

## واسنجی و اعتبارسنجی مدل WEAP21 برای حوضه‌های آبریز زرينه‌رود و سيمينه‌رود

جمال احمدآلی<sup>۱\*</sup>، غلامعباس بارانی<sup>۲</sup>، کورش قادری<sup>۳</sup>، بهزاد حصاری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

۲. استاد بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

۳. دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

۴. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه

( تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۰/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۴ )

### چکیده

امروزه برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم‌های منابع آب شامل پیش‌بینی اثرات نیز می‌باشد. پیش‌بینی اثرات مستلزم مدل‌سازی است. در این تحقیق واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی WEAP21 بر روی حوضه‌های آبریز زرينه‌رود و سيمينه‌رود مورد بررسی قرار گرفته است. رودخانه‌های زرينه‌رود و سيمينه‌رود با پتانسیل آبدهی حدود ۳ میلیارد مترمکعب در سال، سهمی حدود ۵۰ درصدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را دارا می‌باشند. در این تحقیق از روش رطوبت خاک برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل WEAP21 استفاده شد. یک دوره آماری ۱۱ ساله (از سال آبی ۷۴-۱۳۷۳ تا ۸۴-۱۳۸۳) برای واسنجی مدل در نظر گرفته شد. ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین، ضریب نش- ساتکلیف و شاخص تطابق نشان داد که برای ایستگاه هیدرومتری ورودی سد بوکان مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۹۰، ۰/۸۳ و ۰/۹۵، برای ایستگاه هیدرومتری نظام آباد مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۷۴ و ۰/۹۲، برای ایستگاه هیدرومتری داشبند مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۱، ۰/۸۲ و ۰/۹۵ و برای ایستگاه هیدرومتری پل میان‌دوآب مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۷۵ و ۰/۹۲ می‌باشد. برای اعتبارسنجی مدل، یک دوره ۹ ساله (از سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۳-۱۳۹۲) در نظر گرفته شد. نتایج برای این دوره نشان داد که برای ایستگاه هیدرومتری ورودی سد بوکان مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰/۸۵ و ۰/۹۶، برای ایستگاه هیدرومتری نظام آباد مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۶، ۰/۸۵ و ۰/۹۶ و برای ایستگاه هیدرومتری داشبند مقادیر شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۰، ۰/۷۸ و ۰/۹۳ می‌باشد. به‌طور کلی ارزیابی نتایج شبیه‌سازی، عملکرد خوب مدل را نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی، روش رطوبت خاک، دریاچه ارومیه، شبکه آبیاری زرينه‌رود (میان‌دوآب)

### مقدمه

بسیاری از مناطق در جهان با چالش‌های قابل توجه در مدیریت آب‌های شیرین روبرو هستند. تخصیص منابع محدود آب، کیفیت محیط‌زیست و سیاست‌های استفاده پایدار از آب، مسائلی هستند که نگرانی در مورد آن‌ها رو به افزایش است (Stockholm Environment Institute (SEI), 2016).

چالش‌افزای شدید سطح آب دریاچه ارومیه، نیازمند شناخت رفتار هیدرولوژیکی زیرحوضه‌های مهم و تأثیرگذار بر آن است. پیچیدگی حوضه‌ها از نظر المان‌های ساختاری و اثر متقابل هر کدام در تولید آبدهی مستلزم استفاده از مدل‌های ریاضی قوی است.

برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم‌های منابع آب

امروزه شامل پیش‌بینی اثرات نیز می‌باشد. پیش‌بینی اثرات مستلزم مدل‌سازی است (Loucks et al., 2005). نمایش مناسب فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه آبریز اساس پیش‌بینی تغییرات در پاسخ دینامیکی یک سیستم هیدرولوژیکی متشکل از مجموعه‌ای از اجزای مرتبط شامل بارش، تبخیر- تعرق، نفوذ، جریان پایه، آب زیرزمینی و رواناب است. مدل‌های ساده یا پیچیده برای نشان دادن رفتار این مولفه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ingol-Blanco and McKinney, 2013).

برای مدیریت مناسب رویدادهای هیدرولوژیکی ابتدا لازم است درک درستی از رفتار طبیعی سیستم‌های هیدرولوژیکی وجود داشته باشد. در دهه‌های گذشته با رشد قابلیت‌های نرم-افزاری، امکان توسعه مدل‌های رایانه‌ای فراهم شده است که به

\* نویسنده مسئول : jamalahmadaali@gmail.com

بود. سناریوهای مدیریتی ایشان عبارت بودند از: (۱) تغییر الگوی مصرف، (۲) مدیریت بهتر سیستم، و (۳) توسعه منابع جدید آب.

(Abrishamchi *et al.*, 2007) با استفاده از مدل WEAP

سناریوهای مدیریت منابع آب حوضه آبریز رودخانه کرخه را مورد ارزیابی قرار دادند. شاخص‌های مدیریت و توسعه منابع آب مورد ارزیابی به شرح زیر بود: ۱- مدیریت تقاضا در بخش‌های خانگی و صنعت، ۲- بهره‌برداری از مخزن، ۳- افزایش راندمان آبیاری، ۴- تغییر اولویت‌های تخصیص آب، ۵- گسترش اراضی آبی و ۶- افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی. نتایج نشان داد که مدیریت تقاضا و افزایش راندمان آبیاری اثرات مهمی بر روی پوشش تقاضای آب داشتند، بنابراین ترکیبی از مدیریت تقاضا، افزایش راندمان آبیاری و بهره‌برداری از سدهای در حال ساخت پیشنهاد می‌گردد.

(McCartney *et al.*, 2010) در پروژه‌های تحقیقاتی،

وضعیت جاری و آینده توسعه منابع آب در حوضه دریاچه تانا واقع در کشور اتیوپی را با استفاده از مدل WEAP مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعه ایشان شامل سه مؤلفه بود: (۱) ارزیابی جریان زیست‌محیطی؛ (۲) تجزیه و تحلیل ذی‌نفعان از تأثیر زیرساخت‌های فعلی و مدیریت آب؛ و (۳) مدل‌سازی کامپیوتری توسعه منابع آب در آینده. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که توسعه منابع آب موجود، برای تولید انرژی برقی، جریان در پایین‌دست دریاچه را تغییر داده و باعث کاهش سطح آب دریاچه شده است. طرح‌های توسعه، فشار بر دریاچه را تشدید خواهد کرد. اگر تمام طرح‌های توسعه اتفاق بیفتند، متوسط تراز سطح دریاچه ۰/۴۴ متر افت خواهد کرد و متوسط مساحت دریاچه ۳۰ کیلومتر مربع (یا ۱ درصد) تا ۸۱ کیلومتر مربع (یا ۲/۶ درصد) در بعضی از فصول خشکسالی کاهش خواهد یافت. بدون مدیریت دقیق این تغییرات به احتمال زیاد به عواقب شدید زیست‌محیطی و اجتماعی منجر خواهد شد. انتخاب‌های سختی باید در مورد چگونگی بهترین استفاده از آب گرفته شود. مهم این است که همه ذی‌نفعان، از جمله مردم محلی، در فرایند تصمیم‌گیری دخیل و از سرمایه‌گذاری بهره‌مند شوند.

(De Condappa *et al.*, 2009) در تحقیقی حوضه آبریز

ولتا را با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی کردند. نتایج ارزیابی شبیه‌سازی مدل نشان داد که ضریب نش- ساتکلیف برای ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف بین ۰/۵۶ تا ۰/۸۶ متغیر می‌باشد.

(Blanco 2010) در تحقیقی استفاده از ترکیب مدل

WEAP با مدل بهینه‌سازی GAMS آنالیز هیدرولوژیکی- اقتصادی راهبردهای مدیریت آب را برای برقراری تعادل بین آب برای طبیعت (حفاظت از تالاب‌ها) و آب برای غذا بر روی حوضه

نوبه خود نقش مؤثری در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب و کمک به تصمیم‌گیری مدیران این عرصه داشته است. رسالت این مدل‌ها آگاه ساختن تصمیم‌گیران از عواقب اجرای سیاست‌های مدیریتی مختلف است (Kermanshahi *et al.*, 2013).

به طور کلی، مدل‌های هیدرولوژی بر روی درک چگونگی جریان آب در داخل یک حوضه آبریز در پاسخ به رویدادهای هیدرولوژیکی متمرکزند، در حالی که مدل‌های برنامه‌ریزی منابع آب در درجه اول بر روی مدیریت تخصیص آب متمرکزند (به عنوان مثال: تصمیم‌گیری در مورد عرضه و تقاضا). ادغام این دو مولفه از طریق یک چارچوب تحلیلی واحد امکان‌پذیر است. این چارچوب مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب نسخه ۲۱ (WEAP21) بوده که پلی برای فاصله بین هیدرولوژی حوضه و مدیریت آب با ترکیب فرآیند هیدرولوژیکی فیزیکی در چارچوب مدیریت آب می‌باشد (Yates *et al.*, 2009).

مدل‌های شبیه‌سازی متعارف عرضه‌گرا یا منبع‌گرا که بر اساس رویکرد مدیریت منابع آب کار می‌کنند؛ همواره برای بررسی طیف گسترده‌ای از گزینه‌های مدیریت کافی نبوده است. در طول دهه‌های اخیر، رویکرد یکپارچه‌نگری در مورد توسعه منابع آب مطرح شده و در نظر گرفتن طرح‌های تأمین آب را در چارچوب مسائل مربوط به مدیریت مصرف، کیفیت آب و حفاظت از اکوسیستم‌ها ضروری ساخته است. WEAP با هدف دخیل کردن این مقادیر (مدیریت مصرف، کیفیت آب و حفاظت از اکوسیستم) در یک ابزار کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب توسعه داده شده است. مزیت اصلی WEAP، در رویکرد یکپارچه منابع آب 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. WEAP آزمایشگاهی برای امتحان کردن راهبردهای متنوع توسعه و مدیریت آب است (Stockholm Environment Institute (SEI), 2016).

(Raskin *et al.*, 1992) در تحقیقی برای بررسی دلایل

کاهش سطح آب دریاچه آرال از مدل WEAP استفاده کردند. مشکل اصلی، کاهش تراز آب دریاچه آرال در اثر برداشت‌های بی‌رویه آب و توسعه کشاورزی در بالادست بود. در این راستا با استفاده از مدل WEAP مطالعه‌ای صورت گرفت که هدف آن ارزیابی وضعیت موجود بیلان آب و تحلیل سناریوهای مدیریتی

چهار سناریو مورد ارزیابی قرار گرفت که شامل سناریوهای کاهش سطح زیر کشت گیاهان پرمصرف به ترتیب کاهش ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصدی گیاهان پرمصرف می‌باشد و سناریو برگزیده سناریو SC2 (کاهش ۱۰۰ درصد سطح زیر کشت گیاهان پرمصرف) بود که از نظر تامین و اعتمادپذیری تامین نیازهای آبی و حداکثر حجم آب نگهداری شده در مخزن در طول سال نسبت به بقیه سناریوها شرایط بهتری را برای مخزن سد در دوران خشکسالی به همراه دارد.

Farajzadeh *et al.* (2014) در تحقیقی اثر تغییر اقلیم بر اطمینان‌پذیری تأمین آب پایین‌دست سد کرخه و راهکارهای سازگاری با آن را با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. سه استراتژی مدیریتی افزایش راندمان آبیاری، استفاده مجدد آب و تغییر الگوی کشت برای سازگاری با تغییر اقلیم ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ساخت سدهای جدید به دلیل افزایش تخصیص آب در بالادست، می‌تواند اطمینان‌پذیری تأمین آب کشاورزی پایین‌دست سد کرخه را تا کمتر از ۷۰ درصد کاهش دهد. هم‌چنین استفاده مجدد از آب، با اطمینان‌پذیری ۹۱ درصد، به عنوان موثرترین راهکار برای سازگاری با تغییرات اقلیمی شناخته شد. هر چند تغییر الگوی کشت روشی کم هزینه‌تر است، لیکن اجرای آن منوط به همکاری کشاورزان می‌باشد.

Yazdanpanah *et al.* (2008) در تحقیقی از مدل WEAP جهت برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه و تقاضا در حوضه آبریز ازغند واقع در استان خراسان رضوی استفاده کردند. منبع اصلی تأمین آب در این حوضه آب زیرزمینی می‌باشد. در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه تحت مطالعه در محیط مدل‌سازی، سناریوهای مختلفی تا سال ۱۴۰۰ اعمال شد و تأثیر آن بر وضعیت عرضه و تقاضا در منطقه، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، می‌توان به شرایط تعادل آب زیرزمینی دست یافت. همچنین با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت فشار در صورت کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، تا حدودی می‌توان ذخیره آب زیرزمینی را افزایش داد ولی در صورتی که استفاده از سیستم‌های تحت فشار با افزایش سطح زیر کشت همراه باشد افت آب زیرزمینی تشدید خواهد شد.

Dehghan *et al.* (2015) در تحقیقی برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مدیریتی در حوضه گرگانرود را با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در برنامه‌ریزی جدید تخصیص منابع آب حوضه گرگانرود می‌توان با پذیرفتن ۵ درصد کاهش اعتمادپذیری سیستم، نیاز صنعت حاشیه سد وشمگیر را به میزان ۹/۵ میلیون متر مکعب

آبریز گوادیانا واقع در کشور اسپانیا انجام داد. نتایج نشان داد که در دوره خشکسالی‌های طولانی مدت (پیش‌بینی افزایش دما بین ۱/۵ تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی بارش-ها تا سال ۲۰۵۰)، با کاهش آب در دسترس و افزایش تقاضای آب آبیاری تنش‌ها بر روی کشاورزی، منابع اراضی و منابع آب تشدید خواهد شد. هم‌چنین ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل ایشان برای دوره واسنجی نشان داد که ضریب نش-ساتکلیف برای ایستگاه‌های هیدرومتری بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۸ متغیر می‌باشد.

Ingol-Blanco and McKinney (2013) در تحقیقی مدل WEAP را برای حوضه آبریز ریو کانچوس<sup>۱</sup> توسعه دادند. نتایج برای دوره واسنجی نشان داد که ضریب نش-ساتکلیف و شاخص تطابق برای ایستگاه هیدرومتری اجیناگا به ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۹۷ و برای ایستگاه هیدرومتری لابوکیولا به ترتیب برابر ۰/۸۱ و ۰/۹۵ و برای دوره اعتبارسنجی ضریب نش-ساتکلیف و شاخص تطابق برای ایستگاه هیدرومتری اجیناگا به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۰/۹۷ و برای ایستگاه هیدرومتری لابوکیولا به ترتیب برابر ۰/۶۰ و ۰/۹۱ می‌باشد.

Singh *et al.* (2014) در تحقیقی با استفاده از مدل WEAP، مدل‌سازی بارش-رواناب را برای حوضه رودخانه ماهانادی<sup>۲</sup> در هندوستان انجام دادند. نتایج برای ۶ ایستگاه هیدرومتری نشان داد که اختلاف بین مقادیر دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

Malmir *et al.* (2016) در تحقیقی با استفاده از مدل WEAP، تأثیر تغییرات اقلیم بر تخصیص آب کشاورزی در سطح حوضه قره سو را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مدل اقلیمی، نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره مورد نظر (۲۰۴۰-۲۰۱۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) می‌باشد. بطوری‌که تحت سناریوی اقلیمی A2، افزایش ۱/۶ درجه سانتی-گراد دما و کاهش ۱/۷۷ درصد بارندگی در منطقه و به تبع این افزایش دما و کاهش بارندگی، برای رودخانه قره سو نیز ۳۲/۶۲ درصد کاهش آبدی پیش‌بینی می‌شود. بررسی نتایج مدل WEAP، تحت سناریوهای اقلیمی، در وضعیت سطح زیر کشت کنونی، نشان‌دهنده افزایش نیاز تأمین نشده بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در دوره آتی می‌باشد.

Movahediyani Attar and Samadi Broojeni (2013) عملکرد شبکه‌های آبیاری سد زاینده‌رود در دوره خشکسالی را با استفاده از مدل WEAP مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق

1- Rio Conchos Basin  
2- Mahanadi River Basin

نقش بسزایی در کاهش تقاضای آب کشاورزی، و در نتیجه کاهش برداشت از منابع آب منطقه داشته باشند.

در جوامع در حال توسعه، منابع آب حوضه‌های آبریز به طور فزاینده‌ای برای مقاصد کشاورزی، شرب و صنعت کنترل، منحرف و مصرف می‌شود. این مسئله موجب کاهش توانایی تامین تقاضای در حال رشد برای بخش‌ها و منافع مختلف می‌شود (Falkenmark and Molden, 2008). حفظ کشاورزی آبی برای رفع نیازهای تولید مواد غذایی همزمان با حفظ اکوسیستم‌های آبی موضوع بحث داغ در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Blanco-Gutiérrez et al., 2013). برای افزایش تولید محصولات کشاورزی، آب بیشتر در دسترس نیست. از این رو یکی از مشکلات ملی جامعه ما که در آینده حادث‌تر نیز خواهد شد، کمبود آب در بخش‌های مصرف‌کننده آب، به‌خصوص بخش کشاورزی، تأمین امنیت غذایی از منابع محدود آب و چالش کاهش ناگزیر سهم آب بخش کشاورزی برای تأمین آب مورد نیاز محیط زیست است (Heydari, 2014).

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی کشور و دومین دریاچه آب شور جهان، در سال‌های اخیر به علت توسعه کشاورزی، بهره‌برداری‌های بیش از حد استان‌های ذی‌نفع حوضه از رودخانه‌های جاری به دریاچه، پایین بودن بازده کشاورزی و تغییر اقلیم با شرایط بحرانی رو به رو شده است. جلوگیری از نابودی این دریاچه در صورتی امکان‌پذیر خواهد بود که برنامه‌ریزی اصولی و درستی در بهره‌برداری از منابع تأمین‌کننده آب دریاچه تدوین و اجرا شود. با توجه به اینکه حوضه‌های آبریز زرینه‌رود و سیمینه‌رود سهمی حدود ۵۰ درصدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را دارا می‌باشند، در سال‌های اخیر و با گسترش و توسعه بهره‌برداری از این منابع، کارکرد تأمین حبابه دریاچه ارومیه را از دست داده و جزء کانون‌های بروز بحران در دریاچه قلمداد شده‌اند (Yekom Consulting Engineers, 2015). در چنین شرایطی یک روش شبیه‌سازی که علاوه بر در نظر گرفتن مطلوبیت مصرف‌کنندگان مختلف حوضه و نیازهای زیست‌محیطی، توانایی مدل‌سازی اولویت‌های متفاوت برای بخش‌های ذی‌نفع را داشته باشد، یک راه‌حل مناسب برای تصمیم‌گیری در بهره‌برداری بهینه از منابع آب این حوضه‌ها می‌باشد.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز زرینه‌رود و سیمینه‌رود به عنوان دو زیر حوضه اصلی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با لحاظ سازه‌های تنظیم‌کننده مثل مخازن سد، شبکه آبیاری، اثر متقابل آب‌های سطحی و زیرزمینی و رفتار میان حوضه‌ها با استفاده از روش رطوبت خاک

تأمین کرد. در نظر نگرفتن رسوب‌گذاری مخزن در مدل‌سازی، میزان اعتمادپذیری سیستم را به میزان قابل توجهی کاهش داد. لحاظ نمودن کاهش رسوب‌گذاری در مخزن (هر پنج سال به میزان ۱ میلیون متر مکعب) از یک‌طرف و افزایش راندمان آبیاری از طرف دیگر می‌تواند اعتمادپذیری سیستم را در برنامه‌ریزی حفظ کند.

(Shafaei et al., 2014) در تحقیقی با استفاده از مدل WEAP تأثیرات تغییر اقلیم بر بهره‌برداری از مخازن سطحی حوضه گرگانرود را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از سناریوی تغییر اقلیم و مدل WEAP تغییرات بیلان آبی مخازن و مقادیر تخصیص در دوره (۱۴۱۴-۱۳۹۰) در گره‌های مصرف، بررسی شد. بنابر نتایج به‌دست‌آمده، میانگین تخصیص از ۹۲ به ۹۰ درصد و میانگین ذخایر مخازن نیز حدود ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت.

(Ghandhari et al., 2015) در تحقیقی سناریوهای تخصیص بهینه آب رودخانه بار نیشابور با استفاده از مدل WEAP تحت سناریوی اقلیمی A2 را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق وضعیت منابع آب حوضه در سه بخش کشاورزی، صنعت و شرب با استفاده از مدل WEAP در شرایط تغییر اقلیم در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ میلادی و تحت سناریوهای افزایش سطح زیرکشت، پیشرفت صنعتی و افزایش جمعیت ارزیابی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش دما در ایستگاه اریه به اندازه ۰/۳ درجه سلسیوس و کاهش بارندگی ۳/۹ و ۸/۷۵ درصد به ترتیب در ایستگاه‌های اریه و طاقان می‌باشد. تحت این شرایط شاهد افزایش نیاز آبی در بخش کشاورزی و صنعت، به طوریکه بیشترین درصد کمبود آب در بخش کشاورزی (۱۲ درصد)، سپس در بخش صنعت (۲ درصد) می‌باشد و در نهایت در بخش نیاز شرب با کمبود مواجه خواهد شد.

(Kermanshahi et al., 2013) در تحقیقی با استفاده از مدل WEAP تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه وضعیت منابع آب و تقاضاهای آبیاری دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی اثرات راهبردهای مذکور، سناریوهایی با عناوین تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت و سناریوی ترکیبی (ترکیب این دو راهکار) مطرح شد و سپس برای یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی انجام گرفت. نتایج نشان دادند که با اعمال این سناریوها، میانگین سالانه نیاز آبیاری به ترتیب حدود ۹، ۱۰ و ۱۸ درصد کمتر خواهد شد، و متعاقباً از رقم میانگین کسری سالانه مخزن به ترتیب ۱۳، ۸ و ۱۸ درصد کاسته می‌شود؛ به بیانی دیگر این راهبردها می‌توانند

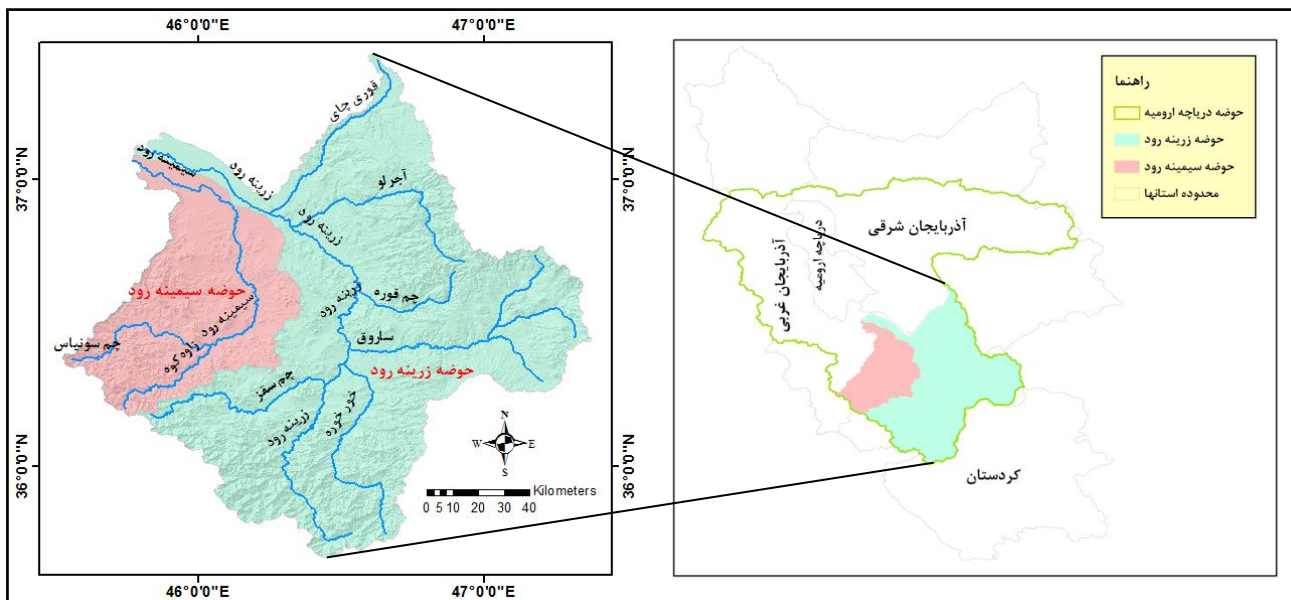
آبریز دریای خزر محصور می‌گردد (شکل ۱). رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود با پتانسیل آبدهی حدود ۳ میلیارد متر مکعب در سال، از جمله رودخانه‌های پر آب کشور محسوب می‌شوند که به همراه پتانسیل‌های طبیعی و اجتماعی متعدد، موجب توسعه فعالیت‌های کشاورزی در دشت‌های آبخور حوضه خود شده‌اند. احداث شبکه‌های آبیاری چون زرینه‌رود (میان‌دوآب) و ... به همراه مخازن سدهایی مانند شهید کاظمی بوکان امکاناتی را در سطح حوضه ایجاد نموده‌اند که در حال حاضر در حدود ۱۳۰۰۰۰ هکتار از اراضی حوضه تحت کشت آبی به صورت سنتی و مدرن قرار گیرد.

در نرم‌افزار WEAP21 (Yates et al., 2005a, b) در مبحث بارش- رواناب است.

## مواد و روش‌ها

### تشریح منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه زرینه‌رود- سیمینه‌رود در جنوب و جنوب شرقی دریاچه ارومیه واقع شده و از نظر وسعت بزرگ‌ترین زیرحوضه از حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. حدود جغرافیایی آن از شمال به زیر حوضه صوفی‌چای و دریاچه ارومیه، از غرب به حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان و از شرق به حوضه



شکل ۱. موقعیت حوضه‌های آبریز زرینه‌رود و سیمینه‌رود

زرینه‌رود نیز شناخته می‌شود. این سد در استان آذربایجان غربی و در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بوکان قرار گرفته و بند انحرافی نورولو در ۷۰ کیلومتری پایین دست سد مخزنی ساخته شده است و آب مورد نیاز کشاورزی جلگه میان‌دوآب و بخشی از دشت‌های بناب و ملکان را تامین می‌کند (Safari et al., 2014). رودخانه سیمینه‌رود از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که در جنوب آذربایجان غربی و در غرب حوضه آبریز زرینه‌رود جریان دارد. طول رودخانه حدود ۲۰۰ کیلومتر و مساحت حوضه آبریز آن ۳۷۸۵ کیلومتر مربع می‌باشد (Zaman et al., 2016).

### معرفی مدل

WEAP یک پلاتفرم مدل‌سازی است که قادر به ارزیابی یکپارچه‌ای از اقلیم، هیدرولوژی، کاربری اراضی، تأسیسات

حوضه آبریز رودخانه زرینه‌رود، یکی از قطب‌های کشاورزی ایران و بزرگ‌ترین زیرحوضه حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. این حوضه آبریز با گستره‌ای بالغ بر ۱۱۸۴۰ کیلومتر مربع در شمال غربی ایران واقع شده است. از نظر تقسیمات کشوری این زیر حوضه در محدوده استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و زنجان قرار گرفته، ولی بیشترین سهم این زیرحوضه متعلق به استان آذربایجان غربی می‌باشد. رودخانه زرینه‌رود از کوه‌های چهل چشمه کردستان سرچشمه می‌گیرد و از گوشه جنوب شرقی به دریاچه ارومیه می‌ریزد. طول رودخانه ۲۴۰ کیلومتر است و میانگین آبدهی این رودخانه ماهانه ۱۳۹/۵ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. بر روی رودخانه زرینه‌رود سد مخزنی شهید کاظمی بوکان در سال ۱۳۵۰ ساخته شده است که به نام سد

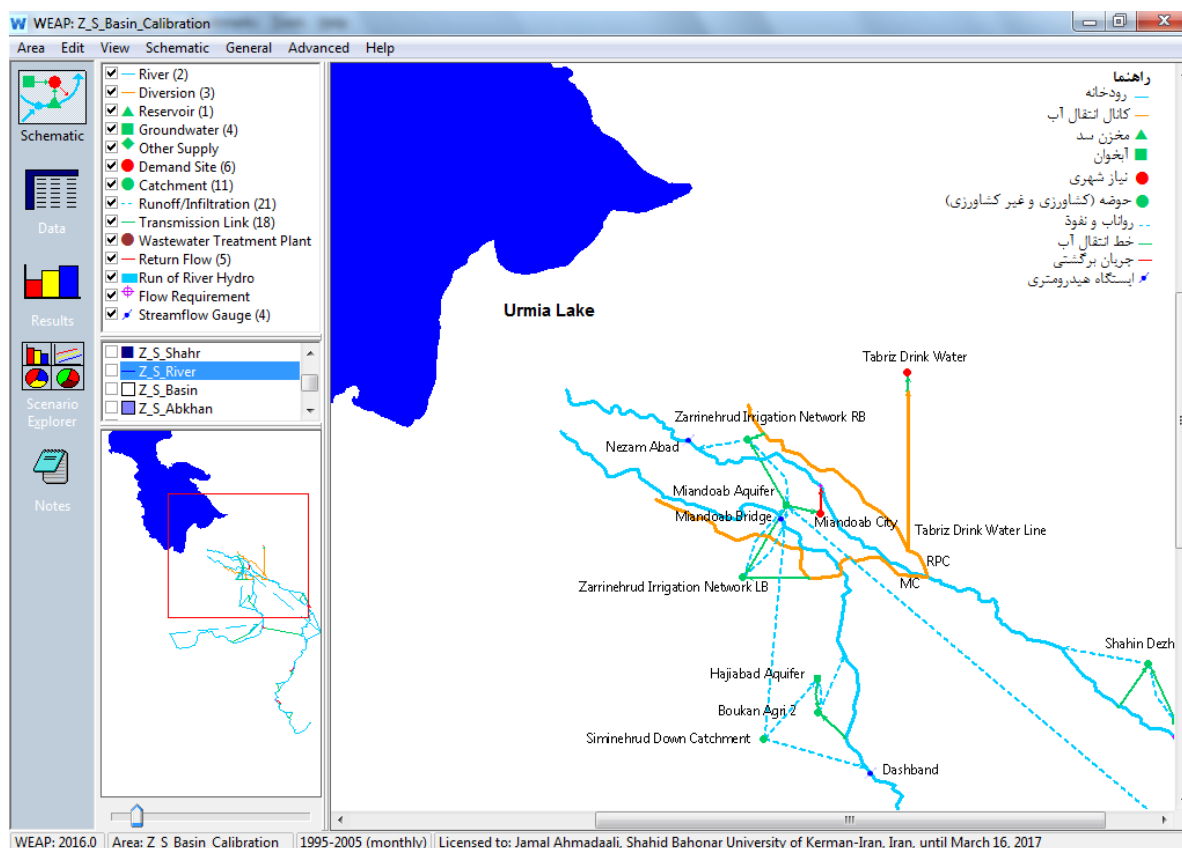
کانال انحراف آب (کانال ساحل راست شبکه آبیاری زرينه‌رود (RPC)، کانال ساحل چپ شبکه آبیاری زرينه‌رود (MC) و کانال منشعب از کانال ساحل راست شبکه آبیاری زرينه‌رود جهت آب شرب تبریز)، ۱ مخزن سد (سد شهید کاظمی بوکان)، ۴ آبخوان (آبخوان‌های میان‌دوآب، شاهین‌دژ، بوکان و حاجی‌آباد)، ۶ نقاط نیاز (آب شرب شهرستان‌های تکاب، سقز، بوکان، شاهین‌دژ، میان‌دوآب و تبریز)، ۱۱ حوضه (۴ حوضه غیر کشاورزی شامل بالادست و پایین‌دست زرينه‌رود و بالادست و پایین‌دست سيمينه‌رود و ۷ حوضه کشاورزی شامل تکاب، سقز، شاهین‌دژ، بوکان ۱، بوکان ۲، ساحل راست شبکه آبیاری زرينه‌رود و ساحل چپ شبکه آبیاری زرينه‌رود)، ۲۱ خط رواناب و نفوذ، ۱۸ خط انتقال آب، ۵ خط جریان آب برگشتی (از آب شرب شهرستان‌ها) و ۴ ایستگاه هیدرومتری (شامل ورودی سد بوکان و نظام آباد واقع بر روی رودخانه زرينه‌رود و داشبند بوکان و پل میان‌دوآب واقع بر روی رودخانه سيمينه‌رود) می‌باشد.

در این تحقیق از روش رطوبت خاک مدل WEAP برای مدل‌سازی واکنش هیدرولوژیکی حوضه‌ها استفاده گردید.

آبیاری و اولویت‌های مدیریت آب حوضه آبریز می‌باشد. مدل WEAP، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تأمین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر قیود می‌باشد. تمامی قیود بطور 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 (Yates et al., 2005a, b). با استفاده از سری‌های زمانی اقلیم، مدل WEAP مولفه‌های چرخه هیدرولوژیکی را با شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب در سطح حوضه آبریز محاسبه می‌کند (Esteve et al., 2015).

### ساختار مدل منطقه مورد مطالعه

مدل برای حوضه‌های آبریز زرينه‌رود و سيمينه‌رود با استفاده از نرم‌افزار ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP21) ساخته شد. قسمتی از شماتیک مدل در شکل (۲) نشان داده شده است. این مدل‌سازی شامل ۲ رودخانه اصلی (زرينه‌رود و سيمينه‌رود)، ۳



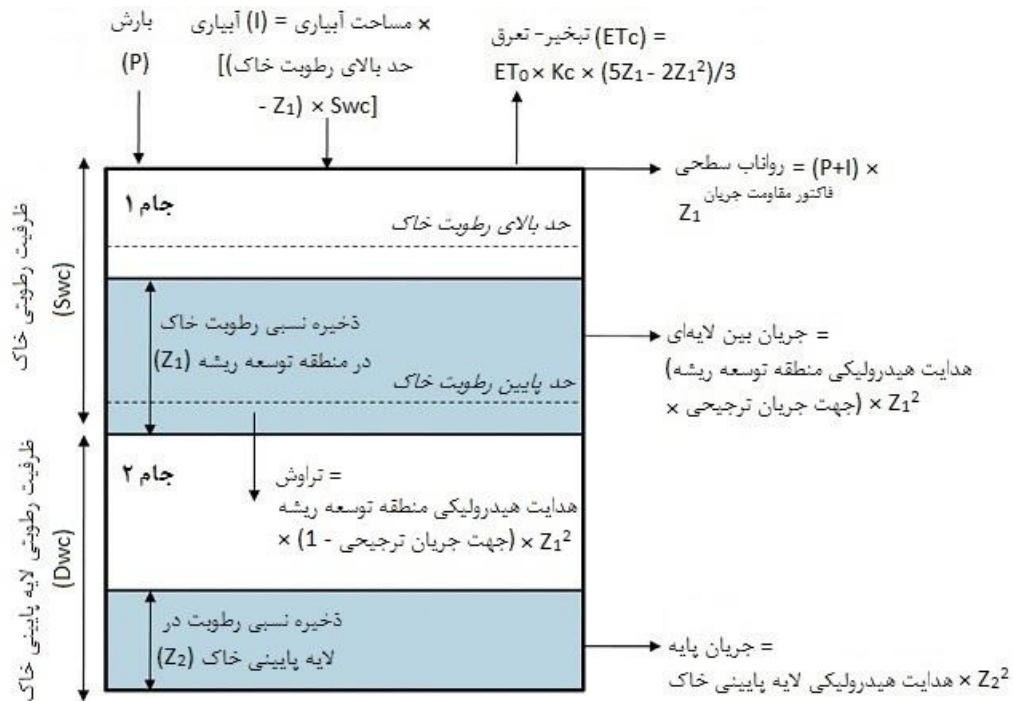
شکل ۲. طرح مدل WEAP برای حوضه‌های آبریز زرينه‌رود و سيمينه‌رود

رفتار تبخیر-تعرق، رواناب سطحی، جریان بین لایه‌ای، جریان پایه و نفوذ عمقی را برای یک حوضه توصیف می‌کند. مدل،

روش رطوبت خاک (Soil Moisture Method) روش رطوبت خاک مدل WEAP بر اساس توابع تجربی است که

عمیق تر بوده و آب از داخل این لایه می‌تواند به عنوان جریان پایه یا تغذیه آب زیرزمینی انتقال یابد (SEI, 2016).

حرکت آب را داخل دو لایه عمودی خاک در نظر می‌گیرد (شکل ۳). لایه اول نگهداشت آب را نزدیک سطح زمین نشان می‌دهد، که برای ریشه گیاهان در دسترس است. لایه دوم



شکل ۳- شماتیک روش رطوبت خاک در مدل WEAP (اقتباس از Blanco-Gutiérrez et al., 2013)

تغییرات ذخیره آب در لایه دوم خاک ( $\frac{dz_2}{dt}$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{max} \frac{dz_2}{dt} = \left( \sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2 \right) - k_{s2} z_2^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه (۲):  $S_{max}$ : نفوذ عمقی از ذخیره لایه بالایی خاک؛ و  $k_{s2}$ : هدایت هیدرولیکی اشباع لایه پایینی خاک (میلی-متر بر زمان) می‌باشد.

روش رطوبت خاک از پارامترهای کاربری اراضی (شامل: مساحت، ضریب گیاهی<sup>۱</sup>، ظرفیت رطوبتی لایه بالایی خاک<sup>۲</sup>، ظرفیت رطوبتی لایه پایینی خاک<sup>۳</sup>، فاکتور مقاومت جریان<sup>۴</sup>، هدایت هیدرولیکی لایه بالایی خاک<sup>۵</sup>، هدایت هیدرولیکی لایه پایینی خاک<sup>۶</sup>، جهت جریان ترجیحی<sup>۷</sup>، ذخیره نسبی رطوبت در لایه بالایی خاک<sup>۸</sup> و ذخیره نسبی رطوبت در لایه پایینی خاک<sup>۹</sup>)

برای حوضه‌ای که به چندین زیرحوضه با نسبت‌های مختلف کاربری اراضی یا تیپ خاک تقسیم شده باشد، فرمول ریاضی برای محاسبه تغییرات ذخیره آب در لایه اول خاک بر حسب بیلان آب به صورت زیر بیان می‌شود (SEI, 2016).

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t) k_{c,j}(t) \left( \frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) -$$

در رابطه (۱):  $Z_{1,j} = [1, 0]$ : ذخیره نسبی آب خاک (بدون بعد)؛  $Rd_j$ : ظرفیت نگهداری آب خاک (میلی‌متر)؛  $P_e$ : بارش موثر (میلی‌متر)؛  $PET(t)$ : تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع (بر حسب میلی‌متر بر روز، که از فرمول پنمن - مانیتیت محاسبه می‌شود)؛  $k_{c,j}$ : ضریب گیاهی؛  $RRF_j$ : فاکتور مقاومت جریان که به پوشش گیاهی بستگی دارد؛  $P_e(t) z_{1,j}^{RRF_j}$ : رواناب سطحی؛

$f_j k_{s,j} z_{1,j}^2$ : جریان بین لایه‌ای از لایه اول خاک؛  $f_j$ : ضریب تقسیم که به نوع پوشش زمین، خاک و توپوگرافی بستگی دارد و جریان آب را به جریان‌های افقی و عمودی تقسیم می‌کند؛ و  $k_{s,j}$ : هدایت هیدرولیکی اشباع لایه منطقه ریشه (میلی‌متر بر زمان) می‌باشد.

- 1- Crop Coefficient
- 2- Soil Water Capacity
- 3- Deep Water Capacity
- 1- Runoff Resistance Factor
- 2- Root Zone Conductivity
- 3- Deep Conductivity
- 4- Preferred Flow Direction
- 5- Relative Storage of the Root Zone ( $Z_1$ )



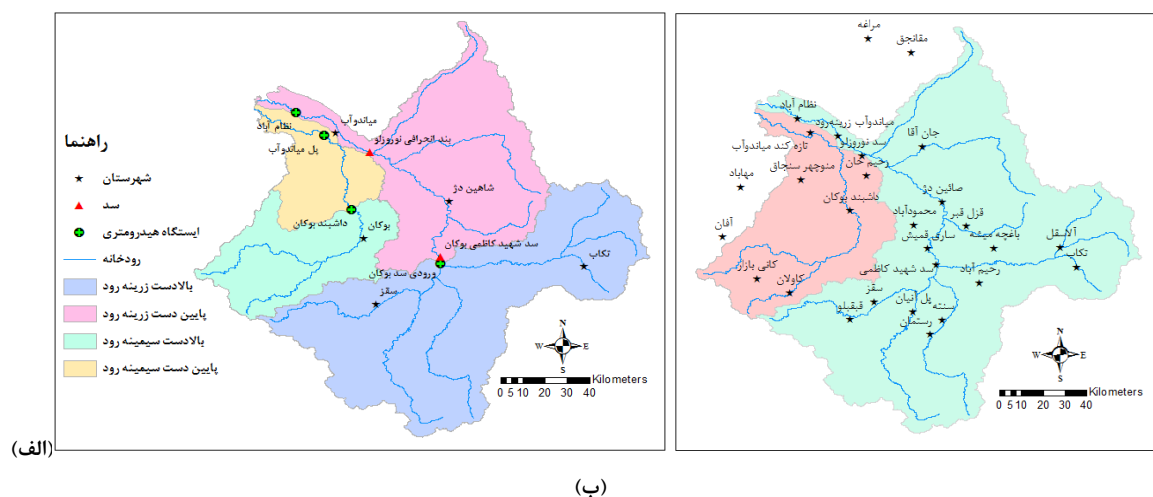
هواشناسی بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و کسر ابرناکی مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل (۴-الف) آمده است. مقادیر متوسط هر کدام از پارامترهای هواشناسی برای هر کدام از زیرحوضه‌ها با استفاده از روش پلی-گون‌های تیسن برآورد گردید. در مدل WEAP21، حوضه‌های آبریز زیرنه‌رود و سیمینه‌رود بر اساس ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده به زیرحوضه‌های بالادست و پایین‌دست تقسیم شدند (شکل ۴-ب). آمار ماهانه دبی ۴ ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفت که موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل (۴-ب) آمده است. در روش رطوبت خاک مدل WEAP21، لایه‌های کاربری اراضی و خصوصیات خاک نیز مورد نیاز است که نقشه آن‌ها در شکل (۵-الف و ب) آمده است.

و اقلیم (شامل: بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، کسر ابرناکی، عرض جغرافیایی، نقطه انجماد و نقطه ذوب) برای انجام محاسبات استفاده می‌کند.

#### منابع داده‌ها و اطلاعات

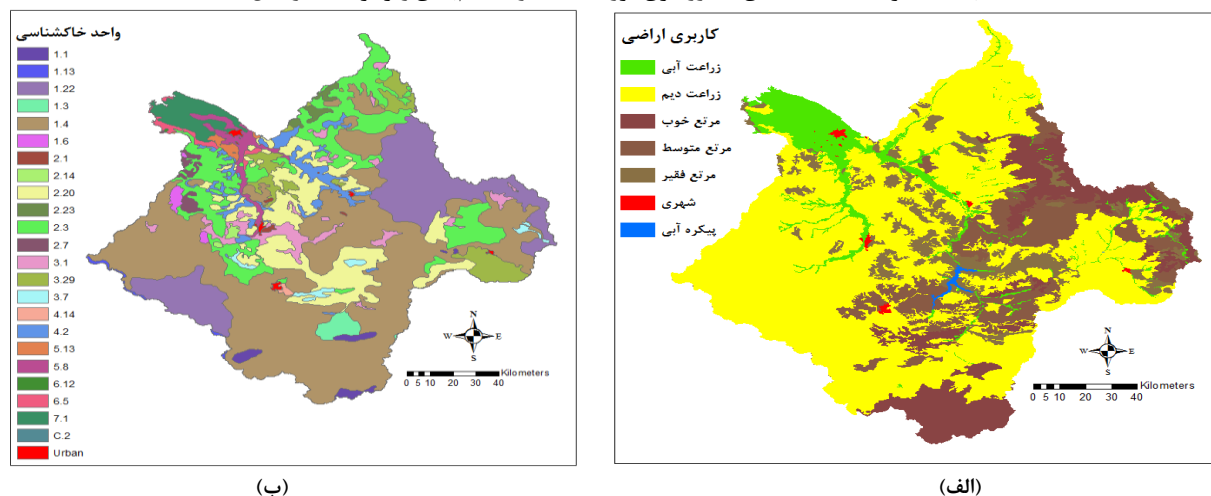
در این تحقیق یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۷۴) برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. ایستگاه‌های هواشناسی داخل و نزدیک حوضه‌های آبریز مورد مطالعه به تعداد ۲۸ ایستگاه (۴ ایستگاه سینوپتیک، ۱۱ ایستگاه تبخیرسنجی و ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی) برای پارامترهای

6- Relative Storage of the Deep Zone ( $Z_2$ )



شکل ۴-الف. نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

ب. نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده و تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل



شکل ۵-الف. نقشه کاربری اراضی حوضه‌های آبریز زیرنه‌رود و سیمینه‌رود (Ministry of Agriculture Jihad, 2007)

ب. نقشه خاکشناسی حوضه‌های آبریز زیرنه‌رود و سیمینه‌رود (Soil and Water Research Institute, 2007)

شهرستان تکاب، کشاورزی محدوده مطالعاتی سقز و آب شرب شهرستان سقز و مصارف آب برای زیرحوضه پایین‌دست زرينه-

در این تحقیق مصارف آب برای زیرحوضه بالادست - زرينه‌رود شامل کشاورزی محدوده مطالعاتی تکاب، آب شرب



سیمینه رود شامل کشاورزی بوکان ۲ و کشاورزی ساحل چپ شبکه آبیاری زرینه رود (میان‌دوآب) می‌باشد. منابع آب حوضه‌ها شامل رودخانه‌ها، سد شهید کاظمی بوکان و آبخوان‌های میان‌دوآب، شاهین‌دژ، بوکان و حاجی‌آباد می‌باشد. برای حوضه‌های کشاورزی سطح زیرکشت و ترکیب کشت محصولات غالب زراعی و باغی در سال‌های مختلف لحاظ گردید (جدول ۱).

رود شامل کشاورزی محدوده مطالعاتی شاهین‌دژ (شامل سطح زیر کشت شهرستان میان‌دوآب منهای شبکه آبیاری میان‌دوآب)، کشاورزی ساحل راست شبکه آبیاری زرینه رود (میان‌دوآب)، آب شرب شهرستان‌های بوکان، شاهین‌دژ، میان‌دوآب و خط انتقال آب شرب تبریز می‌باشد. مصارف آب برای زیرحوضه بالادست سیمینه رود شامل کشاورزی بوکان ۱ و مصارف آب برای زیرحوضه پایین‌دست

جدول ۱. اطلاعات زراعی و باغی محصولات غالب و سطح زیر کشت حوضه‌های کشاورزی واقع در محدوده مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۰ ساله (Agriculture Jihad Organization of West Azarbaijan, 2016 and West Azarbaijan Regional Water Authority, 2016)

نام حوضه کشاورزی	محصولات غالب	حداقل سطح زیر کشت (هکتار)	حداکثر سطح زیر کشت (هکتار)	متوسط سطح زیر کشت (هکتار)
تکاب	گندم، یونجه و سیب	۳۹۰۰	۱۳۷۰۰	۸۶۰۰
سقز	گندم، جو، یونجه، چغندرقد، سیب، انگور و گردو	۹۰۷۰	۱۶۳۰۰	۱۲۵۰۰
شاهین‌دژ	گندم، جو، یونجه، چغندرقد، سیب، هلو، بادام و گردو	۱۸۶۰۰	۳۴۴۰۰	۲۵۵۰۰
ساحل راست شبکه آبیاری زرینه رود	گندم، جو، یونجه، چغندرقد، گوجه فرنگی، سیب و انگور	۱۷۳۰۰	۲۲۲۰۰	۲۰۱۰۰
ساحل چپ شبکه آبیاری زرینه رود	گندم، جو، یونجه، چغندرقد، گوجه فرنگی، سیب و انگور	۱۴۲۰۰	۱۸۲۰۰	۱۶۵۰۰
بوکان ۱	گندم، جو، یونجه، چغندرقد، سیب، انگور، بادام و گردو	۶۴۰۰	۱۶۰۰۰	۱۱۳۰۰
بوکان ۲	گندم، جو، یونجه، چغندرقد، سیب، انگور، بادام و گردو	۴۳۰۰	۱۰۷۰۰	۷۵۵۰

ذوب برف، تخلیه رطوبت خاک، آبیاری و بارش با علامت مثبت و پارامترهای بیلان خروجی از خاک شامل جریان پایه، تبخیر-تعرق، جریان به آب‌های زیرزمینی، ذخیره برف، ذخیره رطوبت خاک، جریان بین لایه‌ای و رواناب سطحی با علامت منفی نشان داده می‌شود.

#### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی و اعتبارسنجی یک مدل برای به حداقل رساندن خطاها و مطمئن شدن از اعتبار و قابلیت اطمینان بودن نتایج مدل ضروری است (Blanco, 2010). در این تحقیق مدل با مقایسه داده‌های دبی جریان شبیه‌سازی شده در مقیاس ماهانه با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب واسنجی گردید. یک دوره آماری ۱۱ ساله (از سال آبی ۱۳۷۳-۷۴ تا ۸۴-۱۳۸۳) برای واسنجی مدل و یک دوره ۹ ساله (از سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۳-۱۳۹۲) برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد.

سیستم‌های آبیاری مورد استفاده در مدل شامل آبیاری سطحی، آبیاری بارانی و آبیاری قطره‌ای می‌باشد. محاسبات بیلان آب برای برآورد داده‌های دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب جهت مقایسه با داده‌های مشاهداتی انجام گرفت. پارامترهای بیلان آب شامل جریان پایه<sup>۱</sup>، ذوب برف<sup>۲</sup>، تخلیه رطوبت خاک<sup>۳</sup>، تبخیر-تعرق<sup>۴</sup>، جریان به آب‌های زیرزمینی<sup>۵</sup>، ذخیره برف<sup>۶</sup>، ذخیره رطوبت خاک<sup>۷</sup>، جریان بین لایه‌ای<sup>۸</sup>، آبیاری<sup>۹</sup>، بارش<sup>۱۰</sup> و رواناب سطحی<sup>۱۱</sup> می‌باشد.

در مدل WEAP پارامترهای بیلان ورودی به خاک شامل

- 1- Base Flow
- 2- Decrease in Snow (Melt)
- 3- Decrease in Soil Moisture
- 4- Evapotranspiration
- 5- Flow to Groundwater
- 6- Increase in Snow
- 7- Increase in Soil Moisture
- 8- Interflow
- 9- Irrigation
- 10- Precipitation
- 11- Surface Runoff

مدل WEAP21 از نرم‌افزار<sup>۱</sup> PEST که به آن لینک شده است برای برآورد پارامترهای بهینه جهت مقایسه داده‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند. در واسنجی با PEST ترکیبی از مقادیر پارامترها برای تخمین داده‌های شبیه‌سازی شده در مدل تولید می‌شود. در PEST داده‌های دبی جریان، ارتفاع برف و سطح مخزن می‌تواند واسنجی شود (SEI, 2016). نرم‌افزار PEST پارامترها را به روش رگرسیون‌گیری غیر خطی (الگوریتم گاو-مارکوارت-لونبرگ)<sup>۲</sup> بهینه می‌کند (Doherty, 2016).

در این تحقیق با استفاده از PEST داده‌های دبی جریان جهت واسنجی انتخاب گردید. جهت شبیه‌سازی داده‌های دبی جریان، پارامترهای ضریب گیاهی کاربری‌های غیر زراعی، ظرفیت رطوبتی لایه بالایی خاک، هدایت هیدرولیکی لایه بالایی خاک و جهت جریان ترجیحی مورد واسنجی قرار گرفت. در بیشتر منابع مدل WEAP این ۴ پارامتر بیشترین تاثیر را بر روی خروجی‌های مدل داشته‌اند. پارامترهای غیر واسنجی شده نیز شامل ظرفیت رطوبتی لایه پایینی خاک، فاکتور مقاومت جریان، هدایت هیدرولیکی لایه پایینی خاک، ذخیره نسبی رطوبت در لایه بالایی خاک ( $Z_1$ ) و ذخیره نسبی رطوبت در لایه پایینی خاک ( $Z_2$ ) بود. مقادیر پارامترهای غیر واسنجی شده بر اساس شرایط مکانی و زمانی و مقادیر پیش فرض مدل انتخاب گردیده است. در طول این فرایند جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل با جریان مشاهده شده در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب مورد مقایسه قرار گرفت.

برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از چهار شاخص ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف<sup>۳</sup> (NSE) و شاخص تطابق<sup>۴</sup> (d) استفاده شد. ضریب تبیین نشان‌دهنده تطابق بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با استفاده از روش تجزیه رگرسیونی می‌باشد. مقدار آن بین صفر تا ۱ متغیر است و مقدار بالای ۰/۵ قابل قبول می‌باشد. ضریب نش-ساتکلیف اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این شاخص از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است. مقدار شاخص تطابق از صفر تا ۱ متغیر است و مقادیر بزرگ‌تر آن نشان‌دهنده تطابق بهتر بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. روابط ضریب نش-ساتکلیف و شاخص تطابق به

صورت زیر می‌باشد:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_{obs}^{mean})^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

(رابطه ۴)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (|Q_i^{sim} - Q_{obs}^{mean}| + |Q_i^{obs} - Q_{obs}^{mean}|)^2}$$

در روابط فوق:  $Q_i^{obs}$ : مقدار دبی مشاهداتی برای دوره i ام،  $Q_{obs}^{mean}$ : میانگین دبی‌های مشاهداتی برای کل دوره،  $Q_i^{sim}$ : مقدار دبی شبیه‌سازی شده برای دوره i ام، و n: تعداد کل داده‌ها می‌باشد (Fu, 2007; Moriasi et al., 2007; Hessari, 2012; Legates and McCabe, 1999).

## نتایج و بحث

در این تحقیق ابتدا پارامترهای ضریب گیاهی کاربری‌های غیر زراعی، ظرفیت رطوبتی لایه بالایی خاک (منطقه توسعه ریشه)، هدایت هیدرولیکی لایه بالایی خاک (منطقه توسعه ریشه) و جهت جریان ترجیحی توسط نرم‌افزار PEST برای ۴ ایستگاه هیدرومتری ورودی سد بوکان، نظام آباد، داشبند بوکان و پل میان‌دوآب واسنجی گردید (جدول ۲). واسنجی مدل از ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست حوضه به پایین دست حوضه انجام گرفت. هم‌چنین مقادیر غیر واسنجی شده پارامترها برای کاربری‌های مختلف در جدول (۲) آمده است. نرم‌افزار PEST برای برآورد مقادیر متوسط دبی ماهانه برای ۴ ایستگاه هیدرومتری منتخب، با روش سعی و خطا مقادیر ضریب تبیین، ضریب نش-ساتکلیف و شاخص تطابق را بیشینه و جذر میانگین مربعات خطا را کمینه نموده است. مقادیر آماری و شاخص‌های مربوط به ارزیابی کمی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر ایستگاه هیدرومتری در جدول (۳) آمده است. بر اساس جدول (۳)، مقدار ضریب نش-ساتکلیف برای جریان ماهانه از ۰/۷۴ تا ۰/۸۳ برای دوره واسنجی و از ۰/۷۰ تا ۰/۸۵ برای دوره اعتبارسنجی متغیر است، شاخص تطابق از ۰/۹۲ تا ۰/۹۵ برای دوره واسنجی و از ۰/۹۱ تا ۰/۹۶ برای دوره اعتبارسنجی متغیر است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات برخی از پژوهشگران مطابقت دارد (Ingol-Blanco and McKinney, 2013; Blanco, 2010; De Condappa et al., 2009; Singh et al., 2014).

1- Parameter Estimation

2- Gauss-Marquardt-Levenberg algorithm

3- Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

4- Index of Agreement

قسمت بالادست حوضه آبریز سیمینه رود را پوشش داده و ایستگاه هیدرومتری پل میان دو آب انتهایی ترین ایستگاه حوضه آبریز سیمینه رود می باشد. همان طور که در شکل (۶) مشاهده می گردد داده های شبیه سازی با داده های مشاهداتی به خصوص در ایستگاه های بالادست حوضه ها (شکل ۶-الف و ج) تطابق خوبی دارد. تطابق کمتر دبی های جریان ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده در ایستگاه های پایین دست حوضه ها می تواند به این خاطر باشد که بیشتر مصارف در پایین دست حوضه ها اتفاق افتاده و پیچیدگی رفتار زیر حوضه ها در آنجا بیشتر است. همچنین این اختلاف به خاطر ناطمینانی های ذاتی در داده برداری های دبی، عوامل اقلیمی، وجود سیلاب های حدی و بزرگ که نرم افزار WEAP خصوصاً در گام زمانی ماهانه قادر به شبیه سازی آنها نیست، می باشد.

به طور کلی می توان گفت که انطباق بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی با توجه به حدود شاخص ها، در حد مطلوبی بوده و استفاده از مدل WEAP21 جهت شبیه سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف به برنامه ریزان منابع آب توصیه می گردد. دبی های جریان ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره واسنجی (۱۳۸۴-۱۳۷۴) در شکل (۶) برای ۴ ایستگاه هیدرومتری ورودی سد بوکان، نظام آباد، داشبند بوکان و پل میان دو آب نشان داده شده است. ایستگاه هیدرومتری ورودی سد بوکان قسمت بالادست حوضه آبریز زرینه رود را پوشش داده و ایستگاه هیدرومتری نظام آباد انتهایی ترین ایستگاه حوضه آبریز زرینه رود می باشد. هم چنین ایستگاه هیدرومتری داشبند بوکان

جدول ۲. مقادیر واسنجی شده و غیر واسنجی شده پارامترها در روش رطوبت خاک برای حوضه های آبریز زرینه رود و سیمینه رود

حوضه / پارامتر	مقادیر واسنجی شده			مقادیر غیر واسنجی شده		
	ضریب گیاهی	ظرفیت	هدایت	فاکتور	هدایت	ذخیره نسبی
کاربری های غیر زراعی <sup>۱</sup>	رطوبتی لایه بالایی خاک	رطوبتی لایه بالایی خاک	هیدرولیکی لایه پایینی خاک	مقاومت جریان	هیدرولیکی لایه پایینی خاک	رطوبت در لایه پایینی خاک
(بدون بعد)	(میلی متر)	(میلی متر)	(میلی متر)	(بدون بعد)	(میلی متر در ماه)	(درصد)
<b>بالادست زرینه رود</b>						
زراعت دیم	۰/۳۴	۲۶۰	۲۴	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
مرتع خوب	۰/۳۸	۲۴۰	۲۶	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
مرتع متوسط	۰/۳۶	۲۲۰	۲۸	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
مرتع فقیر	۰/۳۲	۲۱۰	۲۸	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
کشاورزی تکاب	-	۳۱۰	۳۰	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
کشاورزی سقز	-	۳۳۰	۳۰	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
<b>پایین دست زرینه رود</b>						
زراعت دیم	۰/۳۴	۲۴۰	۲۸	۰/۳	۳۰۰	۲۰
مرتع خوب	۰/۳۸	۲۶۰	۲۴	۰/۳	۳۰۰	۲۰
مرتع متوسط	۰/۳۶	۲۵۰	۲۶	۰/۳	۳۰۰	۲۰
مرتع فقیر	۰/۳۲	۲۱۰	۳۰	۰/۳	۳۰۰	۲۰
کشاورزی شاهین دژ	-	۳۸۰	۵۰	۰/۱	۵۰۰	۲۰
کشاورزی ساحل راست شبکه آبیاری زرینه رود	-	۴۰۰	۹۰	۰/۰۵	۱۰۰۰	۲۰
<b>بالادست سیمینه رود</b>						
زراعت دیم	۰/۳۴	۲۴۰	۲۸	۰/۶	۳۰۰	۲۰
مرتع متوسط	۰/۳۶	۱۰۰	۳۲	۰/۶	۳۰۰	۲۰
مرتع فقیر	۰/۳۲	۱۰۰	۳۲	۰/۶	۳۰۰	۲۰
کشاورزی بوکان ۱	-	۴۲۰	۱۲۰	۰/۰۵	۱۰۰۰	۲۰
<b>پایین دست سیمینه رود</b>						
زراعت دیم	۰/۳۴	۲۲۰	۲۸	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
مرتع فقیر	۰/۳۲	۲۲۰	۲۸	۰/۱۵	۳۰۰	۲۰
کشاورزی بوکان ۲	-	۳۵۰	۹۰	۰/۰۵	۱۰۰۰	۲۰
کشاورزی ساحل چپ شبکه آبیاری زرینه رود	-	۴۰۰	۹۰	۰/۰۵	۱۰۰۰	۲۰

۱- برای حوضه های کشاورزی مقدار واقعی ضرایب گیاهی محصولات زراعی و باغی وارد مدل شده است.

جدول ۳. نتایج مقادیر آماری و شاخص‌های ارزیابی مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

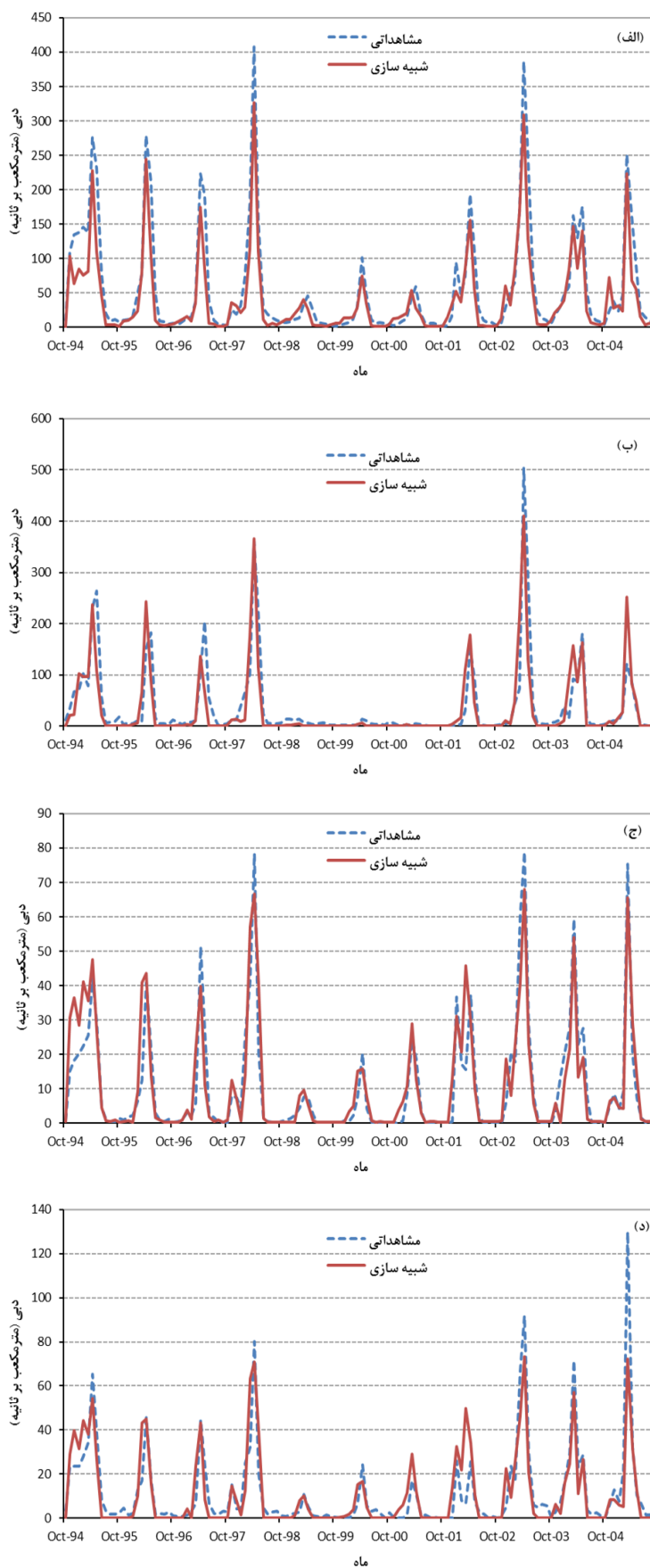
پل میان‌دوآب	داشبند بوکان	نظام آباد	ورودی سد بوکان	آمار/ ایستگاه هیدرومتری
دوره واسنجی				
۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲	۱۳۲	تعداد ماه‌ها
۱۱/۶۱	۱۰/۱۲	۳۶/۹۷	۵۴/۷۷	میانگین دبی مشاهداتی (m <sup>3</sup> /s)
۱۱/۰۷	۱۰/۵۹	۳۲/۱۹	۴۰/۲۳	میانگین دبی شبیه‌سازی شده (m <sup>3</sup> /s)
۱۹/۵۹	۱۶/۴۲	۷۵/۲۶	۷۹/۰۹	انحراف معیار دبی مشاهداتی
۱۷/۵۵	۱۶/۱۰	۷۰/۷۹	۶۰/۱۸	انحراف معیار دبی شبیه‌سازی شده
۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۹۰	R <sup>2</sup>
۹/۷۵	۷/۱۰	۳۸/۰۱	۳۲/۰۷	RMSE
۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۸۳	NSE
۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۵	d
دوره اعتبارسنجی				
۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	تعداد ماه‌ها
۷/۷۶	۶/۰۹	۱۶/۵۹	۳۳/۶۰	میانگین دبی مشاهداتی (m <sup>3</sup> /s)
۶/۰۴	۵/۶۷	۱۸/۵۲	۲۹/۰۸	میانگین دبی شبیه‌سازی شده (m <sup>3</sup> /s)
۱۲/۷۵	۱۰/۹۵	۴۱/۲۷	۴۲/۳۲	انحراف معیار دبی مشاهداتی
۱۰/۶۰	۹/۲۰	۳۹/۲۰	۳۸/۰۳	انحراف معیار دبی شبیه‌سازی شده
۰/۸۰	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۸۸	R <sup>2</sup>
۵/۴۳	۳/۷۵	۲۲/۵۲	۱۶/۰۶	RMSE
۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۸۵	NSE
۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۹۶	d

از خروجی‌های مهم مدل WEAP پارامترهای بیلان آب می‌باشد که نتایج سالانه آن برای کل محدوده مورد مطالعه برای دوره واسنجی در شکل (۸) و برای دوره اعتبارسنجی در شکل (۹) آمده است. متوسط سالانه پارامترهای بیلان آب دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی برای کل محدوده مورد مطالعه در جدول (۴) آمده است. پارامترهای بیلان ورودی با علامت مثبت و پارامترهای بیلان خروجی با علامت منفی نشان داده شده است.

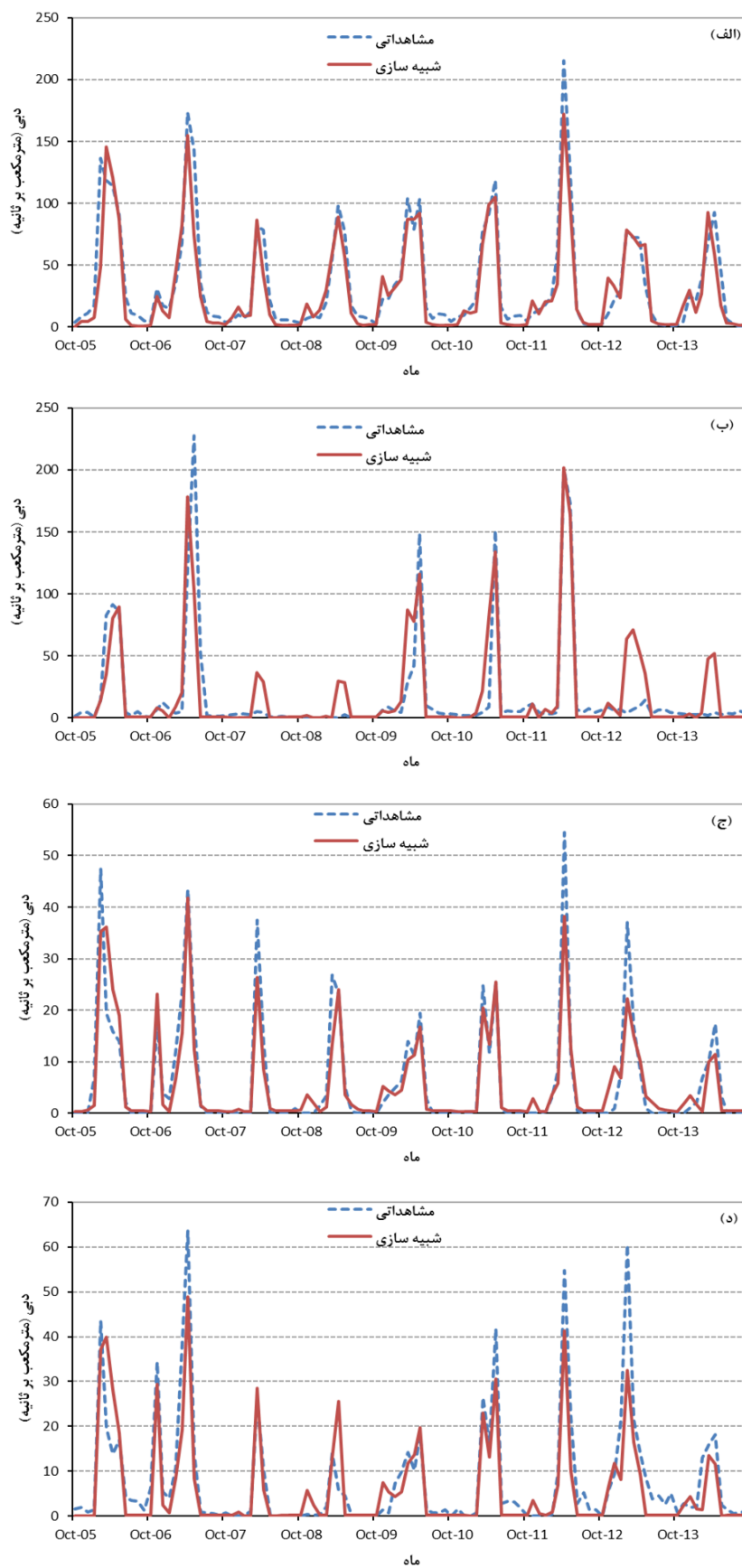
بعد از واسنجی مدل، یک دوره اعتبارسنجی مستقل ۹ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۵) برای اعتبارسنجی عملکرد مدل شبیه‌سازی گردید. مقایسه بین دبی‌های جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب جهت ارزیابی عملکرد مدل انجام گرفت. نتایج دبی‌های جریان ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی در شکل (۷) نشان داده شده است. نتایج برای دوره اعتبارسنجی نیز عملکرد خوب مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر متوسط سالانه پارامترهای بیلان آب برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی (بر حسب میلی‌متر)

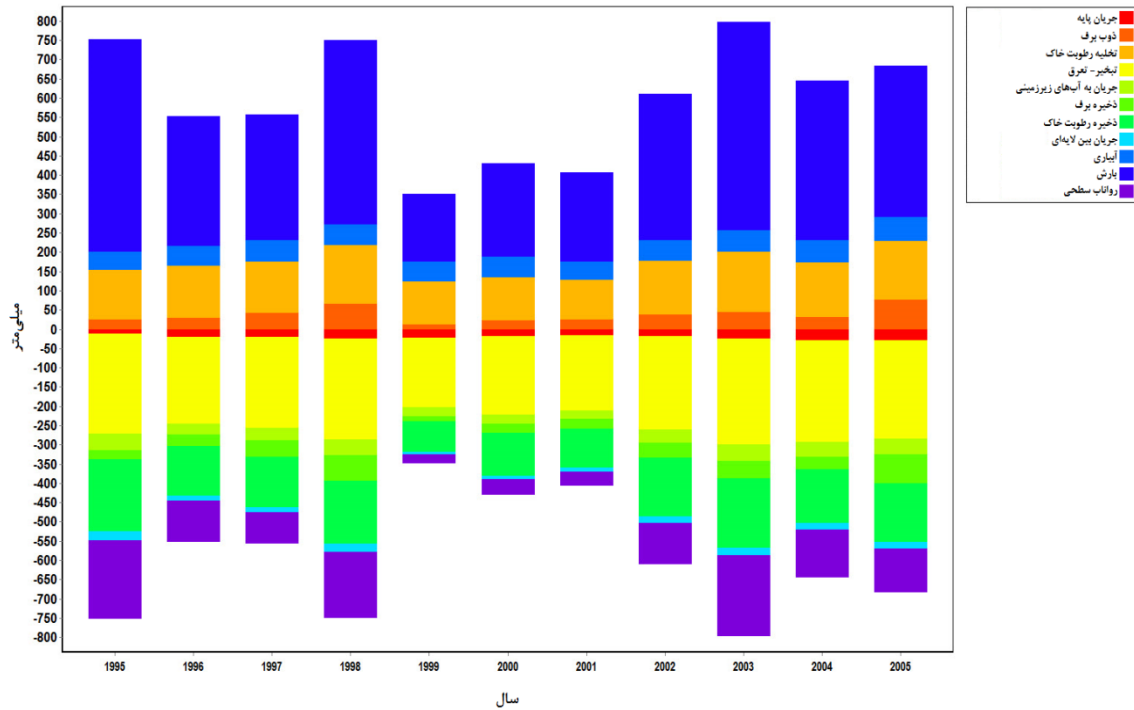
دوره اعتبارسنجی	دوره واسنجی	پارامتر/ دوره
-۱۸/۶	-۲۱/۳	جریان پایه
۴۰/۱	۳۷/۶	ذوب برف
۱۲۶/۷	۱۳۳/۰	تخلیه رطوبت خاک
-۲۴۲/۸	-۲۳۶/۵	تبخیر- تعرق
-۳۲/۸	-۳۳/۵	جریان به آب‌های زیرزمینی
-۴۰/۱	-۳۷/۶	ذخیره برف
-۱۳۲/۰	-۱۳۸/۷	ذخیره رطوبت خاک
-۱۲/۹	-۱۵/۳	جریان بین لایه‌ای
۵۹/۱	۵۳/۴	آبیاری
۳۳۵/۲	۳۷۰/۶	بارش
-۸۱/۷	-۱۱۱/۴	رواناب سطحی



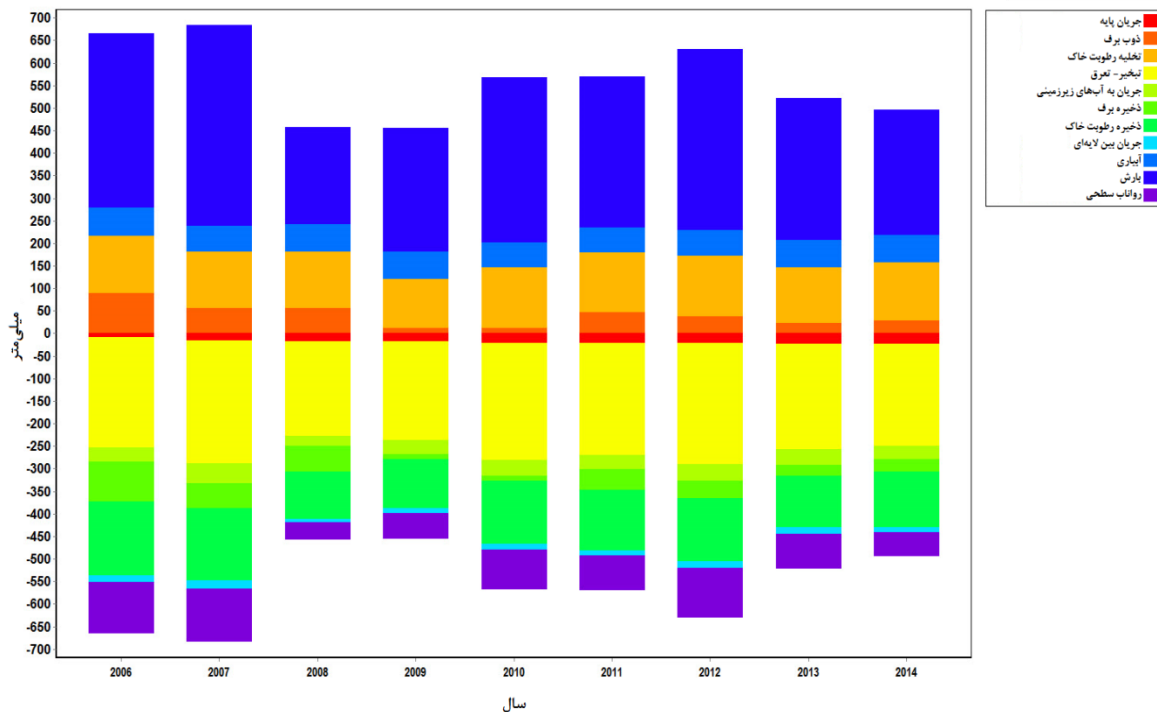
شکل ۶. دبی‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی در ایستگاه‌های هیدرومتری: الف) ورودی سد بوکان، ب) نظام آباد، ج) داشبند بوکان و د) پل میان‌دوآب - سیمین‌رود



شکل ۷. دهی‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی در ایستگاه‌های هیدرومتری: الف) ورودی سد بوکان، ب) نظام آباد، ج) داشبند بوکان و د) پل میاندوآب- سیمینه‌رود



شکل ۸. تغییرات سالانه پارامترهای بیلان آب برای محدوده مورد مطالعه در روش رطوبت خاک (از سال آبی ۷۴-۱۳۷۳ تا ۸۴-۱۳۸۳)



شکل ۹. تغییرات سالانه پارامترهای بیلان آب برای محدوده مورد مطالعه در روش رطوبت خاک (از سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۳-۱۳۹۲)

روش رطوبت خاک مدل WEAP استفاده گردید. پارامترهای ضریب گیاهی کاربری‌های غیر زراعی، ظرفیت رطوبتی لایه بالایی خاک (منطقه توسعه ریشه)، هدایت هیدرولیکی لایه

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل هیدرولوژیکی WEAP21 برای حوضه‌های آبریز زرینه‌رود و سیمینه‌رود توسعه یافت. جهت شبیه‌سازی از



مدل به دلیل کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزو راهکارهای ممکن به منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست قلمداد شود. علاوه بر این، با استفاده از این ابزار این امکان برای برنامه‌ریزان منابع آب به وجود می‌آید تا سناریوهای مختلف از جمله سناریوهای مدیریت تقاضای آب، افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، تغییر اقلیم و ... را بدون صرف هزینه سنگین و در کمترین زمان ممکن ارزیابی، و بهترین تصمیم را جهت مدیریت حوضه آبریز اتخاذ نمایند.

### سیاسگزاری

از محققین موسسه محیط زیست استکهلم (SEI) به خصوص از آقایان جک سایبر (Jack Sieber) و برایان جویس (Brian Joyce) و خانم استفانی گالاتسی (Stephanie Galaitis) به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان تشکر و قدردانی می‌گردد.

بالایی خاک (منطقه توسعه ریشه) و جهت جریان ترجیحی مورد واسنجی قرار گرفت. یک دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۸۴-۱۳۷۴) برای واسنجی و یک دوره مستقل ۹ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۵) برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. میزان تطابق نتایج شبیه-سازی مدل با داده‌های ماهانه دبی جریان مشاهداتی بر اساس شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و شاخص تطابق (d) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی بر اساس حدود شاخص‌ها عملکرد مطلوب مدل را نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات برخی از پژوهشگران مطابقت دارد (Ingol-Blanco and McKinney, 2013; Blanco, 2010; De Condappa et al., 2009; Singh et al., 2014).

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که مدل WEAP قابلیت خوبی در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک دارد. به طور کلی می‌توان گفت استفاده از این

### REFERENCES

- Abrishamchi, A., Alizadeh, H., Tajrishy, M. and Abrishamchi, A. (2007). Water resources management scenario analysis in Karkheh River Basin, Iran, using WEAP model. *Hydrological Science and Technology*, 23(1/4), 1.
- Agriculture Jihad Organization of West Azarbaijan. (2016). Agricultural statistics and the information center, Urmia, Iran. (In Farsi)
- Blanco, I. (2010). Economic-hydrologic analysis of water management strategies for balancing water for nature and water for food: Implications for the Guadiana River Basin. Ph. D. dissertation, University of Madrid, Spain.
- Blanco-Gutiérrez, I., Varela-Ortega, C. and 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.
- De Condappa, D., Chaponnière, A. and Lemoalle, J. (2009). A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. *Water International*, 34(1), 71-87.
- Dehghan, Z., Delbari, M. and Mohammadrezapour, O. (2015). Planning water resources allocation under various managerial scenarios in Gorganroud basin. *Water and Soil Science*, 25(3), 117-132. (In Farsi)
- Doherty, J. (2016). Model-Independent Parameter Estimation, (PEST). *User's Manual, 6th Edition, Watermark Numerical Computing*.
- Esteve, P., Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I. and Downing, T. E. (2015). A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. *Ecological Economics*, 120, 49-58.
- Falkenmark, M. and Molden, D. (2008). Wake up to realities of river basin closure. *Water Resources Development*, 24(2), 201-215.
- Farajzadeh, M., Madani, K., Massah, A. and Davtalab, R. (2014). Climate change effects on reliability of water delivery in downstream of Karkheh river basin and its adaptation strategies. *Protection of soil and water resources*, 3(3), 49-63. (In Farsi)
- Fu, G. (2005). Modeling water availability and its response to climatic change for the Spokane River Watershed. Ph. D. dissertation, Washington State University.
- Ghandhari, G., Soltani, J. and Hamidian Pour, M. (2015). Evaluation of optimal water allocation scenarios for Bar river of Neishabour using WEAP model under A2 climatic changes scenario. *Journal of Water and Soil*, 29(5), 1158-1172. (In Farsi)
- Hessari, B. (2012). Upstream/downstream hydrological interactions of supplemental irrigation development in rain-fed areas of upper Karkheh river basin. Ph. D. dissertation, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran. (In Farsi)
- Heydari, N. (2014). Assessment of agricultural water productivity (WP) in Iran, and the performance of water policies and plans of the government in this regard. *Journal of Majlis and Rahbord*, 21(78), 177-200. (In Farsi)
- Ingol-Blanco, E. and McKinney, D. C. (2013). Development of a hydrological model for the Rio Conchos Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(3), 340-351.
- Kermanshahi, S., Davari, K., Hasheminia, S. M., Farid Hosseini, A. and Ansari, H. (2013). Using the

- WEAP model to assess the impact of irrigation water use management on water resources of Neyshabour Plane. *Journal of Water and Soil*, 27(3), 495-505. (In Farsi)
- Legates, D. R. and McCabe, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241.
- Loucks, D. P., Van Beek, E., Stedinger, J. R., Dijkman, J. P. and Villars, M. T. (2005). *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*. Paris: Unesco.
- Malmir, M., Mohammadrezapour, O. and Sharif Azari, S. (2016). Evaluation of climate change impacts on agricultural water allocation in Qara Su watershed, using WEAP. *Irrigation and Water Engineering*, 6(23), 143-155. (In Farsi)
- McCartney, M., Alemayehu, T., Shiferaw, A. and Awulachew, S. (2010). Evaluation of current and future water resources development in the Lake Tana Basin, Ethiopia (Vol. 134). IWMI.
- Ministry of Agriculture Jihad. (2007). Center for statistics and the information, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Movahedian Attar, F. and Samadi Broojeni, H. (2013). Evaluation of Zayanderud dam operation during drought period by using WEAP model. *Irrigation and Water Engineering*, 4(14), 18-28. (In Farsi)
- Raskin, P., Hansen, E., Zhu, Z. and Stavisky, D. (1992). Simulation of water supply and demand in the Aral Sea Region. *Water International*, 17(2), 55-67.
- Safari, N., Zarghami, M. and Szidarovszky, F. (2014). Nash bargaining and leader-follower models in water allocation: Application to the Zarrinehrud River basin, Iran. *Applied Mathematical Modelling*, 38(7), 1959-1968.
- Shafaei, A., Araghi Nejad, S. and Massah Bavani, A. R. (2014). Assessment of climate change impacts on operation of Gorgan Rud basin's dams. *Journal of Water and Irrigation Management*, 3(2), 43-58. (In Farsi)
- Singh, M., Shinde, V., Pradhan, S. K., Chalodiya, A. L. and Shukla, K. N. (2014). Hydrologic Modelling of Mahanadi River Basin in India Using Rainfall-Runoff Model. *Nature Environment and Pollution Technology*, 13(2), 385-392.
- Soil and Water Research Institute. (2007). Resource assessment studies and land capability map, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Stockholm Environment Institute (SEI). (2016). Water evaluation and planning system, WEAP. Stockholm Environment Institute, Boston, USA, from <http://www.weap21.org>
- West Azarbaijan Regional Water Authority. (2016). Statistics and the information center, Urmia, Iran. (In Farsi)
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A. (2005a). WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1: Model characteristics. *Water International*, 30(4), 487-500.
- Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A. and Galbraith, H. (2005b). WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 2: Aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International*, 30(4), 501-512.
- Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., Galbraith, H., West, J., Herrod-Julius, S., Young, C., Joyce, B. and Rayej, M. (2009). Climate driven water resources model of the Sacramento Basin, California. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(5), 303-313.
- Yazdanpanah, T., Khodashenas, S. R., Davary, K. and Gahraman, B. (2008). Water resource management of basin by WEAP (case study: Azgand basin). *Journal of Water and Soil*, 22(1), 213-222. (In Farsi)
- Yekom Consulting Engineers. (2015). Water consumption reduction of agricultural sector in Simineh Roud and Zarrineh Roud watershed basin. (In Farsi)
- Zaman, M. R., Morid, S. and Delavar, M. (2016). Evaluating climate adaptation strategies on agricultural production in the Siminehrud catchment and inflow into Lake Urmia, Iran using SWAT within an OECD framework. *Agricultural Systems*, 147, 98-110.