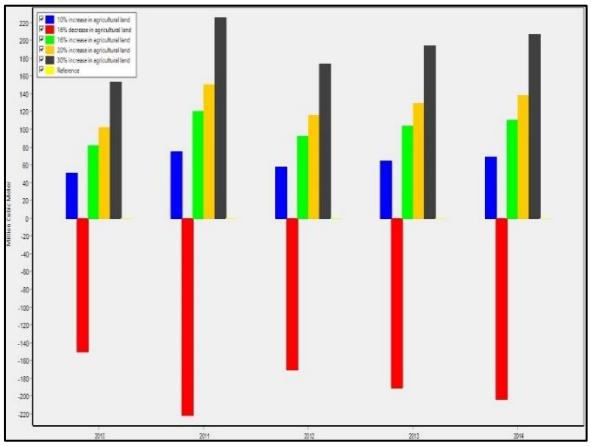


(د) (ج)



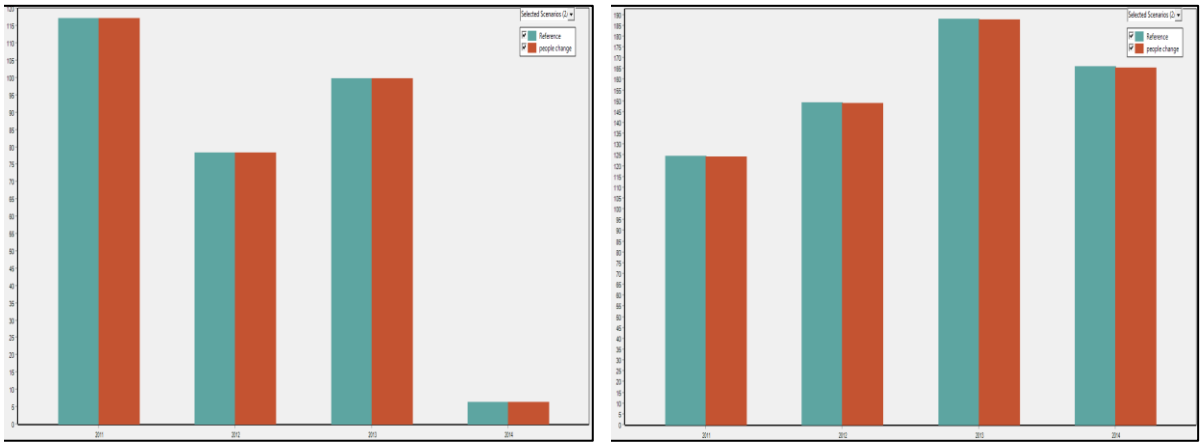
(و) (ه)

شکل ۱۰- رواناب خروجی از دشت پس از اعمال سناریوی اول نسبت به سناریوی مرجع، الف) سناریوی ۱۰ درصد افزایش، ب) سناریوی ۱۶ درصد کاهش، ج) سناریوی ۱۶درصد افزایش، د) سناریوی ۲۰ درصد افزایش، ه) سناریوی ۳۰ درصد افزایش و و) مقایسه تمام سناریوها با هم (خط صفر محور افقی بیانگر سناریوی مرجع است).



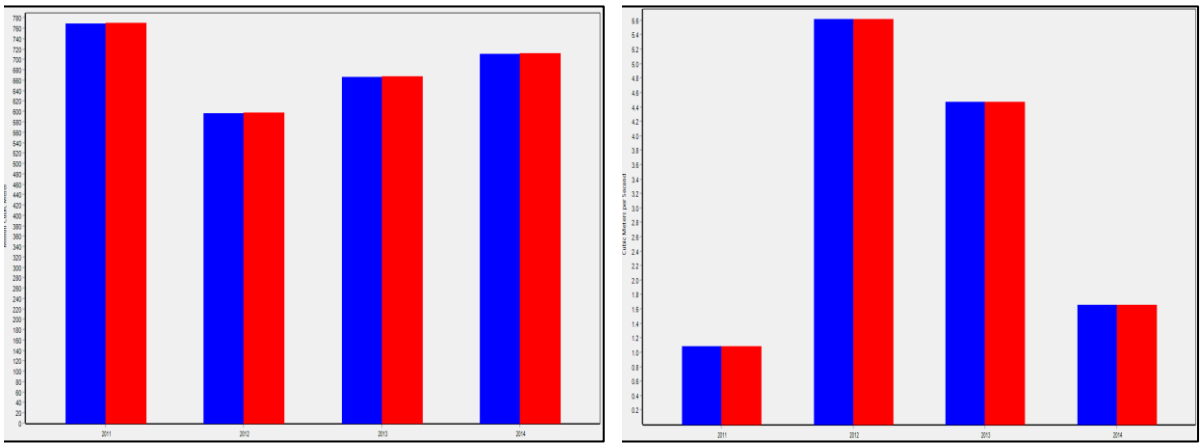
شکل ۱۱- تقاضای آب منطقه مورد مطالعه پس از اعمال سناریوی اول نسبت به سناریوی مرجع (خط صفر محور افقی بیانگر سناریوی مرجع است).

نتایج شبیه‌سازی با اجرای سناریو دوم در دشت‌های اشنویه و نقده نشان داد: اعمال این سناریو تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان تقاضای سرانه مصرف آب شهری مناطق مورد مطالعه ندارد (شکل‌های ۱۲و ۱۳). بنابراین می‌توان گفت روند توسعه جهانی و افزایش جمعیت منطقه تا میزان پنج درصد تأثیری بر منابع آب منطقه نداشته و منابع آب منطقه با وجود تغییر در شرایط مصرف جمعیتی کفایت لازم برای تامین نیازها را در این بخش دارد. مقایسه نتایج اجرای سناریوهای مطرح شده در مدل نشان می‌دهد؛ منطقه مورد مطالعه نسبت به هرگونه تغییر و توسعه در بخش کشاورزی حساسیت‌پذیری داشته، به‌طوری که برای مقادیر مختلف افزایش سطح زیرکشت همواره کاهش جریان خروجی از دشت وجود دارد. و هرگونه توسعه کشاورزی که منجر به افزایش برداشت شود سبب از بین رفتن منابع آب منطقه خواهد شد.



(ب) (الف)

شکل ۱۲- نمودارهای رواناب خروجی (الف) و تغییرات تقاضای آب (ب) دشت اشنویه پس از اعمال سناریوی تغییرات جمعیت نسبت به شرایط سناریوی مرجع



(ب) (الف)

شکل ۱۳- نمودارهای رواناب خروجی از دشت (الف) و میزان تقاضای آب (ب) دشت نقده پس از اعمال سناریوی تغییر جمعیت نسبت به سناریوی مرجع

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از نرم‌افزار WEAP، مدل بارش-رواناب به روش ضرایب ساده برای ارزیابی منابع آب دشت-های اشنویه و نقده استفاده شد نتایج نشان داد: افزایش سطح زیرکشت حوضه باعث کاهش متوسط جریان سالانه رودخانه و افزایش میزان مصرف آب در منطقه می‌شود؛ که نشان دهنده حساسیت‌پذیری منطقه نسبت به کشاورزی است. بنابراین می‌توان گفت منابع آب منطقه ظرفیت پذیرش اضافه برداشت از آن را نداشته و هرگونه توسعه کشاورزی که منجر به افزایش برداشت شود سبب از بین رفتن منابع آب منطقه خواهد شد. بنابراین مدیریت موثر آب برای تأمین استفاده پایدار از منابع آب با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی منطقه ضروری است. با توجه به این که دشت‌های اشنویه و نقده در زیرحوضه گدار چای از دشت‌های مهم حوزه آبخیز دریاچه ارومیه می‌باشند و برای اجتناب از بروز مشکلات آتی کمبود آب در این دشت‌ها، باید برای مدیریت صحیح منابع آب دشت‌ها باید تصمیمات اساسی توسط مدیران آبی منطقه اتخاذ شود. همچنین نتایج نشان داد مدل WEAP با داشتن قابلیت مدل‌سازی و کالیبراسیون جامع با اطلاعات تاریخی هیدرولوژیک و کشاورزی منطقه مورد مطالعه می‌تواند در مطالعات مدیریت حوضه‌های آبریز، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منابع آب، همچنین اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی برای احیای دریاچه ارومیه باشد.

منابع

۱) احمدآلی ج، بارانی غ.ع، حصاری ب، ۱۳۹۶. تحلیل اثر استراتژی‌های مدیریت آب در حوضه و شبکه آبیاری بر پایداری زیست‌محیطی و چالش آب برای غذا (مطالعه موردی: سیستم‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود). رساله دوره دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کرمان. ص: ۱-۱۳۰.

۲) اشرفی م.ف، زینال‌زاده ک، بشارت س، یاسی م، ۱۳۹۸. عملکرد مدل WEAP در شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضه آبخیز الند. اکوهیدرولوژی، ۶(۲): ۳۴۱-۳۵۲.

۳) امینی ع، جوان م، اقبالزاده ا، قاسمی م.ر، ۱۳۹۶. ارزیابی مدیریت منابع آب در حوضه گاماسیاب استان کرمانشاه با استفاده از مدل WEAP. مجله مهندسی منابع آب، ۱۰: ۱۳-۱۸.

۴) پیرنیا ت، زینالزاده ک، حصاری ب، ۱۳۹۲. بررسی الگوریتم های شبیه‌سازی حوضه در WEAP (مطالعه موردی حوضه آغ چای). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه.

۵) حصاری ب، خانی ج، سکوتی ر، نجفی ا، ۱۳۹۰. تهیه مدل بیلان آب خاک با استفاده از GIS (مطالعه موردی حوضه آبریز نازلو چای). موسسه فنی و مهندسی کشاورزی.

۶) شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی. ۱۳۹۰. بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی نقده.

۷) شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی، ۱۳۸۸. گزارش بیلان محدوده مطالعاتی اشنویه.

۸) محمدپور م، زینالزاده ک، رضاوردی‌نژاد و حصاری، ب، ۱۳۹۶. ارزیابی پاسخ‌های هیدرولوژیک حوضه آبریز به توسعه سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای). آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱۱): ۶۲۶-۶۳۵.

۹) محمدپور م، زینالزاده ک، رضاوردی‌نژاد و، حصاری ب، ۱۳۹۵. واسنجی و اعتبار سنجی مدل WEAP در شبیه‌سازی اثر تغییر سیستم‌های آبیاری روی پاسخ هیدرولوژیک حوضه آبریز اهرچای. اکوهیدرولوژی تهران. ۳(۳):۴۷۷-۴۹۰.

۱۰) محمدیان کبریا م، فضل اولی ر، عمادی ع، ۱۳۹۱. ارزیابی دو روش بارش-رواناب و رطوبت خاک با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: شهرستان ساری محدوده سد شهید رجایی). سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.

11) Anzab N.R, Mousavi S.J, Rousta B.A, Kim J.H, 2016. Simulation Optimization for Optimal Sizing of Water Transfer Systems. In Harmony Search Algorithm (pp. 365-375). Springer Berlin Heidelberg

12) Blanco-Gutiérrez I, Varela-Ortega C, Purkey D.R, 2013. Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: A hydro-economic modeling approach. Journal of environmental management, 128:144-160.

13) Blanco-Gutiérrez I, Varela-Ortega C, Purkey D.R, 2013. Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: A hydro-economic modeling approach. Journal of environmental management, 128:144-160.

14) Dimova G, Tzanov E, Ninov P, Ribarova M, Kossida M, 2014. Complementary use of the WEAP model to underpin the development of SEEAW physical water use and supply tables. Procedia Engineering, 70:563 –572.

15) Doherty J, Brebber L, Whyte P, 1995. PEST: Model-Independent Parameter Estimation. Australian Centre for Tropical Freshwater Research, James Cooke University, Townsville, Australia, 140 pp.

16) 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.

17) Harma K.J, Johnson M.S, Cohen S.J, 2012. Future water supply and demand in the Okanagan Basin, British Columbia: a scenario-based analysis of multiple, interacting stressors. Water Resources Management, 26(3):667-689.

18) Ingol-Blanco E, McKinney, D, 2012. Development of a Hydrologic Model for the Rio Conchos Basin,. Journal of Hydrologic Engineering, accepted, Posted ahead of print 15.

19) Ingol-Blanco E. McKinney D.C, 2012. Development of a hydrological model for the Rio Conchos Basin. Journal of Hydrologic Engineering, 18(3):340-351.

20) Loucks D.P, Van Beek E, Stedinger J.R, Dijkman J.P, Villars M.T, 2005. Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications. Paris: Unesco.

21) Singh M, Singh R, Bhodoriya PBS, Shinde V, Mishra A, Narwade A.V, Pradhan S, 2016. Integration with Remote sensing and GIS Catchment Scale Hydrological Modeling in Middle Reach of Mahanadi River Basin using Simplified Coefficient Model. International Journal of Tropical Agriculture © Serials Publications, 34(7):2011-2018.

22) Singh R, Jhorar R.K, van Dam J.C, Feddes R.A, 2006. Distributed ecohydrological modelling to evaluate irrigation system performance in Sirsa district, India II: Impact of viable water

management scenarios. Journal of Hydrology, 329:714-723.