



## Evaluating Water Resources Supply and Demand Using WEAP-MABIA (Case Study: Gadar-Chai River Basin)

P. Yousefi<sup>1</sup>, B. Hessari<sup>2</sup>, A. Bruggeman<sup>3</sup>,  
and M. Zarghami<sup>4</sup>

### Abstract

Currently, numerous sub-basins located in the Urmia Lake Basin (ULB) are experiencing water shortages. Gadar-Chai River basin is one of the most important basins in ULB in which proper water allocation and management are paramount of importance. A decision support system based on a water evaluation and planning system (WEAP) could be highly beneficial in water allocation plans at the basin scale. In this research, the WEAP-MABIA model has been used to analyze and simulate water supply and demand in the three major catchments of Gadar-Chai River basin. The year 2009 was chosen as the base year of modeling, all nodes of resources and consumptions were created, and the rainfall-runoff was simulated. Then, the Gauss-Levenberg-Marquardt optimization algorithm, embedded in the PEST tool, is implemented for calibration. The efficiency of the model is verified by the Nash-Sutcliffe coefficient for the calibration and validation period, which is ranged from 0.68-0.87. Ultimately, several management strategies such as a slight increase in irrigation efficiency, fallow implementation, and cultivation of low-demanded were employed to investigate the sustainability of water resources in the Gadar-Chai River basin. The results revealed that simultaneous implementation of 10% fallow along with 5% increase in irrigation efficiency could enhance the water supply reliability compare to status que by 12%, 19%, and 11% respectively in Oshnaviyeh, Naqadeh and Hasanlu basins. Hence, this scenario, with decreasing the unmet demand, would play a major role to ameliorate the water shortages in the study area.

**Keywords:** WEAP, MABIA, Water Allocation, Gadar-Chai River Basin.

Received: June 21, 2023  
Accepted: August 6, 2023

## ارزیابی عرضه و تقاضای منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP-MABIA (مطالعه موردی حوضه آبریز گدارچای نقده)

پریسا یوسفی<sup>۱\*</sup>، بهزاد حصاری<sup>۲</sup>، آدریانا بروگمن<sup>۳</sup>  
و مهدی زرغامی<sup>۴</sup>

### چکیده

در حال حاضر، کمبود آب در بسیاری از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه تجربه می‌شود. حوضه آبریز گدارچای یکی از حوضه‌هایی مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که تخصیص و مدیریت صحیح آب در آن از اهمیت بالایی برخوردار است. یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر ارزیابی و برنامه‌ریزی سامانه‌های آب (WEAP) می‌تواند در تخصیص و تحلیل عرضه و تقاضای آب این حوضه مؤثر باشد. در مطالعه حاضر، برای تحلیل و شبیه‌سازی عرضه و تقاضای آب کشاورزی در سه زیرحوضه اصلی واقع در حوضه آبریز گدارچای از مدل WEAP-MABIA استفاده شده است. در روند مدل‌سازی، سال ۲۰۰۹ به عنوان سال پایه انتخاب شده و کلیه مؤلفه‌های منابع و مصارف حوضه، ایجاد و شبیه‌سازی بارش - رواناب و مصارف آب انجام گردید. پس از آن، واسنجی مدل با ابزار PEST و الگوریتم گاس - مارگواردت لوبنبرگ انجام شد. نتایج نشان داد ضریب ناش در دوره واسنجی و صحت‌سنجی بین ۰/۶۸ تا ۰/۸۷ بوده که نشانگر کارایی لازم مدل در مدل‌سازی منابع آب منطقه است. در نهایت، اثرات چندین سناریوهای مدیریتی از قبیل اعمال آیش، تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری بر روی نتایج مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که اعمال همزمان ۱۰ درصد آیش و نیز افزایش پنج درصدی راندمان آبیاری می‌تواند اطمینان‌پذیری تأمین تقاضاهای آبی در سه حوضه اشنویه، نقده و حسنلو را نسبت به شرایط موجود، به ترتیب حدود ۱۲، ۱۹ و ۱۱ درصد افزایش داده و از این طریق، با کاهش تقاضاهای برآورده نشده، نقش بسزایی را در پایداری منابع آب حوضه گدارچای ایفا نماید.

**کلمات کلیدی:** WEAP، MABIA، حوضه گدارچای، تخصیص آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۵/۱۵

1- Ph.D. Student in Water Resources Engineering, Water Engineering group, Urmia University, Urmia, Iran. Email: [p.yousefi@urmia.ac.ir](mailto:p.yousefi@urmia.ac.ir)

2- Director of Environment Department of Lake Urmia Research Institute and Associate Professor of Hydrology, Water Engineering Group, Urmia University, Urmia, Iran. Email: [b.hessari@urmia.ac.ir](mailto:b.hessari@urmia.ac.ir)

3- Associate Professor of Hydrology and Water Management, Energy, Environment and Water Research Centre (EEWRC), Cyprus Institute, Aglantzia, Cyprus.

4- Professor of Water Governance, Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*- Corresponding Author  
Doi: [10.22034/IWRR.2023.176840](https://doi.org/10.22034/IWRR.2023.176840)

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.  
۲- مدیر گروه محیط زیست پژوهشکده دریاچه ارومیه و دانشیار هیدرولوژی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- دانشیار هیدرولوژی و مدیریت آب، مؤسسه تحقیقات انرژی، محیط زیست و آب، انستیتوی قبرس، آگلانتسیا، قبرس.

۴- استاد دانشکده حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۲ امکانپذیر است.



اعمال نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که این حوضه در آینده دچار کمبود آب شده و اثرات منفی بر روی محیط زیست، اقتصاد و سلامت ساکنین منطقه خواهد داشت. بدین منظور پیشنهاداتی را برای مقابله و سازگاری با آن از قبیل بازتخصیص آب بین بخش‌های مصرف‌کننده و افزایش اقدامات حفاظتی آب پیشنهاد نمودند. (Sadeghi et al., 2023) از مدل WEAP-MABIA برای شبیه‌سازی اثرات سناریوهای مختلف مدیریت آب مانند تغییرات در سطح زیر کشت و راندمان آبیاری را بر روی تأمین و تقاضای آب در بخش جنوب شرقی حوضه آبریز رودخانه ارس استفاده نمودند. آن‌ها نشان دادند که در صورت مدیریت ناصحیح حوضه، به طور مثال با افزایش سطح زیر کشت، میزان کمبود آب حوضه بیشتر خواهد شد. (Zhang et al., 2023) نیز به منظور تخصیص آب حوضه GBA<sup>۴</sup> واقع در چین و بررسی اثرات تغییر اولویت‌های توزیع آب بر آن، مدل WEAP را به کار گرفتند. آن‌ها نشان دادند که طرح تخصیص آب با تعیین مجدد اولویت‌های توزیع آب منطقه‌ای و صنعتی می‌تواند منجر به افزایش میزان بهره‌مندی بخش‌های مختلف مصرف‌کننده منابع آب و در نتیجه عدالت توزیع آب و نتایج منطقی‌تر تخصیص آب در منطقه شود.

هدف اصلی این مطالعه، بررسی هیدرولوژی حوضه آبریز گذارچای به عنوان یکی از حوضه‌های مهم آبریز دریاچه ارومیه، سازوکار موجود در تخصیص منابع آب آن و نیز ارزیابی اثرات برخی از سناریوهای مدیریتی منابع آب بر پایداری منابع آب حوضه یاد شده است. مطابق (Rahmani and Danesh-Yazdi, 2022) عوامل دخیل در کاهش تراز دریاچه ارومیه، اغلب توسعه ناپایدار کشاورزی، کشت محصولات پر آب‌بر و ناتوانی در تأمین حقایق دریاچه ارومیه بوده است و حوضه گذارچای نیز از این قاعده مستثنی نبوده است؛ به طوری که بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت محصولات آبی حوضه گذار از حدود ۳۱۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۰۹ به حدود ۴۰۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۸ رسیده است. بنابراین، در این حوضه بین سیاست‌های افزایش سطح زیر کشت و تأمین حقایق دریاچه ارومیه تعارض وجود دارد. در این راستا، برای نیل به هدف یاد شده، از مدل WEAP-MABIA استفاده شده، سپس صحت نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفته و سناریوهای مدیریتی مختلف مانند اعمال آیش، افزایش راندمان آبیاری و کاهش سطح زیر کشت محصولات پر آب‌بر که توسط (Rahmani and Danesh-Yazdi, 2022) نیز پیشنهاد شده‌اند، مورد آزمون قرار گرفته‌اند. بررسی مطالعات اخیر انجام شده نشان می‌دهد که برای محدوده مورد مطالعه، تاکنون از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبی محصولات استفاده نشده است. این پژوهش می‌تواند

در مدیریت و توسعه منابع آب، باید حفاظت از منابع آب در یک چارچوب یکپارچه و سازگار با محیط‌زیست از اهداف اولیه تصمیم‌گیران باشد. در این میان، به منظور حفظ امنیت آبی و غذایی و پشتیبانی از کشاورزی پایدار، تخصیص صحیح منابع آب به مصارف مختلف بر اساس اولویت‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM)<sup>۱</sup> به عنوان یکی از بهترین ابزارها برای رسیدن به پایداری منابع آب شناخته شده است (Samaras & Koutitas, 2014). در واقع، IWRM فرآیند پیاده‌سازی و فرموله‌سازی نگرش‌ها و استراتژی‌های مدیریتی برای بهره‌برداری و توسعه منابع آب با در نظر گرفتن ارتباط زمانی و مکانی بین بشر و محیط زیست و عمدتاً آب است (Castelletti & Soncini-Sessa, 2014). مدل WEAP<sup>۲</sup> که توسط مؤسسه محیط زیست استکهلم (SEI)<sup>۳</sup> توسعه داده شده است، نمونه‌ای قابل استناد از میان مدل‌های مختلف IWRM است که فرآیندهای هیدرولوژیکی را با مدل‌سازی اولویت‌های تقاضا و ترجیحات عرضه آب در مقیاس حوضه ترکیب می‌کند (Yates et al., 2014). با استفاده از این مدل می‌توان مسائل آب مختلف را با رویکردی مبتنی بر سناریو تحلیل نمود. این سناریوها می‌توانند اقلیمی، تغییرات حوضه، تقاضاهای مورد پیش‌بینی، اهداف تعیین شده بهره‌برداری و امثال آن‌ها باشد (Yates et al., 2014).

مدل WEAP در مطالعات بسیاری به‌عنوان سیستم پشتیبان و با هدف بهبود مدیریت منابع آب در سطح حوضه مورد استفاده قرار گرفته است (Hoff et al., 2011; Hamlat et al., 2013; Demertzi et al., 2014). به طور مثال، این مدل برای بررسی اثرات سناریوهای مدیریتی برای عرضه و تقاضای آب در حوضه رودخانه Sinu-Caribe در کلمبیا و نیز پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم در حوضه استفاده شده است (Rochdane et al., 2012). (Myat and Aye, 2017) با استفاده از مدل WEAP طرح‌های تخصیص آب را برای منطقه مندلی در میانمار مورد ارزیابی قرار دادند. (Zohrabi et al., 2017) از مدل WEAP برای بررسی اثرات افزایش راندمان آبیاری بر شاخص‌های سیستم منابع آب از قبیل انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری استفاده نمودند. (Mirzaei and Zibaei, 2021) به منظور بررسی مدیریت تعارض بین کشاورزی و تالاب در حوضه آبریز هلیل رود تحت اثر تغییر اقلیم مدل WEAP را به کار گرفتند.

(Nivesh et al., 2022) مدل WEAP را برای ارزیابی عرضه و تقاضای حوضه رودخانه‌ای Dhasan در هند به کار گرفتند و سناریوهایی مانند افزایش جمعیت و افزایش تقاضای آب را بر روی آن

دید جامعی از وضعیت هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب حوضه یاد شده را به تصمیم‌گیران مربوطه ارائه دهد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه طرح حاضر، حوضه آبریز رودخانه گدارچای با مساحت حدود ۲۰۹۰ کیلومتر مربع است که در جنوب غربی دریاچه ارومیه قرار داشته و با تأمین حدود ۱۰ درصد حقایبه دریاچه، یکی از مهمترین حوضه‌های تأمین‌کننده آن محسوب می‌شود. رودخانه اصلی این حوضه، گدارچای است که در مسیر خود شاخه‌های گلازچای، کانی‌رش، بالخلوچای و بیرام‌بولاغی را دریافت کرده و پس از عبور از محل پل بهراملو به موازات مهابادچای به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود (شکل ۱). سه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه، نقده و پل بهراملو بر روی رودخانه یاد شده واقع هستند. این حوضه دو محدوده مطالعاتی اشنویه و نقده را دربر می‌گیرد و فعالیت اقتصادی عمده در آن‌ها، کشاورزی است؛ به طوری که مطابق آمار سازمان جهاد کشاورزی حدود ۴۱ درصد از کل سطح حوضه گدارچای در مجموع به کشاورزی آبی و دیم اختصاص دارد. شهرهای واقع در محدوده مورد مطالعه، نقده، اشنویه، محمدیار و نالوس هستند.

در پژوهش حاضر، به منظور مدل‌سازی محدوده مورد مطالعه در مدل WEAP، حوضه آبریز گدارچای به سه حوضه اشنویه (منتهی به ایستگاه هیدرومتری نقده)، نقده (منتهی به ایستگاه هیدرومتری پل بهراملو) و حسنلو (اراضی تحت آبیاری سد حسنلو) تفکیک شده است. لازم به ذکر است که در فرآیند مدل‌سازی، گستره مربوط به هر حوضه به صورت شکل ۱ در نظر گرفته شده است؛ بدین ترتیب که بخش‌هایی از سه حوضه یاد شده که تأمین آب آن قبل از ایستگاه‌های هیدرومتری در شاخه‌های فرعی صورت می‌گیرد، از مساحت اصلی حوضه‌ها کسر شده و دبی آن ایستگاه‌ها به عنوان جریان‌های ورودی به حوضه وارد مدل شده‌اند. همچنین، باتوجه به شکل فوق، بخشی از حوضه حسنلو خارج از حوضه گدارچای قرار دارد که دلیل آن تأمین آب آبیاری بخشی از دشت رشکان از طریق مخزن سد حسنلو در سال‌های اخیر است.

### ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

برخی از مشخصات سه حوضه در نظر گرفته شده در جدول ۱ آمده است. خصوصیات اقلیمی درج شده در این جدول، از داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در مدل‌سازی (نقده، اشنویه و مهاباد) استخراج شده است.

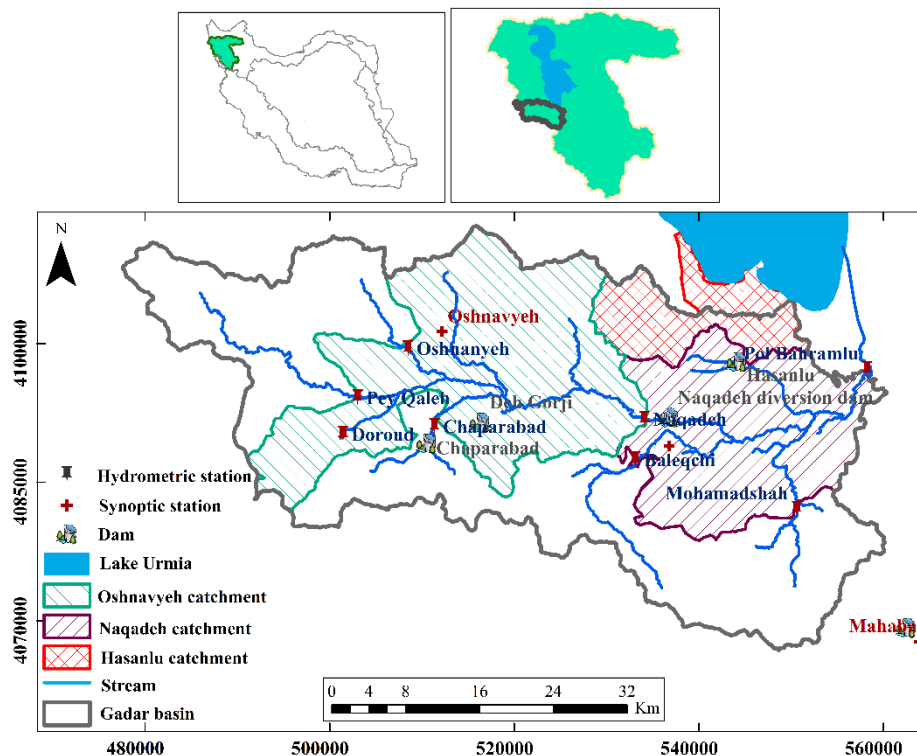


Fig. 1- Case study area

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

**Table 1- Characteristics of the catchments (2009-2018)**  
**جدول ۱- مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸**

Catchment	Area (km <sup>2</sup> )	Min-Max Elevation (m)	Ave. Slope (%)	Annual Rainfall (mm)	Mean Temperature (°C)	Annual Relative Humidity (%)	Annual Wind Speed (m/s)
Oshnaviyeh	641.5	1300-3125	15.2	354	13.5	55	3.1
Naqadeh	422.0	1260-2256	8.3	309	14.7	54	2.8
Hasanlu	168.9	1265-2150	7.9	304	14.9	54	2.6

۲۰۱۸، جمعیت شهر اشنویه به ترتیب از حدود ۳۱ هزار به ۴۱ هزار نفر، شهر نالوس از ۲۷۰۰ به ۳۰۰۰ نفر، شهر نقده از ۷۴ هزار به ۸۳ هزار نفر و شهر محمدیار از ۸۲۰۰ به ۹۵۰۰ نفر رسیده است. در این میان، جمعیت روستاهای حوضه اشنویه از ۳۳ هزار به ۳۱ هزار نفر و روستاهای حوضه نقده از ۳۷ هزار به ۳۶ هزار نفر رسیده است. با توجه به کاهش جمعیت روستایی و افزایش جمعیت شهری و نیز بالا بودن سرانه مصرف آب در شهرها نسبت به روستاها، انتظار می‌رود نیاز آب شرب نسبت به گذشته بیشتر باشد.

### ۲-۳- روش‌ها

هدف اصلی این مطالعه، بررسی هیدرولوژی حوضه آبریز گدارچای، سازوکار موجود در تخصیص منابع آب آن و نیز ارزیابی اثرات سناریوهای مدیریتی منابع آب است. بدین منظور از مدل WEAP-MABIA استفاده شده است. چارچوب پژوهش حاضر در روندنمای شکل ۴ خلاصه شده است. ابتدا مدل WEAP به منظور شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز گدارچای توسعه یافته و سپس مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هیدرومتری واسنجی<sup>۵</sup> گردید، بدین ترتیب که سال ۲۰۰۹ به عنوان سال پایه و سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۸ به عنوان سناریو مرجع انتخاب شد که در آن، سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ به عنوان دوره واسنجی و سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ به عنوان دوره صحت‌سنجی<sup>۶</sup> در نظر گرفته شدند و چندین سناریوی مدیریتی به منظور بررسی اثرات آن‌ها بر منابع و مصارف محدود مطالعه اعمال شد.

WEAP مدلی به منظور مدیریت منابع آب است که جریان آب را در شبکه‌ای از گره‌های تأمین و تقاضا که به وسیله لینک‌های انتقال به هم متصل گردیده‌اند، شبیه‌سازی می‌کند (Yates et al., 2005). تخصیص بهینه منابع در این مدل با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی خطی استاندارد انجام می‌گیرد. هدف این الگوریتم، بیشینه کردن تأمین نیاز با توجه به اولویت تأمین، ارجحیت منابع در تأمین نیاز، تعادل جرمی آب و دیگر قیود و محدودیت‌های اعمال شده است.

کاربری اراضی غالب حوضه‌ها عمدتاً زمین‌های کشاورزی آبی و دیم، مراتع و زمین بایر است؛ به طوری که حدود ۳۰ درصد حوضه اشنویه، ۳۰ درصد حوضه نقده و ۲۵ درصد حوضه حسنلو به کشاورزی آبی اختصاص دارد. محصولات آبی و غیرآبی غالب در هر حوضه به شرح شکل ۲ است. شکل ۳ نیز نقشه کاربری اراضی حوضه‌ها را نشان می‌دهد.

کشاورزی در محدوده مطالعه وابستگی بیشتر به آب‌های سطحی و سپس زیرزمینی دارد. روش‌های آبیاری سنتی به دلیل هزینه کم، مرسوم‌تر هستند اما راندمان آن‌ها معمولاً پایین است؛ به طوری که راندمان آبیاری محصولات باغی در حوضه‌های اشنویه و نقده حدود ۳۷ درصد و راندمان آبیاری محصولات زراعی در حوضه‌های اشنویه، نقده و حسنلو به ترتیب حدود ۳۸، ۴۵ و ۷۵ درصد است. دلیل بالا بودن راندمان در حوضه حسنلو، تجهیز شبکه آبیاری آن با روش‌های آبیاری مدرن است (Ministry of Energy, 2013).

منابع تأمین آب برای حوضه اشنویه، آب‌های سطحی و آبخوان اشنویه، برای حوضه نقده، آب‌های سطحی و آبخوان و برای حوضه حسنلو، سد حسنلو است. مطابق آمار بلندمدت رودخانه گدار، آبدهی متوسط سالانه خروجی از ایستگاه‌های نقده (واقع در خروجی حوضه اشنویه) و ایستگاه پل بهراملو (واقع در خروجی حوضه نقده) به ترتیب ۶/۹ و ۵/۲ متر مکعب در ثانیه است. همچنین ظرفیت کل مخزن سد حسنلو حدود ۹۴ میلیون متر مکعب و حجم آبخوان‌های اشنویه و نقده به ترتیب حدود ۷۲۶ و ۲۳۶ میلیون متر مکعب است. لازم به ذکر است که کلیه آمار مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور، جهاد کشاورزی و شرکت مدیریت منابع آب تهیه شده است.

میزان مصارف آب در محدوده حوضه گدارچای بر اساس آمار ثبت شده شرکت مدیریت منابع آب ایران در آماربرداری سراسری مرحله دوم (سال ۸۹-۱۳۸۸) به صورت جدول ۲ است. مطابق جدول، بیشترین میزان استفاده از آب در محدوده مورد مطالعه از آب‌های سطحی صورت می‌گیرد. همچنین مطابق آمار شرکت آب و فاضلاب، از سال ۲۰۰۹ تا

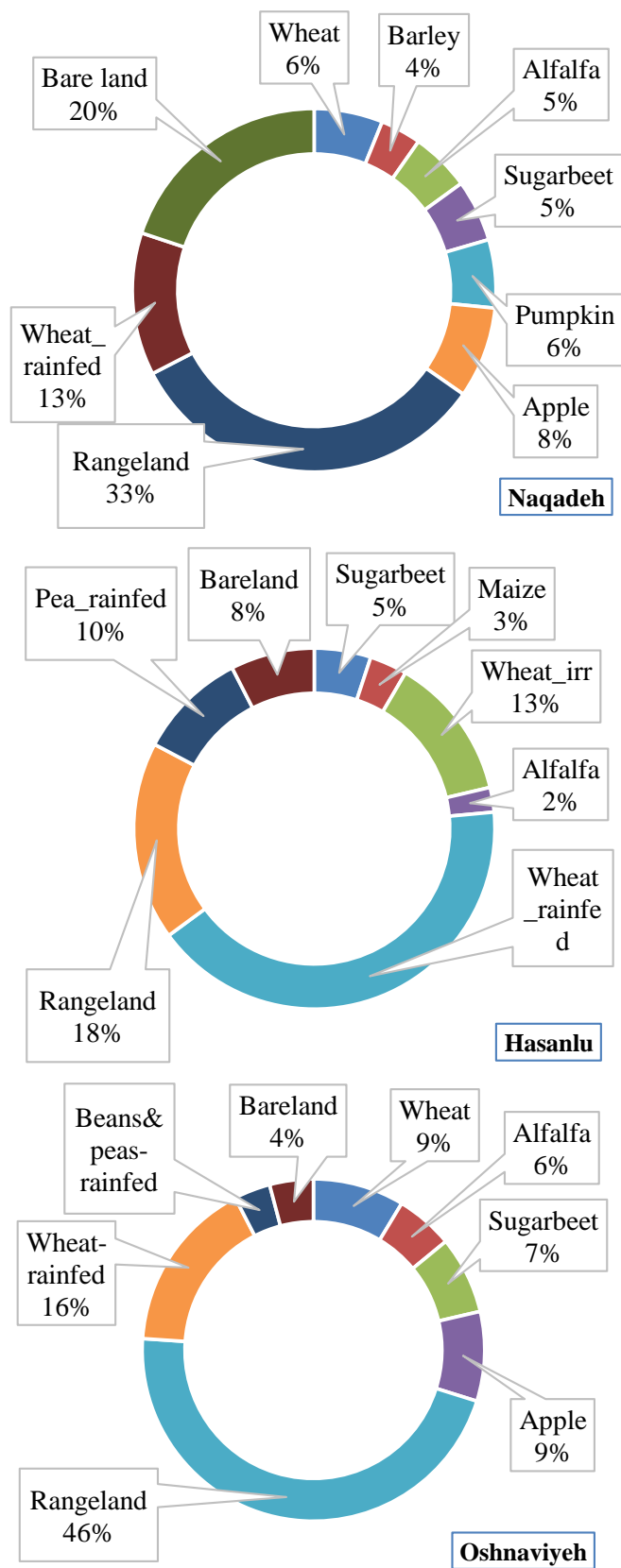


Fig. 2- The area of the major land cover in the catchments (%)  
 شکل ۲- مساحت کاربری‌های غالب در سطح حوضه‌های مورد مطالعه (درصد)

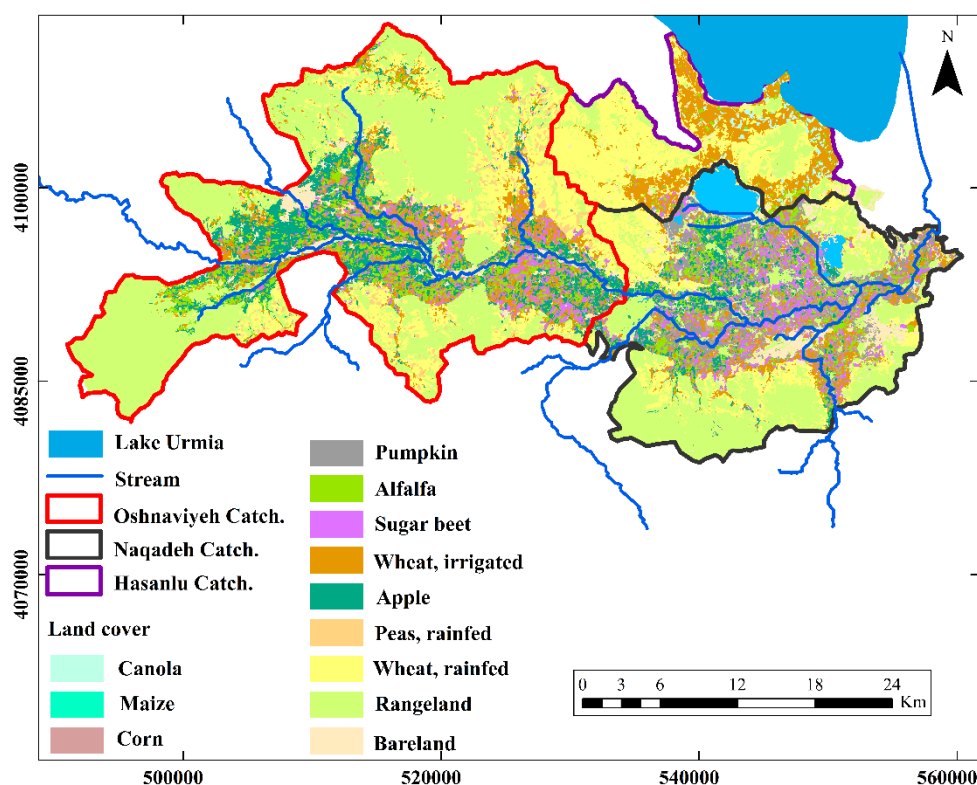


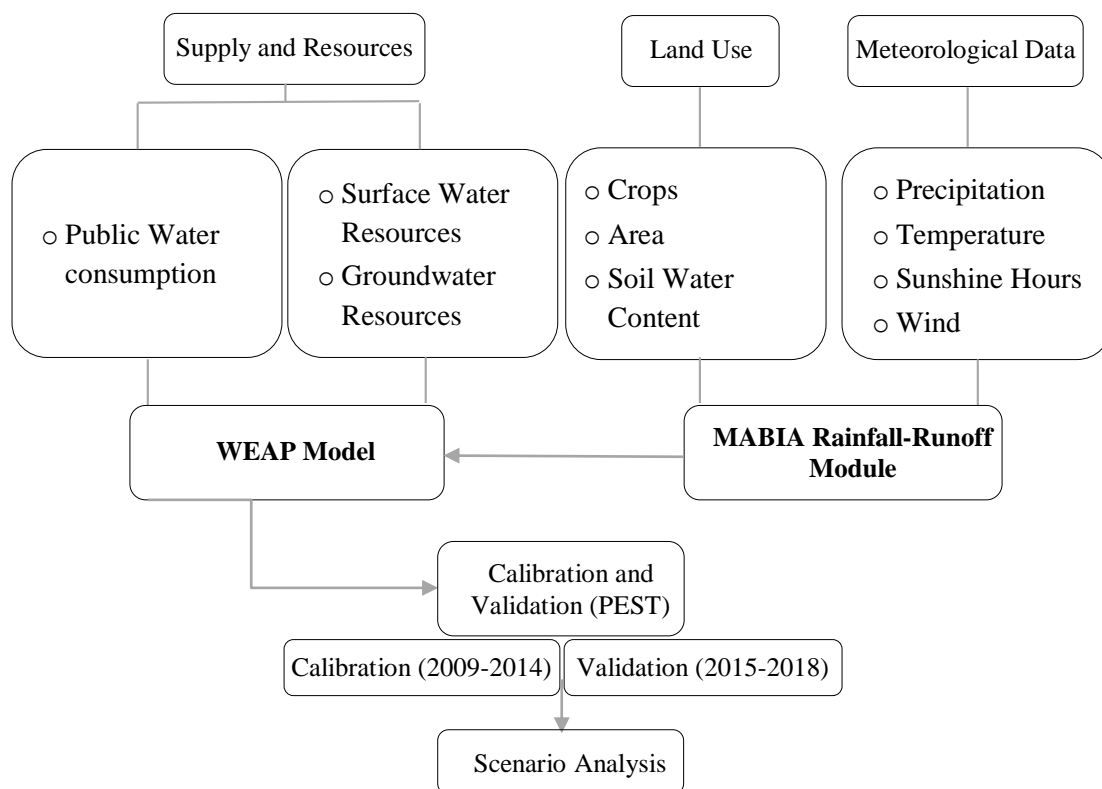
Fig. 3- Land cover map of the catchments (Ghorbanpour et al., 2022)  
 شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوضه‌های مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸ (Ghorbanpour et al., 2022)

Table 2- Water Consumption in Gadar-Chai river basin (MCM)  
 جدول ۲- میزان مصارف آب در محدوده حوضه گدارچای در آماربرداری سراسری مرحله دوم (میلیون متر مکعب)

Study area	Sector	Surface water	Groundwater	sum
Oshnaviyeh	Public	1.5	4.3	5.8
	Agriculture	136.9	44.7	181.6
Naqadeh	Public	3.4	1.5	4.9
	Agriculture	134.9	73.4	208.3

به منظور مدل‌سازی بارش-رواناب مدل‌های متعددی از جمله رطوبت خاک<sup>۱</sup>، MABIA، مدل رشد گیاه<sup>۲</sup> و مدل بارش-رواناب ساده در نرم‌افزار WEAP وجود دارند که محققان مختلف با توجه به اهداف تحقیق از ماژول‌های مختلف استفاده کرده‌اند (Ahmadaali et al., 2018; Agarwal et al., 2019; Abera Abdi and Ayenew, 2021; Al Sabeh et al., 2022). با توجه به اینکه از اهداف اصلی پژوهش حاضر بررسی عملکرد گیاه در سناریوهای مختلف است، لذا در این مطالعه، به منظور مدل‌سازی بارش-رواناب اراضی دارای آبیاری از MABIA که با گام زمانی روزانه کار می‌کند، استفاده گردید که با توجه به معادلات به کار رفته می‌توان عملکرد محصولات را نیز مدل‌سازی کرد (Allani et al., 2012).

مجموعه قیود در هر گام زمانی در نقاط مختلف اعمال می‌شود. مدل‌سازی جریان خروجی از مخازن و جریان در رودخانه‌ها به دو صورت دستی و یا استفاده از مدل‌های بارش-رواناب موجود در WEAP صورت می‌پذیرد. همچنین به منظور کنترل میزان آب زیرزمینی استخراج شده، خصوصیات فیزیکی آبخوان به مدل داده می‌شود. گره تقاضای شرب نیز می‌تواند به صورت دستی و یا از طریق تابعی از سطح فعالیت‌های سالیانه (مانند جمعیت) و نرخ مصرف آب (مثلاً سرانه نیاز آبی) محاسبه گردد. لازم به ذکر است که تقاضای سالیانه تقاضای شرب، با توجه به درصد استفاده از آب شرب در ماه‌های مختلف که از طریق شرکت‌های آب و فاضلاب استانی محاسبه گردیده، به تقاضای ماهیانه تبدیل می‌شود.



**Fig. 4- Modeling flowchart for the case study**  
 شکل ۴- چارچوب مدل سازی محدوده مورد مطالعه

برآورد هر یک از این مؤلفه‌ها نیازمند داده‌های اقلیمی روزانه، مشخصات فیزیکی خاک و گیاه است. برآورد تبخیر- تفرق واقعی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است؛ چراکه ارتباط مستقیمی با عملکرد گیاهان و نیز تعیین عمق آبیاری مورد نیاز گیاهان دارد. رابطه کلی تعیین تبخیر- تفرق واقعی به صورت رابطه (۲) است که در آن  $ET_a$  تبخیر تفرق واقعی (mm)،  $ET_{ref}$  تبخیر تفرق مرجع (mm) و  $K_{act}$  ضریب گیاهی واقعی است که یک ضریب دینامیک است که در طول دوره رشد گیاه تغییر می‌یابد. این ضریب تابعی از مشخصات فیزیکی گیاه، مشخصات خاک و متغیرهای اقلیمی است و رابطه آن به صورت رابطه (۳) است. در واقع استفاده از ضریب گیاهی دوجزئی ( $K_c$ ) که مجموع ضریب گیاهی پایه ( $K_{cb}$ ) و ضریب تبخیر از سطح خاک ( $K_e$ ) است (Allen et al., 1998)، از ویژگی‌های مهم مدل MABIA است. برای محاسبه ضریب گیاهی واقعی لازم است که  $K_{cb}$  در ضریب تنش آبی ( $K_s$ ) ضرب شده و بدین ترتیب اثر رطوبت موجود خاک نیز در آن اعمال شود. تبخیر- تفرق مرجع در این پژوهش با استفاده از معادله پنمن- مانتیث (Allen et al., 1998) استخراج گردید. بدین منظور داده‌های اقلیمی روزانه همانند دمای حداکثر و حداقل، رطوبت

در مدل MABIA می‌توان برای حوضه‌های مختلف، کاربری اراضی مختص به آن محدوده را به صورت مجزا تعریف کرد. لازم به ذکر است که برای تعریف الگوی کشت در این پژوهش از آمار و نقشه‌های خاک سازمان جهاد کشاورزی و نیز کاربری اراضی تهیه شده توسط FAO در سال ۲۰۱۸ (Ghorbanpour et al., 2022) استفاده شده است. برای محتوای آب خاک نیز از تطبیق نقشه‌های خاک سازمان جهاد کشاورزی با نقشه‌های سازمان تحقیقاتی FutureWater (Simons et al., 2020) استفاده شده است. در هر یک از این حوضه‌ها با استفاده از این ماژول، بیلان آب خاک ناحیه ریشه در مقیاس روزانه می‌تواند محاسبه شود که ورودی‌ها و خروجی‌های این بیلان عبارتند از بارش مؤثر ( $P_i$ )، رواناب سطحی ( $RO_i$ )، آبیاری ( $I_i$ )، تبخیر- تفرق واقعی ( $ET_a$ )، صعود موئینگی از سطح آب زیرزمینی ( $CR_i$ )، در صورت وجود و نفوذ عمقی ( $DP_i$ ). رابطه کلی بیلان آب و خاک در ناحیه ریشه به صورت رابطه زیر است. در این رابطه  $D_{r,i}$  میزان تخلیه از ناحیه ریشه در انتهای روز  $i$ ،  $D_{r,i-1}$  تخلیه از ناحیه ریشه در انتهای روز قبل است. واحدها بر حسب میلی‌متر است.

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - P_i + RO_i - I_i - CR_i + ET_i + DP_i \quad (1)$$

کمینه کردن ناپایداریها و خطای باقی ماندهها<sup>۱۳</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار به کاربر این امکان را می‌دهد که به‌طور خودکار فرآیند مقایسه خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی و اصلاح پارامترهای مدل در جهت افزایش دقت واسنجی مدل را انجام دهد (Doherty, 2004; Layani and Bakhshoodeh, 2022).

در تحلیل حساسیت، ضریب نش- ساتکلیف (NSE)<sup>۱۴</sup> برای کمی‌سازی صحت داده‌های شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار گرفت که رابطه آن به صورت زیر است. محدوده‌های تعریف شده برای NSE در جدول ۳ ارائه شده است (Moriassi et al, 2007):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2} \quad (6)$$

سناریوهای مورد بررسی در این پژوهش شامل سناریوی مرجع (S1)، سناریوی اعمال ۱۰ درصد کاهش سطح زیر کشت (آیش، S2)، سناریوی اعمال افزایش پنج‌درصدی راندمان آبیاری (S3)، ترکیب سناریوی S2 و S3 (S4) و سناریوی تغییر الگو و سطح زیر کشت (S5) هستند. در سناریوی S5 تغییر الگوی کشت بدین‌صورت زیر در نظر گرفته شد؛ در تمام حوضه‌ها، ۱۰ درصد از سطح زیر کشت محصول پرباب‌بر چغندرقتند و ۱۰ درصد از سطح زیر کشت محصول پرباب‌بر یونجه به گندم که یک محصول استراتژیک کم‌آب‌بر است، اختصاص یابد.

### ۳- نتایج

مطابق شکل‌های ۵ و ۶ و جدول ۴ مدل، نتایج منطقی را برای جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری ارائه داده است. مقادیر ضریب NSE برای دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی برای هر دو ایستگاه در جدول ۴ آمده است. مقادیر این جدول، حاکی از تطابق کافی و مناسب نتایج مدل با مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری است.

میزان آب مورد نیاز برآورد شده برای محصولات کشاورزی در مدل WEAP (رابطه ۴) با مقادیر ارائه شده در سند ملی آب کشور برای حوضه‌های مورد مطالعه مورد مقایسه قرار گرفت.

نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد در ارتفاع دو متری و ساعات آفتابی مورد نیاز می‌باشد. تبخیرتعرق پتانسیل (ET<sub>c</sub>) نیز از رابطه (۴) می‌تواند محاسبه شود:

$$ET_a = K_{act} ET_{ref} \quad (2)$$

$$K_{act} = K_s K_{cb} + K_e \quad (3)$$

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) ET_{ref} \quad (4)$$

میزان عملکرد محصولات نیز تابعی از میزان تبخیر-تعرق واقعی است که به صورت رابطه زیر است (Doorenbos and Kassam, 1979):

$$(1 - Y_a/Y_m) = K_y (1 - ET_a/ET_c) \quad (5)$$

در رابطه فوق Y<sub>a</sub> و Y<sub>m</sub> عملکرد واقعی و عملکرد حداکثر محصولات (kg/ha)، ET<sub>c</sub> تبخیر-تعرق پتانسیل (mm) و K<sub>y</sub> عامل پاسخ گیاه به کم‌آبیاری است که می‌توان آن را از کتابخانه موجود در WEAP که برای محصولات مختلف محاسبه گردیده استخراج کرد. طبق رابطه فوق در صورتی که آبیاری به صورت کامل انجام پذیرد، در این صورت ET<sub>a</sub> = ET<sub>ref</sub> و عملکرد محصولات برابر حداکثر عملکرد ممکن با توجه به شرایط اقلیمی خواهد بود. از طرف دیگر در صورتی که گیاه تحت تنش آبی قرار گیرد، عملکرد واقعی کم‌تر از عملکرد پتانسیل خواهد بود. لازم به ذکر است که شرایطی که گیاه در تنش آبی قرار می‌گیرد از طریق معادله بیلان آب- خاک محاسبه می‌شود. به منظور مطالعات جزییات بیشتر در مورد ماژول MABIA به منابع مربوطه می‌توان مراجعه کرد (Jabloun and Sahli, 2012).

در این پژوهش، ایستگاه‌های هیدرومتری نقده و پل بهراملو برای واسنجی مدل به کار گرفته شدند. متغیرهای راندمان آبیاری، ضخامت لایه سطحی خاک و درصد مصرف آب شرب، به عنوان متغیرهای واسنجی به کار برده شدند. کل طول دوره آماری مورد مطالعه، از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ است که در آن، سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ به عنوان دوره واسنجی و سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ به عنوان دوره صحت‌سنجی در نظر گرفته شدند. به منظور واسنجی مدل، در نرم‌افزار WEAP از ابزاری به نام PEST<sup>۱۵</sup> بهره گرفته می‌شود که یک مدل بهینه‌ساز ریاضی است که با استفاده از الگوریتم گاس- مارگواردتت لونیبرگ<sup>۱۶</sup> مبتنی بر ایجاد تندترین گرادیان کاهش<sup>۱۱</sup> با تشکیل ماتریس ژاکوب<sup>۱۲</sup> مشتقات نسبی پارامترهای مدنظر برای رسیدن به تابع هدف کمینه و

Table 3- NSE efficiency range

جدول ۳- محدوده‌های تعریف شده کارآمدی ضریب NSE در مدل‌سازی با گام زمانی ماهانه

Performance class	Very good	Good	Satisfactory	Unsatisfactory
NSE	0.75-1	0.65-0.75	0.50-0.65	<= 0.50



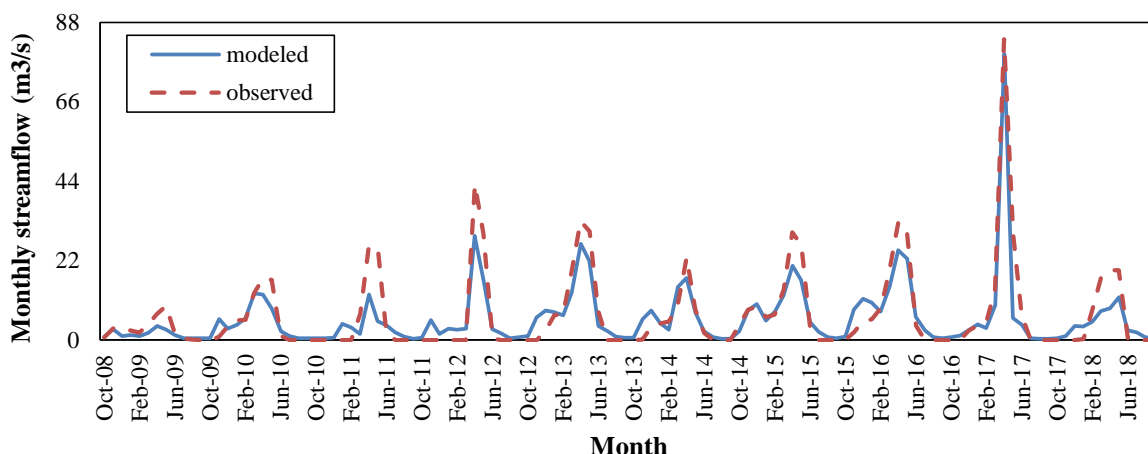


Fig. 5- Calibration results in Naqadeh hydrometric station

شکل ۵- نتایج واسنجی برای ایستگاه نقده

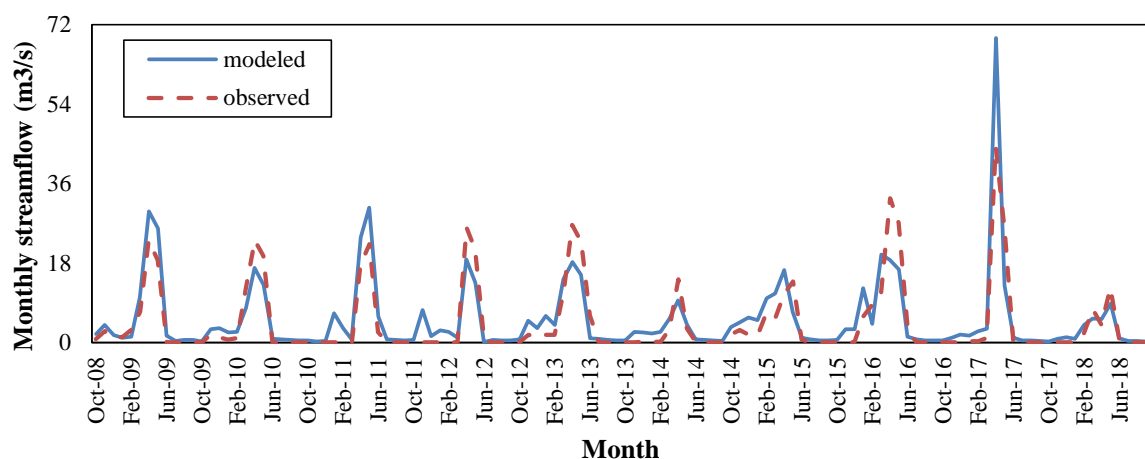


Fig. 6- Calibration results in Pol Bahramlu hydrometric station

شکل ۶- نتایج واسنجی برای ایستگاه پل بهراملو

Table 4- NSE for calibration and validation periods in Naqadeh and Pol Bahramlu hydrometric stations

جدول ۴- مقادیر NSE دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی برای ایستگاه‌های نقده و پل بهراملو

Station	NSE	Average $Q_o$ (CMS)	Average $Q_s$ (CMS)
Naqadeh- Calibration	0.75	6.52	5.83
Naqadeh- Validation	0.87	8.83	7.57
Pol Bahramlu- Calibration	0.78	4.01	4.71
Pol Bahramlu- Validation	0.68	5.16	5.66

درصد و ۹۸ درصد افزایش داشته است. در مورد گیاه یونجه نیز با توجه به شکل‌های ۷- c، ۸- c و ۹- c، نیاز آبی در حوضه‌های اشنویه، نقده و حسنلو به ترتیب حدود ۲۰، ۸۰ و ۲۳۰ درصد افزایش داشته است. این نتایج حاکی از افزایش غیر اصولی سطح زیر کشت این دو محصول و پس از آن افزایش تبخیرتعرق محصولات ناشی از تغییر در متغیرهای اقلیمی و به‌ویژه خشکسالی‌های شدید سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ است.

میزان تطابق آب مورد نیاز مشاهداتی و مدل‌سازی شده برای چهار محصول غالب کشاورزی در سه حوضه در سناریوی مرجع در اشکال ۷ تا ۹ نشان داده شده است. مطابق اشکال، با اینکه تفاوت‌هایی میان دو متغیر مشاهداتی و مدل شده وجود دارد، اما میزان آب مورد نیاز محصولات کشاورزی به صورت قابل قبولی مدل شده‌اند. با توجه به اشکال ۷- a و ۸- a، در طول دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸، در دو حوضه اشنویه و نقده، میزان نیاز آبی محصول سیب به میزان به ترتیب حدود ۴۴

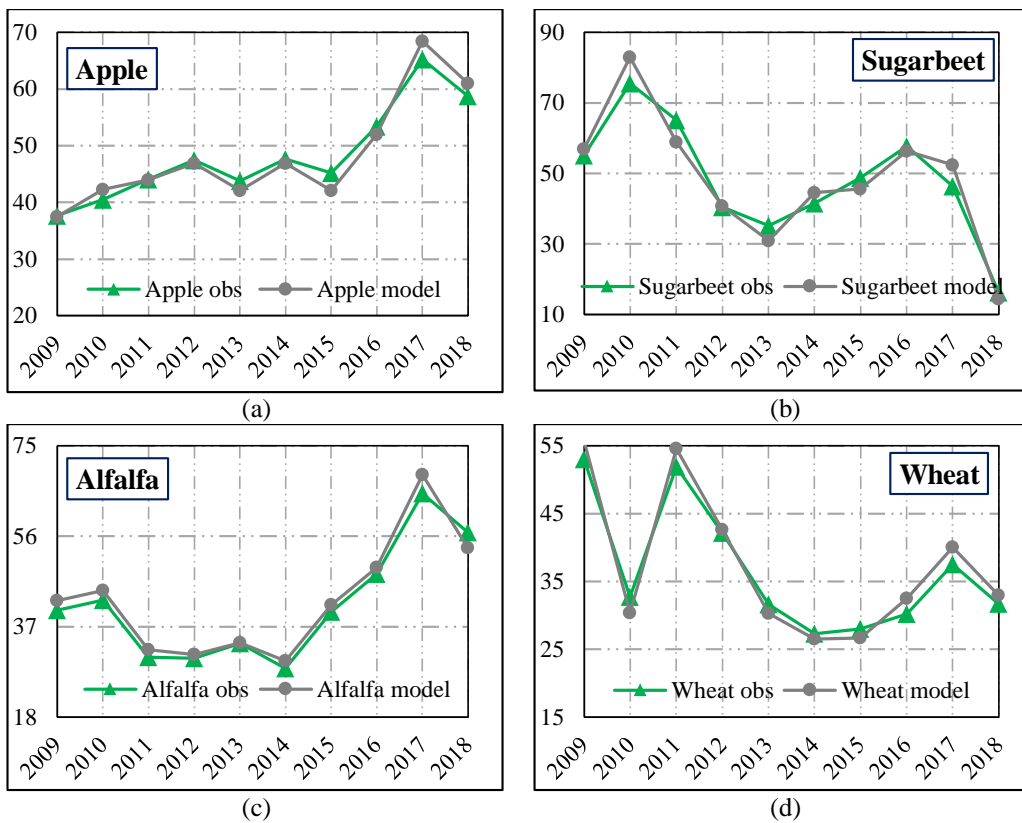


Fig. 7- Model capability in simulating agricultural water demand- Oshnaviyeh (MCM)

شکل ۷- آب مورد نیاز مشاهداتی و مدل سازی شده محصولات غالب کشاورزی در حوضه آشنویه به میلیون متر مکعب

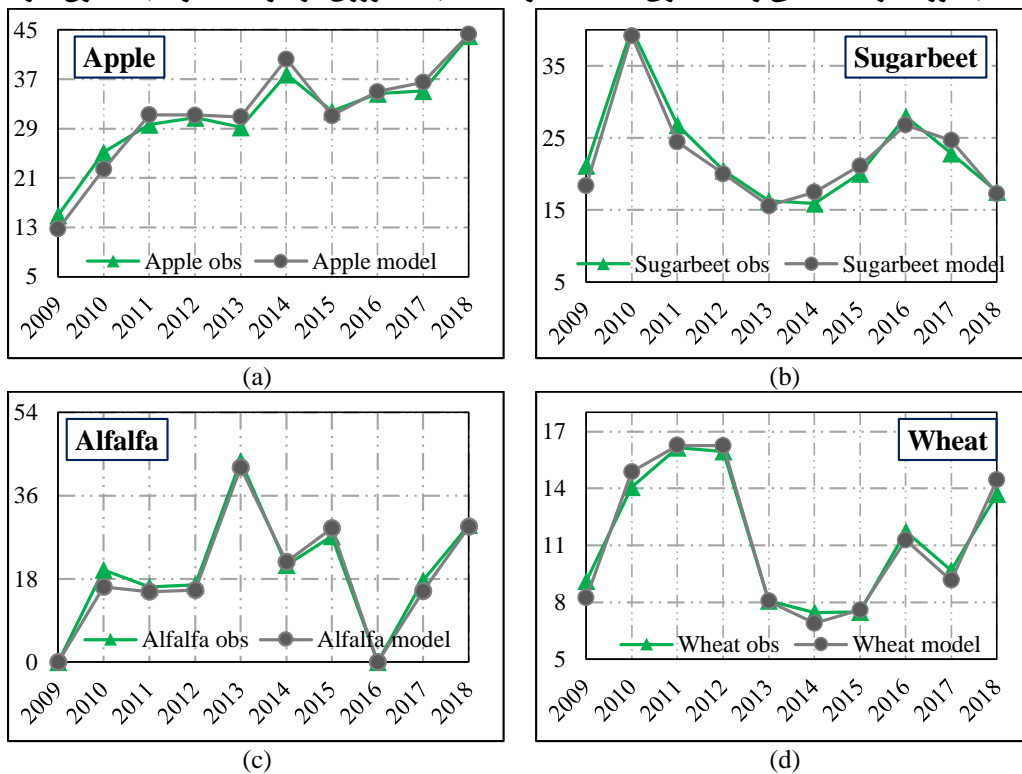


Fig. 8- Model capability in simulating agricultural water demand- Naqadeh (MCM)

شکل ۸- آب مورد نیاز مشاهداتی و مدل سازی شده محصولات غالب کشاورزی در حوضه نقده به میلیون متر مکعب

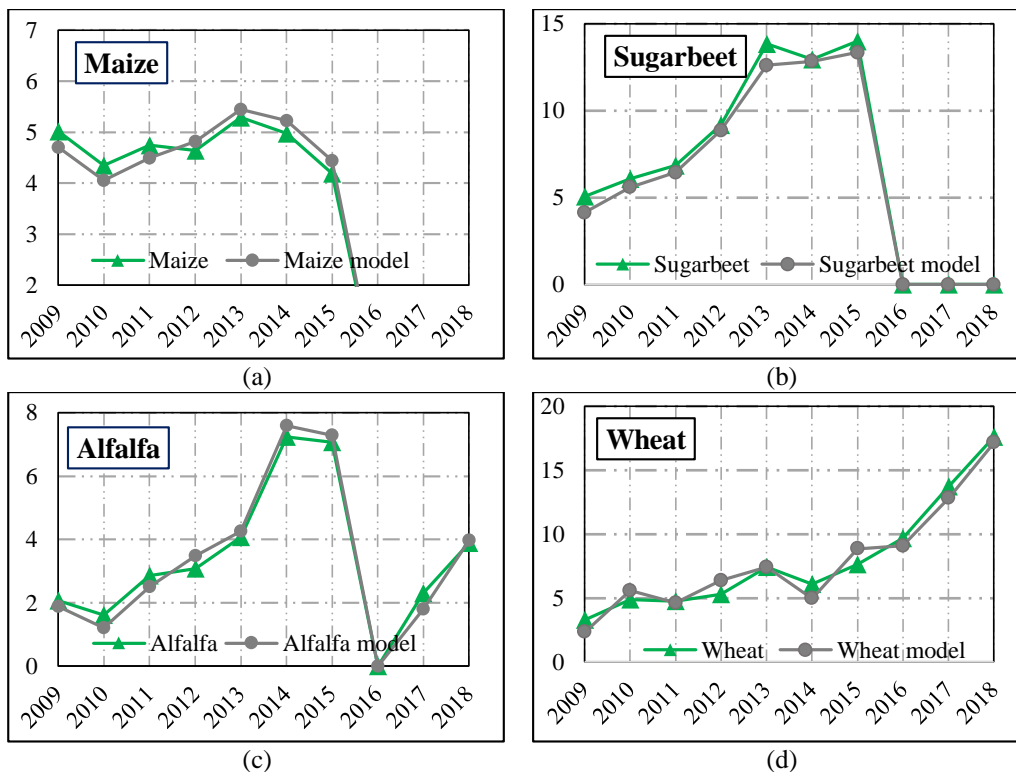


Fig. 9- Model capability in simulating agricultural water demand- Hasanlu (MCM)  
 شکل ۹- آب مورد نیاز مشاهداتی و مدل سازی شده محصولات غالب کشاورزی در حوضه حسنلو به میلیون متر مکعب

افزایش سطح زیر کشت محصولات پر آب بر مانند سیب و چغندرقد نیز در این مورد اثر قابل توجهی دارد.

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، دلیل استفاده از مدل MABIA، مدل سازی عملکرد محصولات کشاورزی نیز بوده است. جداول ۵ تا ۷ نتایج مدل سازی مدل WEAP برای عملکرد محصولات در دوره پایه مدل سازی (۲۰۰۹-۲۰۱۸) را نشان می دهد. مطابق جداول، تخمین عملکرد محصولات با تفاوت حداقل ۲/۶ و حداکثر ۸/۹ درصدی انجام شده است. محصولات سیب، چغندرقد و ذرت علوفه ای نیز بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داده اند.

همچنین، در طول دوره مرجع، میزان شاخص اطمینان پذیری تأمین آب که بیانگر درصدی از دوره زمانی است که تقاضای یک مصرف کننده به طول کامل ارضا شده است، در طول کل دوره برای بخش شرب در تمام حوضه ها ۱۰۰ درصد برآورد شده و برای بخش کشاورزی در حوضه های اشنویه، نقده و حسنلو به ترتیب ۷۳، ۶۷ و ۷۹ درصد است. بر اساس این نتایج، حوضه نقده نسبت به سایر حوضه ها، با مشکل کم آبی بیشتری مواجه بوده است. دلیل عدم تأمین کامل آب مورد نیاز محصولات کشاورزی، وقوع سال های خشک و ناتوانی سیستم در تأمین آب در طی دوره آماری مد نظر است. همچنین،

Table 5- Model capability in simulating crop yield-Oshnaviyeh (ton)  
 جدول ۵- متوسط عملکرد محصولات مشاهداتی و مدل سازی در دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ حوضه اشنویه (تن)

Crop	Obs. crop yield	Modeled crop yield	Variation Percent
Alfalfa	21337.1	22321.9	4.6
Apple	106825.3	110818.0	3.7
Beans	3051.7	3170.0	3.9
Corn	12947.9	11794.0	8.9
Sugarbeet	229748.9	219220.8	4.6
Wheat	19432.9	19981.3	2.8

**Table 6- Model capability in simulating crop yield- Naqadeh (ton)**  
جدول ۶- متوسط عملکرد محصولات مشاهداتی و مدل سازی در دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ حوضه نقده (تن)

Crop	Obs. crop yield	Modeled crop yield	Variation Percent
Alfalfa	17664.4	16958.7	4.0
Apple	67197.3	68957.8	2.6
Barley	4049.1	4177.7	3.2
Corn	9044.1	8771.7	3.0
Maize	81538.6	76770.9	5.8
Pumpkin	2928.6	2817.1	3.8
Sugarbeet	137420.2	141917.0	3.3
Wheat	10534.4	10245.3	2.7

**Table 7- Model capability in simulating crop yield- Hasanlu (ton)**  
جدول ۷- متوسط عملکرد محصولات مشاهداتی و مدل سازی در دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ حوضه حسنلو (تن)

Crop	Obs. crop yield	Modeled crop yield	Variation Percent
Alfalfa	2956.5	2849.5	3.5
Canola	3329.1	3223.1	4.6
Barley	2156.0	2079.0	5.4
Maize	48205.7	47641.7	5.1
Pumpkin	450.7	462.7	2.7
Peas	950.9	939.9	4.9
Sugarbeet	62314.9	61984.9	3.6
Wheat	7004.9	6842.9	4.7
Sunflower	1232.1	1247.1	3.9

مرجع به طور کامل تأمین می‌شود و میزان شاخص اطمینان‌پذیری تأمین آب در طول کل دوره برای بخش کشاورزی در جدول ۸ برای هر سناریو ارائه شده است. بر این اساس، وضعیت حوضه نقده که در سناریوی پایه تحت تأثیر کم‌آبی بیشتری نسبت به دو حوضه دیگر قرار گرفته بود، می‌تواند با اعمال سناریوهای سوم تا پنجم بهبود یابد. بدیهی است که حوضه‌های اشنویه و حسنلو نیز از این قاعده مستثنی نیستند. از میان سناریوهای در نظر گرفته شده، سناریوی چهارم (S4) که اعمال همزمان کاهش سطح زیر کشت (اعمال ۱۰ درصد آیش) و افزایش راندمان آبیاری بوده است، بالاترین اطمینان‌پذیری را ارائه می‌دهد.

در تحلیل سناریوهای مورد بررسی در مدل WEAP، سال پایه ۲۰۰۹ به عنوان سال شروع شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. در شرایط موجود، اولویت اول تأمین کامل آب شرب بوده و تأمین آب آبیاری با توجه به شرایط مناسب اقلیمی صورت می‌گیرد. در سناریوی مرجع، میزان آب مورد نیاز برای بخش کشاورزی در حوضه‌های اشنویه، نقده و حسنلو در طول سال‌های مدل‌سازی به طور متوسط حدود ۱۷۷، ۱۰۲ و ۲۵ میلیون متر مکعب است. کمترین و بیشترین نیاز مربوط به سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۷ می‌شود که عامل آن، افزایش سطح زیر کشت و پس از آن خشک‌تر بودن سال در سال ۲۰۱۷ است. در تمامی سناریوهای در نظر گرفته شده، تقاضای آب شرب هر سه حوضه مانند سناریوی

**Table 8- Agricultural water supply reliability under management scenarios (%)**  
جدول ۸- میزان شاخص اطمینان‌پذیری تأمین آب برای بخش کشاورزی حوضه‌ها تحت سناریوهای مورد بررسی (درصد)

Crop	Oshnaviyeh Catch.	Naqadeh Catch.	Hasanlu Catch.
S1	73	67	79
S2	76	71	83
S3	79	75	85
S4	82	80	88
S5	79	77	84

## ۶- نتیجه گیری

امنیت غذایی به عنوان یکی از اهداف مهم توسعه پایدار معرفی شده است. با این وجود، عدم توجه به توسعه پایدار در بخش کشاورزی علاوه بر به خطر انداختن امنیت غذایی، امنیت آبی را نیز با چالش‌های جدی مواجه می‌کند که منجر به پیامدهای اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود. یکی از عوامل مهم در کاهش میزان آب ورودی از رودخانه گدارچای به دریاچه ارومیه، افزایش کنترل نشده سطح زیر کشت محصولات کشاورزی است. در پژوهش حاضر تلاش شده است که به بررسی تخصیص منابع آب در حوضه گدار، یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه، با در نظر گرفتن عملکرد محصولات به عنوان شاخصی در راستای امنیت غذایی بپردازد.

بنابراین، در این مطالعه، از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی آب (WEAP) برای ارزیابی منابع آب حوضه آبریز گدارچای استفاده شده و برای مدل‌سازی دقیق نیاز آبی و نیز عملکرد محصولات از ماژول MABIA در مدل یاد شده استفاده گردید. مدل ایجاد شده با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد کالیبره و صحت‌سنجی قرار گرفت و مشخص گردید که مدل ساخته شده به خوبی حوضه آبریز را شبیه‌سازی و تحلیل می‌کند. در این پژوهش چهار سناریوی مدیریتی برای ارزیابی اثرات آن‌ها بر روی منابع آب مورد آزمون قرار گرفته و نتایج آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. سناریوهای در نظر گرفته شده، شامل اعمال آیش، افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت از محصولات پرآب‌بر به محصولات کم‌آب بر بوده است. نتایج نشان داد که مداخلات مثبت در سیاست‌های آبی منطقه تأثیر بسزایی در بهبود وضعیت منابع آب حوضه خواهد داشت؛

به طور مثال، مطالعه حاضر نشان داد که اعمال آیش می‌تواند موجب افزایش اطمینان‌پذیری تأمین آب مصرف‌کننده‌های حوضه شود. تغییر الگوی کشت از محصولات پرآب‌بر به کم‌آب‌بر و افزایش راندمان آبیاری نیز به نوبه خود تأثیر مثبتی در منابع آب حوضه دارد. بنابراین برای رسیدن به پایداری منابع آب در حوضه گدار و نیز برای مقابله با کمبود آب در بخش کشاورزی، توصیه می‌شود تا سیاست‌های مدیریتی مناسبی برای افزایش راندمان آبیاری، جلوگیری از افزایش سطح زیر کشت محصولات و بهبود الگوی کشت مطابق با نیازهای منطقه و نیز مطابق با مدیریت یکپارچه منابع آب اعمال شود. بدیهی است که همراهی و همیاری ساکنان منطقه از جمله کشاورزان در این‌گونه سیاست‌ها موجب پایداری منابع آب در محدوده مورد مطالعه خواهد شد.

## پی‌نوشت‌ها

- 1- Integrated Water Resources Management
- 2- WEAP
- 3- Stockholm Environment Institute
- 4- Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area
- 5- Calibration
- 6- Validation
- 7- Soil Moisture Method
- 8- Plant Growth Model
- 9- Parameter Estimation
- 10- Gauss- Marguardt- Levenberg Algorithm
- 11- Steepest Descent Gradient
- 12- Jacobian Matrix
- 13- Minimize Residual Error
- 14- Nash-Sutcliffe efficiency

## ۷- مراجع

- Abera Abdi D, & Ayenew T (2021) Evaluation of the WEAP model in simulating subbasin hydrology in the Central Rift Valley basin, Ethiopia. *Ecological Processes* 10(1):1-14
- Agarwal S, Patil J P, Goyal V C, & Singh A (2019) Assessment of water supply-demand using water evaluation and planning (WEAP) model for Ur River watershed, Madhya Pradesh, India. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A* 100:21-32
- 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
- Al Sabeh H, Abdallah C, Merheb M, & Zeitoun M (2022) Scenario simulation and analysis in the transboundary Yarmouk River basin using a WEAP model. *International Journal of River Basin Management* 1-22
- Allani M, Jabloun M, Sahli A, Hennings V, Massmann J, & Müller H (2012) Enhancing on farm and regional irrigation management using MABIA-Region tool. 4th International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications, IEEE 18-21
- Allen R G, Pereira L S, Raes D, & Smith M (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300(9):D05109
- Castelletti A, & Soncini-Sessa R (Eds.) (2006) Topics on system analysis and integrated water resources management. Elsevier
- Demertzi K A, Papamichail D M, Georgiou P E, Karamouzis D N, & Aschonitis V G (2014) Assessment of rural and highly seasonal tourist activity plus drought effects on reservoir operation in a semi-arid region of Greece using the WEAP model. *Water International* 39(1):23-34
- Doherty J (2004) PEST model-independent parameter estimation user manual. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia, 3338, 3349
- Doorenbos J & Kassam A H (1979) Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper* 33:257
- Ghorbanpour A K, Kisekka I, Afshar A, Hessels T, Taraghi M, Hessari B, & Duan Z (2022) Crop water productivity mapping and benchmarking using remote sensing and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing* 14(19):4934
- Hamlat A, Errih M, & Guidoum A (2013) Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences* 6(7):2225-2236
- Hoff H, Bonzi C, Joyce B, & Tielbörger K (2011) A water resources planning tool for the Jordan River Basin. *Water* 3(3):718-736
- Layani G, & Bakhshoodeh M (2022) Effects of climate change on the agricultural sector in the Kheirabad River Basin: Application of WEAP Software. *Agricultural Economics Research* 13(4):208-223
- Ministry of Energy (2013) Update of the country's comprehensive water plan in the basins of Aras, Urmia, Talash -Anzali wetland, Sefidroud Bozorg, Sefidroud -Haraz, Haraz -Qarasu, Gorganrud and Atrak. 156 pages (In Persian)
- Mirzaei A, & Zibaei M (2021) Water conflict management between agriculture and wetland under climate change: Application of economic-hydrological-behavioral modelling. *Water Resources Management* 35:1-21
- Moriasi D N, Arnold J G, Van Liew M W, Bingner R L, Harmel R D, & Veith T L (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* 50(3):885-900
- Myat K & Aye N (2017) Proposal of water allocation plans for Mandalay area in Myanmar. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences* 31(1):24-39
- Nivesh S, Patil J P, Goyal V C, Saran B, Singh A K, Raizada A, & Kuriqi A (2023) Assessment of future water demand and supply using WEAP model in Dhasan River Basin, Madhya Pradesh, India. *Environmental Science and Pollution Research* 30(10):27289-27302
- Rochdane S, Reichert B, Messouli M, Babqiqi A, & Khebiza M Y (2012) Climate change impacts on water supply and demand in Rheraya Watershed (Morocco), with potential adaptation strategies. *Water* 4(1):28-44
- Sadeghi B, Borazjani M A, Mardani M, Ziaee S, & Mohammadi H (2023) Systemic management of water resources with environmental and climate change considerations. *Water Resources Management* 37(6-7):2543-2574
- Samaras A G, & Koutitas C G (2014) The impact of watershed management on coastal morphology: A case study using an integrated approach and numerical modeling. *Geomorphology* 211:52-63

Simons G, Koster R, & Droogers P (2020) Hihydrosoil v2. 0-high resolution soil maps of global hydraulic properties. Wageningen, The Netherlands

Yates D, Sieber J, Purkey D, & Huber-Lee A (2005) WEAP21-A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International* 30(4):487-500

Zhang Z, He Y, Chen X, & Tan Q (2023) Improvement of WEAP model considering regional and industrial water distribution priority and its application. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 47:101414

Zohrabi N, Nassaj B N, & Shahbazi A (2017) Effects of surface irrigation efficiency improvement on water resources system indices. In 23rd International Congress on Irrigation and Drainage, pp 1-16