Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Water resources planning and management in Lake Urmia basin using the water accounting approach

Elham Amani Shahrak [1] | Mojtaba Shourian [2]✉ | Hamid Kardan Moghaddam [3]

1. Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: e.amanishahrak@mail.sbu.ac.ir
2. Corresponding Author, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: m_shourian@sbu.ac.ir
3. Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran. E-mail: hkardan1841@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 4, 2024

Revised: Feb. 5, 2024

Accepted: March. 3, 2024

Published online: Sep. 2024

Keywords:
Water Accounting,
User Page,
MEREC Model,
COPRAS Model,
Prioritization.

ABSTRACT

The objective of this study is to introduce and employ a water accounting method as a suitable approach for assessing the watershed's condition and providing and examining solutions to improve water resources management. The employed water accounting method in this research is the Water Accounting Plus framework (WA+), which is based on water balance parameters and distinguishes between green and blue water components. In this study, four accounting sheets were used: resource base, evapotranspiration, agricultural services, and water extraction. The evaluation results of these sheets indicated that the first sheet, representing the ratio of available water to exploitable water, was estimated at 0.59, and the second sheet, indicating the beneficial evapotranspiration, was estimated at 0.75. Furthermore, the third sheet, describing the amount of water utilized in irrigated lands, was calculated as 0.87, and the fourth sheet, representing the ratio of return flow to total water withdrawal, was found to be 0.51 for the watershed. Subsequently, remedial solutions for optimizing water resources utilization were defined, and based on three weighted criteria: technical, environmental, and socio-economic, prioritization was performed using the MEREC model and the COPRAS decision-making method. Based on the results, it was demonstrated that a combined approach of a 2% increase in agricultural efficiency and a 10% reduction in cultivated area for crops other than wheat is the best remedial solution, covering the mentioned criteria to an acceptable extent.

Cite this article: Amani Shahrak, E., Shourian, M., & Kardan Moghaddam, H. (2024) Water resources planning and management in Lake Urmia basin using the water accounting approach, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (7), 1217-1236.

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370616.669638

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۷ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از رویکرد حسابداری آب

الهام امانی شهرک[۱] | مجتبی شوریان[۲]✉ | حمید کاردان مقدم[۳]

۱. دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران. رایانامه: e.amanishahrak@mail.sbu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_shourian@sbu.ac.ir

۳. موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران. رایانامه: hkardan1841@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

تاریخ انتشار: مهر ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
حسابداری آب،
کاربرگ،
مدل MEREC،
مدل COPRAS،
اولویت‌بندی.

چکیده

هدف از این مطالعه معرفی و به‌کارگیری یک روش حسابداری آب به عنوان رویکردی مناسب جهت ارزیابی وضعیت حوضه و ارائه و بررسی راهکارهایی به منظور بهبود مدیریت منابع آب می‌باشد. روش حسابداری آب به کار رفته در این پژوهش چارچوب حسابداری آب به‌علاوه (WA+) است که مبتنی بر پارامترهای بیلان منابع آب، تفکیک بین اجزای آب سبز و آب آبی می‌باشد. در تحقیق حاضر از چهار کاربرگ منابع پایه، تبخیر و تعرق، خدمات کشاورزی و برداشت آب استفاده شده است. نتایج ارزیابی این کاربرگ‌ها نشان داد، نشانگر کاربرگ اول که بیان‌کننده نسبت آب در دسترس به آب قابل بهره‌برداری است، ۰/۵۹ و نشانگر کاربرگ دوم که نشان‌دهنده میزان تبخیر و تعرق سودمند به کل آن است، ۰/۷۵ برآورد شدند. همچنین نشانگر کاربرگ سوم، که مقدار آب بهره‌برداری شده در زمین‌های فاریاب را توصیف می‌کند برابر ۰/۸۷ و نشانگر کاربرگ چهارم که معرف نسبت آب برگشتی به کل آب برداشت شده‌است برابر ۰/۵۱ برای حوضه آبریز بدست آمدند. در ادامه، راهکارهای علاج‌بخشی به منظور استفاده بهینه از منابع آب تعریف شده و بر اساس سه معیار فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی که با استفاده از مدل MEREC وزن‌دهی شده‌اند، توسط روش تصمیم‌گیری COPRAS اولویت‌بندی گردیدند. براین اساس نتایج نشان داد که استفاده از روش ترکیبیِ افزایش ۲٪ بهبود راندمان کشاورزی و کاهش ۱۰٪ سطح کشت محصولات زراعی به‌جز گندم، بهترین راهکار علاج‌بخشی می‌باشد که سه معیار مذکور را تا حد قابل قبولی پوشش می‌دهد.

استناد: امانی شهرک، الهام؛ شوریان مجتبی؛ کاردان مقدم، حمید (۱۴۰۳) برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از رویکرد حسابداری آب، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۷)، ۱۲۳۶-۱۲۱۷.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370616.669638

مقدمه

امروزه متخصصان آب در صدد پیاده‌سازی بهترین راهکارها جهت مدیریت یکپارچه منابع آب به منظور توسعه و پایداری در بهره‌مندی از منابع آب و ایجاد آبادانی در جوامع هستند. نخستین گام در مدیریت یکپارچه، ارزیابی منطقه به کمک درک ارتباط بین داده‌ها جهت ارائه راهکارهای مفید می‌باشد. رویکردی که بدین منظور استفاده می‌شود باید قابل‌اطمینان باشد و بتواند فرایندهای هیدرولوژیکی منطقه را به طور واضح بیان و جریان‌های موجود برای مصارف گوناگون را از یکدیگر تفکیک کند. سامانه‌ای با این ویژگی‌ها، تحت عنوان حسابداری آب معرفی می‌شود. این چارچوب جهت مدیریت همه‌جانبه منابع آب، امکان ارزیابی و تحلیل داده‌ها در بخش‌های هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و بهره‌وری را با مرتب‌سازی و برقراری پیوند میان آن‌ها، فراهم می‌آورد (سحر خزاعی و همکاران، ۱۳۹۶). تاکنون سازمان های مختلفی مانند قسمت آمار سازمان ملل (UNSD[1])، قسمت آب سازمان ملل (UN-Water[2])، فائو (FAO[3])، موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI[4])، کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID[5]) و سیستم حسابداری آب استرالیا، سامانه‌هایی برای حسابداری آب معرفی کرده‌اند (Chalmers and Godfrey, 2012). Karimi et al. (2012) سامانه‌های مختلفی را مورد بررسی قرار داده‌اند و طی این تحقیق بیان می‌دارد برخی از آن‌ها مانند SEEA-Water[6] و سامانه حسابداری آب استرالیا، توانایی بررسی تأثیرات روش‌های گوناگون و مدیریتی در منابع و مصارف را ندارند و تعامل بین کاربری اراضی و جریانات آب را تأثیر نمی‌دهند. همچنین برخی دیگر مثل سیستم مطرح‌شده توسط فائو، تنها میزان رواناب و برداشت را مد نظر قرار می‌دهد. در سال‌های گذشته، سامانه نوینی از حسابداری آب بر مبنای بیلان آب حوضه آبریز و با توجه به قوانین IWMI توسط موسسه محیط‌زیست دانشگاه دلف هلند و نیز با مشارکت فائو به نام WA در سال ۲۰۱۳ معرفی شده است (Karimi et al, 2013). این سامانه در کنار رفع ایرادات یادشده در سامانه‌های قبلی، به جای داده‌های برداشت، از داده‌های مصرف آب استفاده می‌کند؛ به همین دلیل به خروجی‌های قابل‌اطمینان‌تری دست پیدا خواهد کرد.

مسئله دیگر در بخش منابع آب، ، محدود بودن داده‌های دقیق منابع آب در سطح حوضه است. رویکرد WA[7] نیز مانند سامانه‌های قبلی، از داده‌های زمینی استفاده می‌کند، در صورتی که استفاده از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای جهت حصول اطلاعات پایه هیدرولوژیکی فرآیندها در سطح زمین، تکمیل‌کننده داده‌های زمینی است و میزان عدم قطعیت داده را کاهش می‌دهد (Guerschman,2009) و نیز استفاده از این نوع داده‌ها باعث درک بهتر شرایط جهانی در زمینه منابع و مصارف می‌شود (Karimi and Bastiaanssen, 2014). همچنین، داده‌های خام از تصاویر ماهواره‌ای نیاز به یکپارچه‌سازی، دسته‌بندی و ارائه در چارچوب قابل‌فهم دارند (Karimi et al,2013). از این رو، پژوهشگران بر آن شدند تا چارچوب WA را بهبود بخشند. این روش نوین تحت عنوان چارچوب WA+[8] معرفی می‌شود که روشی آسان، قابل‌فهم و استاندارد است که وضعیت مدیریت آب و زمین را در حوضه‌های آبریز پیچیده توصیف می‌کند. بر اساس آخرین به روز رسانی در سال ۲۰۱۶، هشت کاربرگ به منظور ارزیابی بیلان حوضه برای این سامانه معرفی شده است (www.wateraccounting.org). همچنین، نشانگرهایی جهت تحلیل و ارزیابی، از هر کاربرگ قابل استخراج می‌باشد که هر پژوهشی متناسب با هدف یا اهدافی که دارد می‌تواند از آن‌ها استفاده نماید.

Peiser and Bastiaanssen (2015) برای رودخانه هیرمند واقع در کشور افغانستان از چارچوب WA+ برای تولید جدول‌های حسابداری آب استفاده کردند. پژوهش آن‌ها نشان داد که مصرف آب در بخش کشاورزی حدود ۴۵ درصد از منابع آب تجدیدپذیر است. همچنین آنها نشان دادند که کاهش مصرف غیرمفید آب، از دو روش کشاورزی دیم و فاریاب امکان‌پذیر است. آنها پیشنهاد دادند که فرآیندهای مدیریتی می‌تواند برای افزایش نفوذ آب و ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک با اضافه کردن مواد آلی به خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک با استفاده از مالچ به کار گرفته شوند. همچنین، دلاور و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بهبود توانایی چارچوب WA+ با پیوند SWAT[9] برای دستیابی به یک مدل مفهومی جهت سیاست‌گذاری و مدیریت بهتر منابع آب در محدوده مطالعاتی طشک-بختگان پرداختند. در این پژوهش به توسعه SWAT-Fars پرداخته می‌شود و روش به‌کاررفته، برای حوضه‌هایی که دچار کمبود آب هستند، توصیه می‌شود. همچنین در این پژوهش دو پیشنهاد حذف کشت برنج و آبیاری تحت‌فشار مطرح و بررسی شد؛ نتیجه آن افزایش مصرف آب در

1 United Nations Statistics Division
2 United Nations Water
3 Food and Agriculture Organization
4 International Water Management Institute
5 International Commission on Irrigation and Drainage
6 the System of Environmental-Economic Accounting for Water
7 Water Accounting
8 Water Accounting plus
9 Soil and Water Assessment Tool

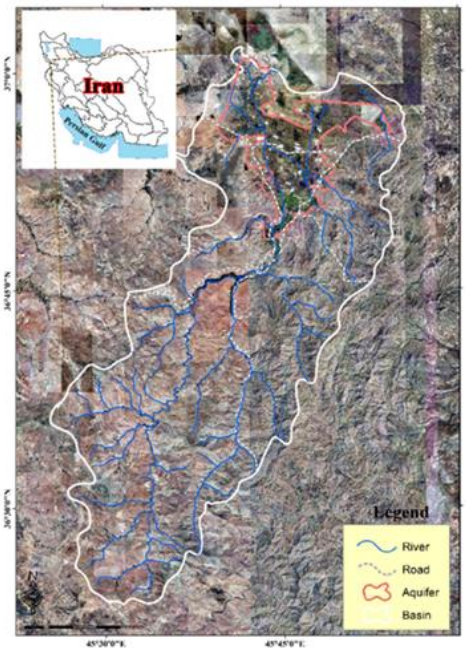
صورت استفاده از آبیاری تحت‌فشار و کاهش مصرف آب در صورت حذف کشت برنج بدست آمد. در ادامه، Singh et al. (2022) چارچوب WA+ را در حوضه مربوطه در هند، جهت ارزیابی کل مصرف آب و نیز بهره‌وری زمین و آب برای یک دوره ۱۲ ساله از داده‌های ماهواره‌ای و منابع داده باز، طی پژوهشی استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که چارچوب WA+ را می‌توان با موفقیت برای تجزیه و تحلیل الگوهای مصرف آب، بهره‌وری زمین و بهره‌وری آب محصولات آبی و دیم به‌صورت جداگانه به کار برد. رحیم‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) نیز در تحقیقی با هدف آنالیز پارامترهای بیلان هیدروکلیماتولوژی با استفاده از چارچوب WA+ به محاسبه کاربرگ‌های سه‌گانه منابع پایه، تبخیر و تعرق و برداشت منابع آب در حوضه آبریز پلاسجان پرداختند. در این تحقیق، نتایج نشان داد که میزان تبخیروتعرق در چارچوب WA+ نسبت به چارچوب بیلان افزایش داشته ولی دو مولفه نفوذ و رواناب کاهش داشته است. همچنین اثبات شد که چارچوب WA+ جهت ارزیابی بیلان هیدروکلیماتولوژی با توجه به استفاده از سنجش از دور و با توجه به کمبود اطلاعات، بسیار مناسب بوده و این چارچوب می‌تواند میزان عدم قطعیت پارامترهای مختلف بیلان منابع آب را در سطح یک حوضه کاهش دهد.

نتایج نشان می‌دهد روش WA+ چارچوبی آسان و روشن است که ضمن حفظ یکپارچگی و در نظر گرفتن عوامل موثر بر حوضه، به کمک داده‌های ماهواره‌ای، چگونگی شرایط فعلی مدیریت آب را در حوضه‌های آبریز بیان می‌کند. بنابراین در تحقیق پیش‌رو برای اولین بار از چارچوب WA+ جهت بررسی وضعیت فعلی و همچنین ارزیابی راهکارهای علاج‌بخشی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب با مفهوم بهره‌وری آب (میزان محصول به آب مصرفی) در حوضه مهاباد استفاده شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در امر تصمیم‌گیری و انتخاب راهکارهای مناسب جهت استفاده بهینه از منابع آب در مقیاس حوضه به متولیان آب کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی مهاباد در جنوب دریاچه ارومیه در حوضه آبریز این دریاچه واقع شده است. مساحت کلی این محدوده مطالعاتی ۱۵۰۸ کیلومترمربع می‌باشد. از این میزان ۲۴۹ کیلومترمربع مربوط به وسعت دشت و ۱۲۵۹ کیلومترمربع را نیز ارتفاعات محدوده مطالعاتی تشکیل می‌دهد. رودخانه مهابادچای اصلی‌ترین رودخانه در این محدوده مطالعاتی است که در بالادست شهر مهاباد بر روی آن، سد مهاباد واقع شده است و تامین آب در بخش‌های مختلف از طریق این سد انجام می‌گردد (وزارت نیرو، ۹۰-۱۳۸۹). طبق داده‌های وزارت نیرو و محاسبات انجام‌شده میزان جریان سطحی خروجی از این محدوده ۸۱/۱۳ میلیون مترمکعب است. برداشت آب در این محـدوده مطالعاتی شامل ۱۶/۲۳ میلیـون مترمکعـب آب زیرزمیـنی(چاه) و ۲۲۵/۱۵ میلیون مترمکعب جریان سطحی و چشمه‌ها است که به ترتیب ۲۲۶/۰۳ میلیون مترمکعب به مصرف کشاورزی،۱۵/۱میلیون مترمکعب به مصرف شرب و مابقی به مصرف صنعت می‌رسد. در ادامه نقشه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱. نقشه جغرافیایی و موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در این تحقیق بر اساس داده‌های زمینی منابع و مصارف، زمین‌های کشاورزی، ورودی‌ها و خروجی‌های حوضه و همچنین داده‌های ماهواره‌ای تبخیر و تعرق، برگاب، بارش و کاربری اراضی، چارچوب +WA جهت حسابداری آب منطقه در چهار کاربرگ منابع پایه، تبخیر و تعرق، خدمات کشاورزی و برداشت آب پیاده‌سازی و نشانگر انتخابی هر کاربرگ محاسبه شد. پس از ارائه راهکارها و ارزیابی آنها در چهار کاربرگ مذکور، نشانگرهای هر کاربرگ برای هر راهکار پیشنهادی برآورد شد. در آخر نیز معیارهای سنجش هر راهکار شامل معیارهای فنی (برگرفته از نشانگرهای انتخابی هر کاربرگ در سامانه +WA)، اقتصادی–اجتماعی و محیطزیستی محاسبه شده و سپس توسط مدل MEREC[1] وزن دهی شدند. در نهایت، راهکارها به‌وسیله‌ی مدل کارای COPRAS[2] اولویت‌بندی گردیدند.

چارچوب +WA

چارچوب حسابداری آب بعلاوه به عنوان روشی سهل و نوین در میان رویکردهای حسابداری آب است که می‌تواند حوضه آبریز مطالعاتی را در وضعیت فعلی و در حالت اعمال راهکارهای علاج بخشی، به‌وسیله کاربرگ‌های مختلفی همچون، منابع پایه، تبخیر و تعرق، خدمات کشاورزی، برداشت آب و غیره تحلیل کند. شایان ذکر است که کاربرگ‌های نام‌برده هر یک به منظور بررسی وضعیت منابع و مصارف، میزان تبخیر–تعرق سودمند و غیرسودمند، شرایط بهره‌وری آب و زمین در اراضی کشاورزی فاریاب و تعیین مقدار برداشت آب و آب برگشتی در مقیاس حوضه می‌باشند. این چارچوب در ابتدا، کاربری اراضی را به منظور نشان دادن اثرات آن، طبقه‌بندی کرده و سپس ارتباط هر یک را با آب استفاده‌شده[3] پیدا می‌کند. بخش‌های مختلف کاربری اراضی در چهار دسته اصلی بر اساس توانایی مدیریت آنها قرار می‌گیرند. این گروه‌ها شامل مصرف آب مدیریت‌شده، کاربری اراضی بهبودیافته، کاربری اراضی بهره‌برداری شده و کاربری اراضی حفاظت‌شده هستند (Karimi et al., 2013).

دسته اول (مصرف آب مدیریت‌شده)، نوعی از دسته‌بندی کاربری اراضی است که در آن چرخه آب با ساخت سازه‌ها، دچار تغییر و دگرگونی شده است، مانند ایستگاه‌های پمپاژ، سدها، کانال‌ها و غیره. دسته دوم (کاربری اراضی بهبودیافته)، به زمین‌هایی گفته می‌شود که توسط فعالیت‌های بشر برای تولید غذا و علوفه به وسیله کشاورزی دیم، همچنین بهره‌مندی از سوخت‌های بیوفیزیکی، پرورش ماهی و توسعه مکان‌های تفریحی و غیره تغییر زیادی یافتند. دسته سوم(کاربری اراضی استفاده‌شده)، مناطقی شامل دامنه‌ای از خدمات زیست بومی هستند که ارتباط کمی با کارهای بشر دارند و تنها برای تولید غذا یا چوب استفاده می‌شوند. برای نمونه، این گروه شامل چمنزارها یا دشت‌ها و زمین‌های جنگلی می‌شود. دسته چهارم (کاربری اراضی حفاظت‌شده)، مناطقی هستند که تقریباً بشر در آنها دست‌کاری نداشته است و چیزی را هم مصرف نکرده است که شامل زیست‌بوم‌های طبیعی، جنگل‌ها، آبکنارهای حفاظت‌شده، پارک‌های حفاظت‌شده و غیره می‌باشد.

در ادامه به معرفی چهار کاربرگ به‌کاررفته در سامانه +WA پرداخته شده است.

الف) کاربرگ منابع پایه (منابع آب): این کاربرگ دید کلی از منابع آب قابل بهره‌برداری، قابل مدیریت، غیرقابل مدیریت، اختصاص داده‌شده، استفاده‌شده و قابل‌استفاده را ایجاد می‌کند. پیوند بین تبخیرتعرق ناشی از بارش و تبخیرتعرق ناشی از برداشت‌های طبیعی و انسانی را تعیین می‌نماید و همچنین چرخه جو در این کاربرگ کمّی می‌شود. نشانگر استفاده‌شده در کاربرگ اول جهت ارزیابی وضعیت، نسبت آب در دسترس (AWF[4]) است که مقدار آن از نسبت آب در دسترس به آب قابل بهره‌برداری بدست می‌آید و نشان‌دهنده‌ی بخشی از آب قابل بهره‌برداری است که برای برداشت‌ها در دسترس می‌باشد. شایان ذکر است که این کاربرگ به تفکیک و تخصیص ورودی‌های منابع که در نهایت به خروجی‌های حوضه منتج خواهد شد، می‌پردازد. آب خالص ورودی حوضه به دو بخش آب سبز (تبخیر تعرق ناشی از بارندگی و خاک) و آب آبی (مقدار آب قابل بهره‌برداری) تقسیم‌بندی می‌شود. باید در نظر داشت میزان آب سبز کاربری آب مدیریت‌شده برابر با بارش مؤثر است. روش بارش مؤثر، تخمین آب باران باقیمانده در منطقه ریشه که بعد از نفوذ و رواناب می‌تواند بوسیله گیاهان استفاده شود، می‌باشد. بارش مؤثر مطابق روش وزارت کشاورزی ایالات متحده امریکا (USDA[5]) از رابطه ۱ تا ۲ بدست می‌آید (خالقی،۱۳۹۴).

---

1 Method based on the Removal Effects of Criteria
2 Complex Proportional Assessment
3 Water use
4 Available Water Fraction
5 United States Department of Agriculture

رابطه ۱) $Pef= (P/125)*(125-0.2P)$ IF: P<250 mm

رابطه ۲) $Pef=125+0.1P$ IF: P>250 mm

در ادامه میزان آب آبی برای کاربری آب مدیریت‌شده برابر مقدار کل تبخیر تعرق آب مدیریت‌شده بدست آمده از داده‌های ماهواره‌ای منهای مقدار بارش مؤثر است.

ب) کاربرگ تبخیر تعرق: این کاربرگ به محاسبه مصرف آب به وسیله دسته‌بندی کاربری اراضی و گروه‌های مصرف‌کننده آب، توصیف تأثیر انسان بر تبخیرتعرق، مصرف سودمند و ناسودمند می‌پردازد. نشانگر استفاده‌شده در کاربرگ دوم جهت ارزیابی شرایط، نسبت تبخیر تعرق سودمند (BTF[1]) است که مقدار آن از نسبت تبخیر تعرق مفید به کل تبخیر تعرق بدست می‌آید و نشان‌دهنده‌ی بخشی از تبخیر تعرق که سودمند واقع می‌شود، است.

ج) کاربرگ خدمات کشاورزی: این کاربرگ به توصیف میزان بهره‌وری آب و زمین در بخش کاربری آب مدیریت‌شده، می‌پردازد. نشانگر استفاده‌شده در کاربرگ سوم جهت ارزیابی وضعیت، بهره‌وری آب در زمین‌های کشاورزی فاریاب (WP[2]) است که مقدار آن همان میانگین وزنی بهره‌وری آب در منطقه است و نشان‌دهنده‌ی متوسط میزان محصول برداشت‌شده به تبخیر و تعرق محصولات است.

د) کاربرگ برداشت آب: این کاربرگ به شناسایی مصرف‌های مختلف آب، شناسایی برداشت‌های انسانی و طبیعی، توصیف برداشت از آب سطحی و زیرزمینی و کمی کردن چرخه آب می‌پردازد. نشانگر استفاده‌شده در کاربرگ چهارم جهت ارزیابی شرایط، نسبت آب برگشتی (RF[3]) است که مقدار آن نسبت آب برگشتی به کل آب برداشت‌شده در منطقه است.

تدوین راهکارهای علاج بخشی

با توجه به کاهش آب قابل تخصیص از سد مهاباد، توسعه انجام‌گرفته در اراضی فاریاب و معضل تامین نیاز زیست‌محیطی، تدوین الگویی جهت استفاده بهینه از منابع آب ضروری است. بر این اساس با استفاده از مفهوم بهره‌وری (میزان محصول به آب مصرفی) راهکارهای علاج بخشی به شرح زیر تدوین گردید. این راهکارها می‌بایست با همکاری کشاورزان و متولیان آب (جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای) در منطقه انجام شود.

الف) راهکار دسته‌ی اول: افزایش عملکرد (تغییر رقم گیاه)

افزایش عملکرد علی‌رغم منجر شدن به افزایش آب مصرفی یکی از راهکارهای افزایش رضایت اقتصادی–اجتماعی است، همچنین تولید و بهره‌وری را بهبود می‌بخشد؛ بنابراین ممکن است در درازمدت اثرات مثبتی در مصرف آب نیز داشته باشد. این سناریو به دو روش اعمال شده است؛ روش اول (A1)، تنها افزایش عملکرد گندم و روش دوم (A2)، افزایش عملکرد زمین‌های زراعی آبیاری‌شده می‌باشد.

ب) راهکار دسته دوم: کاهش سطح کشت

کاهش سطح کشت یکی از ساده‌ترین راهکارهای کاهش مصرف آب است که در آن معیار اقتصادی–اجتماعی نسبت به سایر سناریوها مقدار کمتری دارد. این سناریو به سه روش اعمال‌شده است. روش اول (B1) کاهش پنج درصد از اراضی زراعی آبیاری و روش دوم (B2)، کاهش ده‌درصدی از این زمین‌ها و درنهایت روش سوم (B3)، کاهش ده‌درصدی از زمین‌های زراعی آبیاری به‌جز گندم است.

ج) راهکار دسته سوم: افزایش راندمان

افزایش راندمان یکی از راه‌های کاهش هدر رفت آب به وسیله بهبود راه‌های انتقال و توزیع است که معمولاً مقدار معیار اقتصادی–اجتماعی آن متوسط و متوسط به بالا است. این سناریو نیز به دو روش اعمال‌شده است؛ روش اول (C1)، افزایش راندمان به مقدار یک درصد و روش دوم (C2) به مقدار دو درصد است.

د) راهکار دسته چهارم: روش‌های ترکیبی

شاید ایجاد تغییرات هم‌زمان در بحث کشاورزی بهترین نتیجه را داشته باشد چراکه مسائل مربوط به آن همگی به‌صورت زنجیروار به یکدیگر متصل هستند. این سناریو به چهار روش اعمال‌شده است که در آن از هر دسته روشی که تغییرات بیشتری ایجاد کرده و یا انجام آن توسط کارشناسان خبره توصیه شده است، انتخاب و دوبه‌دو با هم ترکیب شده‌اند. روش اول (D1) ترکیب افزایش عملکرد زمین زراعی

1 Beneficial Transpiration Fraction
2 Water Productivity for Irrigated Crops
3 Return Flow Fraction

و کاهش ۱۰ درصد سطح کشت زراعی به‌جز گندم، روش دوم (D2) ترکیب افزایش عملکرد زمین زراعی و افزایش ۲ درصد راندمان، روش سوم (D3) ترکیب کاهش ۱۰ درصد سطح کشت زراعی به‌جز گندم و افزایش ۲ درصد راندمان و در نهایت نیز روش چهارم (D4) تلفیق توأمان سه روش برگزیده می‌باشد.

معیارهای ارزیابی

پس از بررسی وضعیت منابع و مصارف، تبخیر تعرق سودمند و غیرسودمند، بهره‌وری آب و زمین و برداشت آب در شرایط موجود توسط چارچوب +WA ، راهکارهایی جهت بهبود شرایط از لحاظ فنی، محیطزیستی و اقتصادی–اجتماعی پیشنهاد شد که جهت سنجش آنها از معیارهای زیر استفاده می‌شود. معیار فنی طبق روابط ۳ تا ۷، برآیند نشانگرهای کاربرگ‌های +WA است، به‌نحوی‌که برای نشانگرهای مهم‌تر اثر بیشتری در نظر گرفته‌شده است.

رابطه ۳) $$\text{معیارفنی} = 0.3 * AWF^{1} + 0.25 * BTF^{2} + 0.3 * WP^{3} + 0.15 * RF^{4}$$

رابطه ۴) جهت ارزیابی کاربرگ اول $$AWF = \frac{\text{آب در دسترس}}{\text{آب قابل بهره برداری}}$$

رابطه ۵) جهت ارزیابی کاربرگ دوم $$BTF = \frac{\text{تبخیر تعرق مفید}}{\text{تبخیر تعرق کل}}$$

رابطه ۶) جهت ارزیابی کاربرگ سوم $$WP = \text{میانگین وزنی بهره وری آب}$$

رابطه ۷) جهت ارزیابی کاربرگ چهارم $$RF = \frac{\text{آب برگشتی}}{\text{آب برداشت شده}}$$

معیار زیست محیطی بر اساس خروجی سد به دریاچه ارومیه بوده و از کاربرگ اول طبق رابطه ۸ بدست می‌آید.

رابطه ۸) $$\text{معیار زیست محیطی دریاچه ارومیه} = \frac{\text{خروجی سد}}{\text{خالص آب ورودی حوضه}}$$

در نهایت مقادیر معیار اقتصادی–اجتماعی بر اساس پرسشنامه از جامعه خبرگان می‌باشد.

مدل تصمیم‌گیری چند معیاره

محققین در دهه‌های اخیر از مدل‌های چندمعیاره (MCDM) برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده استفاده کردند. در این پژوهش نیز به منظور بهبود شرایط فعلی حوضه موردمطالعه، سناریوهای مختلفی تعریف شده است که جهت بررسی آن‌ها از جنبه‌ها و معیارهای مختلف با وزن‌های ناهمگن، از مدل چند معیاره استفاده می‌شود. بدین منظور در ابتدا معیارها از طریق مدل MEREC وزن دهی و در ادامه راهکارها توسط مدل COPRAS اولویت‌بندی شده‌اند.

وزن دهی معیارها به منظور تصمیم‌گیری چند معیاره امری ضروری است چراکه وزن معیارها اهمیت آنها را نشان می‌دهد بنابراین، این مرحله می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر نتایج تأثیر بگذارد و یکی از مهمترین و پیچیده‌ترین فرآیندهای MCDM می‌باشد (Keshavarz-Ghorabaee et al,2021).

مدل MEREC

در این مطالعه یک روش وزن‌دهی عینی جدید به نام MEREC (روش حذف اثر معیار) به کار گرفته شده است که در سال ۲۰۲۱ توسط کشاورز قرابایی و همکاران ارائه شده می‌باشد. برخلاف روش‌های دیگر، روش پیشنهادی از اثرات حذف هر یک از معیارها بر عملکرد کلی گزینه‌ها برای محاسبه وزن معیارها استفاده می‌کند. این دیدگاه ممکن است به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا برخی از معیارها را از فرآیند تصمیم‌گیری حذف کنند. با این حال، مزیت اصلی روش پیشنهادی، انعطاف‌پذیری است به طوری که تصمیم‌گیرندگان می‌توانند از توابع

1 Available water fraction
2 Beneficial Transpiration fraction
3 Water productivity for irrigated crop
4 Return flow fraction

مختلف برای محاسبه عملکرد استفاده کنند. بر این اساس مراحل انجام وزن‌دهی با روش MEREC بشرح زیر است:

الف) مرحله یک، ساخت ماتریس تصمیم است که مقادیر هر گزینه یا راهکار را در مورد هر معیار نشان می‌دهد. عناصر این ماتریس با x_{ij} نشان داده می‌شوند.

رابطه ۹)
$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \qquad \begin{matrix} i=1,\ldots,n \\ j=1,\ldots,m \end{matrix}$$

ب) مرحله دو نرمال‌سازی ماتریس تصمیم است؛ عناصر ماتریس نرمال شده با n^{x}_{ij} نشان داده می‌شوند. اگر B مجموعه معیارهای سودمند و H مجموعه معیارهای غیر سودمند در نظر گرفته شوند، می‌توان از معادله ۱۰ برای نرمال‌سازی استفاده کرد.

رابطه ۱۰)
$$n_{ij}^{x}=\begin{cases} \dfrac{\min\limits_{k} x_{kj}}{x_{ij}} & if \quad j\epsilon B \\ \dfrac{x_{ij}}{\max\limits_{k} x_{ij}} & if \quad j\epsilon H \end{cases}$$

ج) در مرحله سوم عملکرد کلی گزینه‌ها از طریق یک اندازه‌گیری لگاریتمی با وزن برابر معیارها محاسبه می‌شود در ادامه برای این محاسبه از رابطه ۱۱ استفاده می‌شود.

رابطه ۱۱)
$$S_i=\ln(1+(\frac{1}{m}\sum_{j}\left|\ln(n_{ij}^{x})\right|))$$

د) در مرحله چهار با حذف هر یک از معیارها، عملکرد گزینه‌ها محاسبه می‌شوند. بنابراین، اگر عملکرد کلی گزینه i در مورد حذف معیار j با S'_{ij} نشان داده شود، محاسبات از طریق فرمول ۱۲ انجام می‌شود.

رابطه ۱۲)
$$S'_{ij}=\ln(1+(\frac{1}{m}\sum_{k\neq j}\left|\ln(n_{ik}^{x})\right|))$$

ه) مرحله پنجم محاسبه مجموع انحرافات مطلق است. در این مرحله، اثر حذف معیار j بر اساس مقادیر به دست آمده از مرحله سه و مرحله چهار برآورد می‌گردد. اگر E_j اثر حذف معیار j باشد، می‌توان آن را با استفاده از معادله ۱۳ محاسبه کرد.

رابطه ۱۳)
$$E_j=\sum_{i}\left|S'_{ij}-S_i\right|$$

ی) در مرحله ششم وزن نهایی معیارها تعیین می‌شود. در ادامه، w_j نشان‌دهنده وزن معیار j است که برای محاسبه آن از فرمول ۱۴ استفاده می‌شود.

رابطه ۱۴)
$$wj=\frac{E_j}{\sum_k E_k}$$

مدل COPRAS

روش ارزیابی نسبی پیچیده (COPRAS) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است که جهت اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف با استفاده از وزن معیارها به کار گرفته می‌شود. این روش توسط Zavadskas، Kaklauska و Sarka در سال ۱۹۹۴ ارائه شد. این روش برای ارزیابی حداکثر و به حداقل رساندن مقادیر شاخص استفاده می‌شود، و اثر حداکثر و به حداقل رساندن شاخص‌های معیارها در ارزیابی نتایج به طور جداگانه در نظر گرفته می‌شود(Alinezhad and Khalili,2019). در واقع این روش، روشی کارامد برای ارزیابی و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها بر اساس درصد و با در نظر گرفتن معیارهای مثبت و منفی در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است. از مهمترین نقاط قوت این روش می‌توان به جامع بودن (مورد توجه قرار دادن معیارها و طبقه‌بندی‌های مهم)، قابل‌فهم بودن (بکارگیری سیستم‌های ارزش‌دهی مقداری)، داشتن محاسباتی آسان، قابل‌اطمینان بودن (سنجش یکسان و قابلیت درک عمیق و دقیق توسط کاربر) و انعطاف‌پذیر بودن، اشاره کرد(Zavadskas et al, 2008). در ادامه روش COPRAS به شرح زیر بیان می‌شود.

الف) در این روش ماتریس تصمیم بر اساس اطلاعات بدست آمده از تصمیم‌گیرنده مطابق با رابطه ۱۵ بدست می‌آید. در این رابطه، r_{ij}، عنصر ماتریس تصمیم برای گزینه i ام در معیار j ام.

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i=1,\ldots,m \\ j=1,\ldots,n \end{matrix}$$ رابطه ۱۵)

ب) در این مرحله مطابق رابطه ۱۶ ماتریس نرمال‌سازی شده تولید می‌شود.

$$r_{ij}^{*} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}}$$ رابطه ۱۶)

ج) رابطه ۱۷ برای تعیین مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری نرمال وزن‌دار استفاده می‌شود.

$$\hat{r}_{ij} = r_{ij}^{*}.w_j \quad \begin{matrix} i=1,\ldots,m \\ j=1,\ldots,n \end{matrix}$$ رابطه (۱۷)

در این رابطه w_j وزن معیارها است.

د) با توجه به نوع منفی یا مثبت بودن معیارها ، شاخص‌های به حداکثر رساندن و به حداقل رساندن هر معیار توسط روابط ۱۸ و ۱۹ بدست می‌آید.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^{g} \hat{r}_{ij} \quad \begin{matrix} i=1,\ldots,m \\ j=1,\ldots,n \end{matrix}$$ رابطه ۱۸)

$$S_{-i} = \sum_{j=g+1}^{n} \hat{r}_{ij} \quad \begin{matrix} i=1,\ldots,m \\ j=1,\ldots,n \end{matrix}$$ رابطه ۱۹)

که در آن g تعداد معیارهای مثبت را نشان می‌دهد و n-g تعداد معیارهای منفی را نشان می‌دهد ، و S_i با توجه به نوع آن، شاخص‌های حداکثر و به حداقل رساندن معیار را توصیف می‌کند.

د) مقدار اهمیت نسبی هر گزینه از طریق روابط ۲۰ و ۲۱ محاسبه می‌شود.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\min S_{-i} \sum_{i=1}^{m} S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^{m} \frac{\min S_{-i}}{S_{-i}}}$$ رابطه ۲۰)

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^{m} S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{S_{-i}}}$$ رابطه ۲۱)

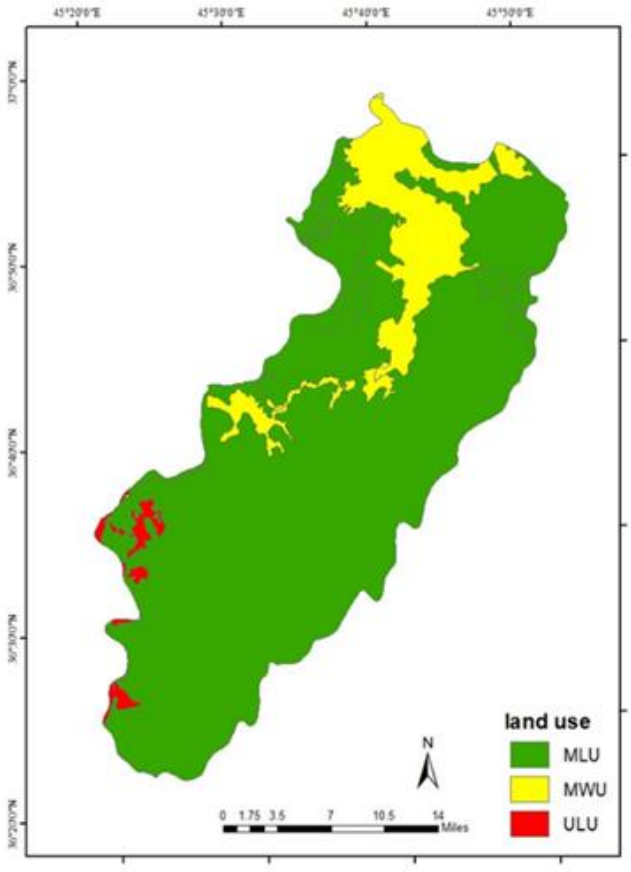
ه) مقادیر نسبی اهمیت گزینه‌ها به ترتیب نزولی رتبه‌بندی می‌شوند و بالاترین مقدار نهایی بالاترین رتبه را دارد.

داده‌های مورداستفاده در چارچوب +WA

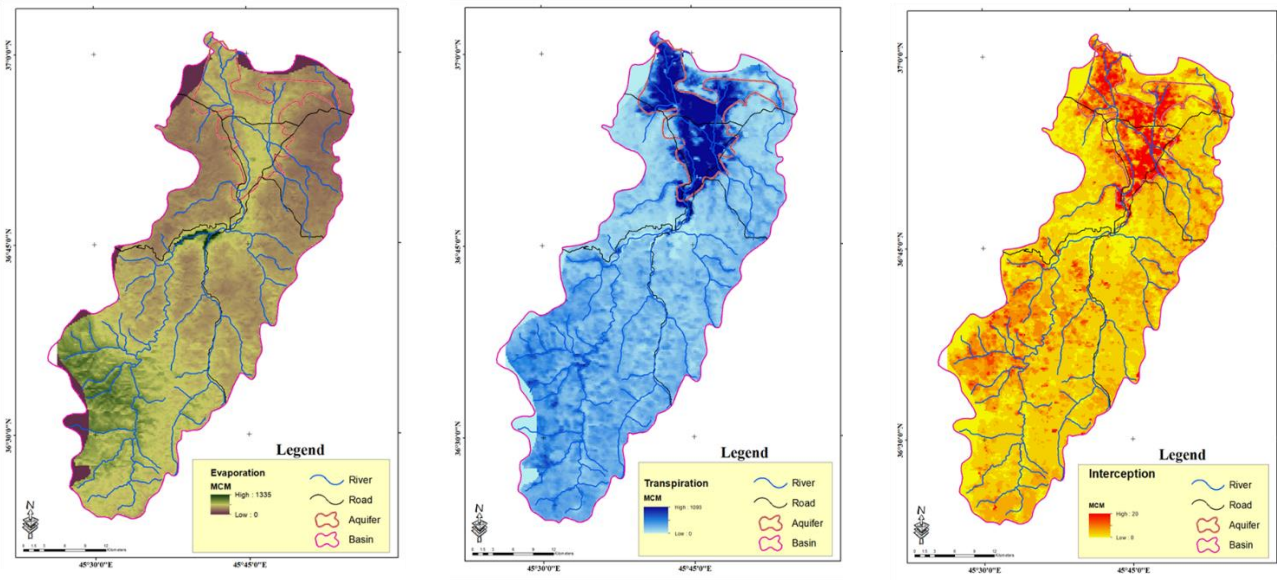
در چارچوب +WA برای استفاده از کاربرگ‌ها به منظور برآورد شرایط آبی به طبقه‌بندی زمین بر اساس کاربری اراضی نیاز است. تصویر حوضه مطالعاتی، به تفکیک کاربری اراضی در شکل ۲ قابل مشاهده است. در این تصویر بخش MLU[1] بیان‌کننده کاربری اراضی بهبودیافته، MWU[2] زمین‌های مربوط به مصرف آب مدیریت‌شده و ULU[3] کاربری اراضی استفاده‌شده می‌باشد.

پارامترهای اقلیمی اثرگذار در منابع آب محدوده‌های مطالعاتی که نقش اصلی در رویکرد +WA ایفاء می‌کنند، بارش، برگاب، تبخیر و تعرق می‌باشد. به علت تلفیق بودن این چارچوب با داده‌های سنجش از دور، به منظور دریافت داده‌های مذکور در این پژوهش از محصولات فائو در سایت گوگل ارث انجین استفاده شده است. این سایت، یک پلت‌فرم برای تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی است که تصاویر ماهواره‌ای را پشتیبانی و آن‌ها را در آرشیو داده‌های عمومی ذخیره می‌کند. در نهایت این مجموعه داده‌های جغرافیایی، برای کاربران دانشگاهی، غیرانتفاعی، تجاری و دولتی قابل استفاده می‌باشد. در ادامه نقشه تبخیر در شکل ۳.الف نشان می‌دهد که در مناطق جنوبی حوضه که میزان ارتفاع و پوشش گیاهی طبیعی بیشتر است، تبخیر بیشترین مقدار خود را دارد و هر چه به سمت شمال و کناره‌ها حوضه حرکت شود، این مقدار کاهش می‌یابد.

1 Modified Land Use
2 Managed Water Use
3 Utilized Land Use



شکل ۲. کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



الف) تبخیر **ب) تعرق** **ج) برگاب**

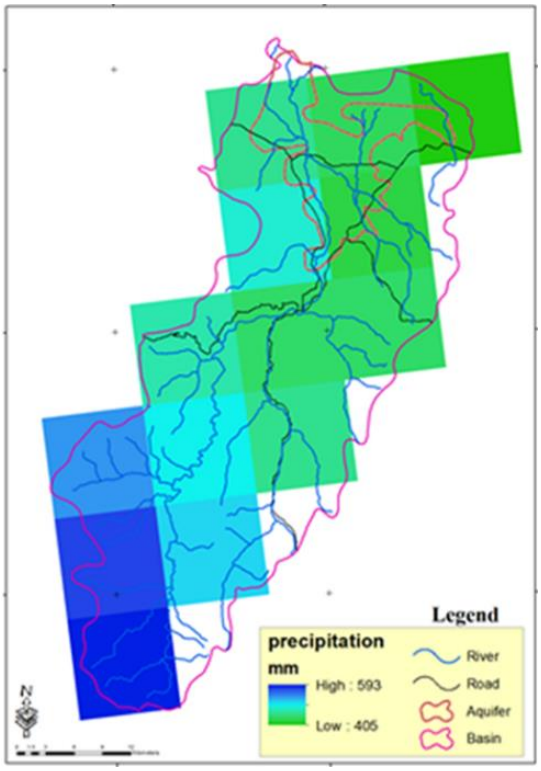
شکل ۳. نقشه‌های مکانی موردنیاز در چارچوب WA+ مربوط به منطقه موردمطالعه

همچنین نقشه تعرق در شکل ۳.ب نشان می‌دهد که برعکس تبخیر، در مناطق شمالی حوضه که زمین‌های کشاورزی فاریاب قرار دارند، تعرق بیشترین مقدار خود را دارد و هر چه به سمت جنوب حوضه حرکت شود، این مقدار کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج مطالعات انجام‌شده، مقادیر تبخیر و تعرق که از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده‌اند نیاز به اصلاح دارند به این معنی که مقادیر اصلاح‌شده در کاربرگ

قرار می‌گیرند و در برآورد وضعیت حوضه مؤثر واقع می‌شوند. رابطه اصلاحی برای محاسبه تبخیروتعرق در سطح حوضه به‌صورت رابطه ۲۲ ارائه شده است (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۷).

ETev=1.1587 ETm-0.46 رابطه ۲۲)

نقشه برگاب در شکل ۳.ج نشان می‌دهد که مانند تعرق، در مناطق شمالی حوضه به دلیل وجود زمین‌های فاریاب، برگاب بیشترین مقدار خود را دارد و هر چه به سمت جنوب حوضه حرکت شود، این مقدار کاهش می‌یابد. در ادامه همان‌طور که شکل ۴ مقدار بارش را نشان می‌دهد، در مناطق جنوبی حوضه، مقدار بارش بیشترین حد خود را دارد و هر چه به سمت شمال حوضه حرکت شود، این مقدار کاهش می‌یابد.



شکل ٤. نقشه بارش منطقه مورد مطالعه

شایان ذکر است، جهت محاسبات کاربرگ سوم رویکرد +WA، داده‌های منوط به بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که اطلاعات مربوط به محصولات زراعی فاریاب در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است (جهاد کشاورزی، ۱۳۹۱).

جدول ۱. مشخصات محصولات زراعی فاریاب حوضه

نوع محصول		سطح کشت (هکتار)	سطح کشت (درصد)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
غلات	گندم	۴۶۵۵	۴۱/۸	۵۳۰۰
محصولات صنعتی	چغندر قند	۲۲۷۰	۲۰/۴	۵۱۷۰۱
نباتات علوفه‌ای	یونجه	۴۲۰۰	۳۷/۸	۸۰۳۶
مجموع		۱۱۱۲۵	۱۰۰	–

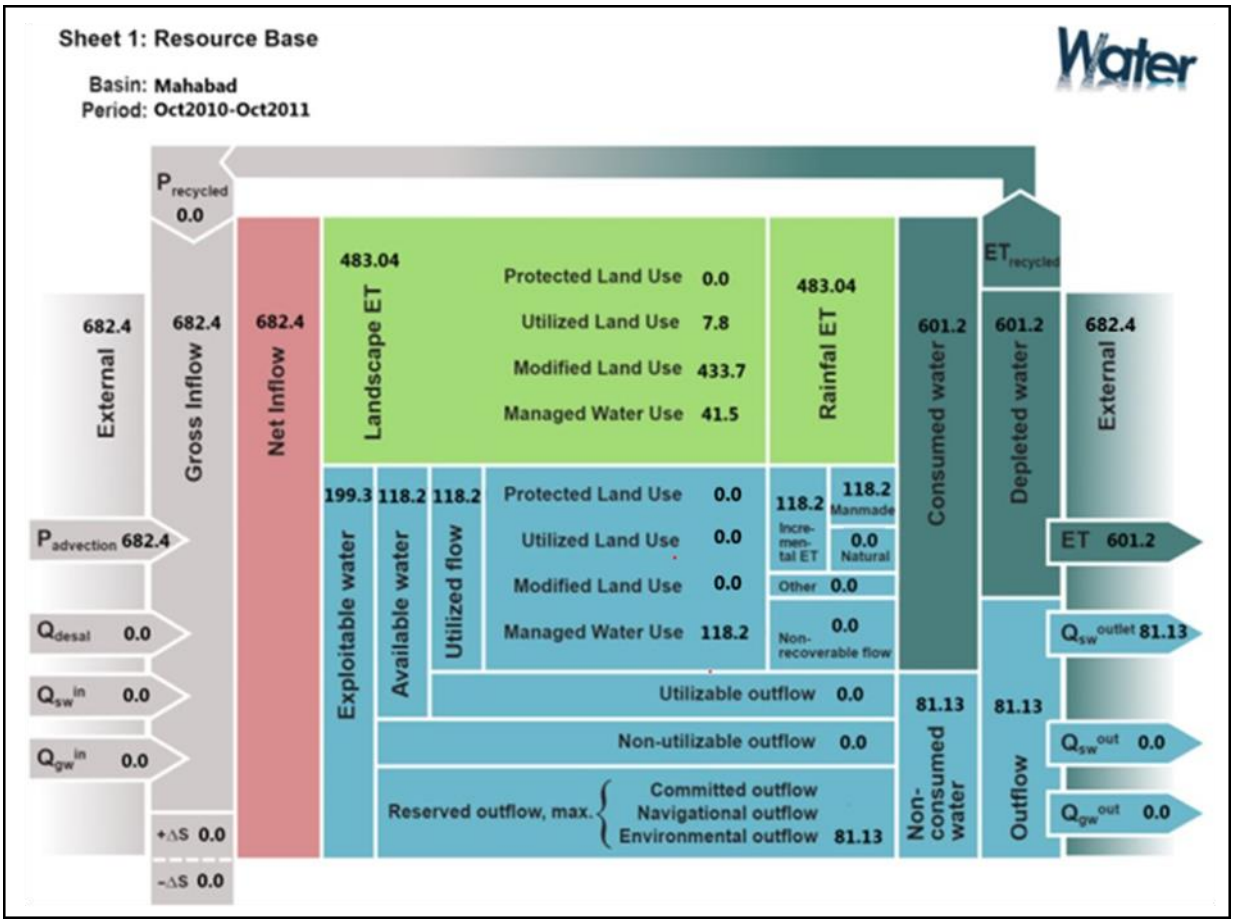
نتایج

وضعیت فعلی حوضه در چارچوب +WA

کاربرگ اول

شکل ۵ که در ادامه قابل مشاهده است مربوط به کاربرگ منابع پایه +WA بوده و شرایط فعلی منابع و مصارف منطقه را نشان می‌دهد. حوضه مطالعاتی این پژوهش به گونه‌ای است که تنها ورودی آن بارش می‌باشد و میزان آن با توجه به داده‌های سنجش از دور برابر ۶۸۲/۴

میلیون مترمکعب برآورد شده است. با توجه به در نظر گرفتن دوره محاسباتی یک‌ساله، تغییرات حجم در نظر گرفته نشده است، بنابراین مقدار ورودی ناخالص و خالص برابر می‌باشند که بخشی از آن شامل آب سبز و بخشی شامل آب آبی می‌باشد و هر یک به ترتیب برابر با ۴۸۳/۰۴ و ۱۹۹/۳ میلیون مترمکعب بدست آمده است. از کل آب آبی یا همان آب قابل بهره‌برداری، مقدار ۱۱۸/۲ میلیون مترمکعب توسط عوامل انسانی برداشت‌شده و مقدار ۸۱/۱۳ میلیون مترمکعب از آن جهت تامین نیاز زیست‌محیطی به صورت سطحی خارج می‌شود؛ در نتیجه مقدار کل تبخیر و تعرق حوضه با توجه به کاربرگ اول برابر با جمع آب سبز و آب برداشتی توسط عوامل انسانی یعنی ۶۰۱/۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در نهایت کل خروجی با کل ورودی برابر شده که مقدار آن ۶۸۲/۴ میلیون مترمکعب بدست آمده است.

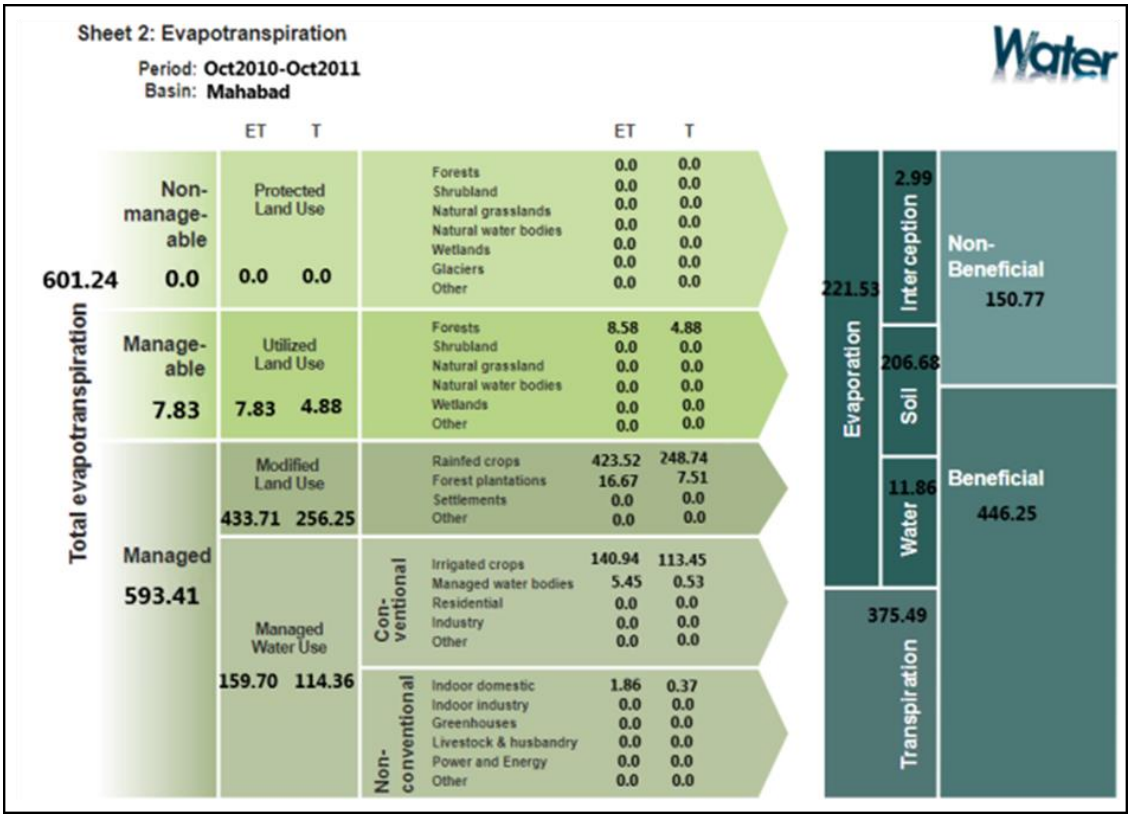


شکل۵. کاربرگ منابع پایه

نشانگر کاربرگ اول جهت ارزیابی شرایط حوضه، عبارت است از AWF (Available Water Fraction) به معنی نسبت آب در دسترس که برابر با عدد ۰/۵۹ است؛ این مقدار از تقسیم آب در دسترس به میزان ۱۱۸/۲ میلیون مترمکعب بر کل آب قابل بهره‌برداری به میزان ۱۹۹/۳ میلیون مترمکعب بدست آمده است و این یعنی ۵۹ درصد از آب قابل بهره‌برداری برای برداشت در دسترس می‌باشد.

کاربرگ دوم

کاربرگ تبخیر و تعرق جهت تعیین مقدار تبخیر و تعرق در هر کاربری و نهایتاً مشخص نمودن مقدار سودمند و غیر سودمند آن به‌کار می رود. با توجه به شکل ۶، همان‌طور که از کاربرگ اول بدست آمد کل تبخیر و تعرق برابر ۶۰۱/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که از این مقدار، ۷/۸۳ میلیون مترمکعب به آب قابل مدیریت و ۵۹۳/۴۱ میلیون مترمکعب به آب مدیریت‌شده اختصاص دارد. همچنین، بیشترین مقدار در بخش مدیریت‌شده به تبخیر و تعرق زمین‌های دیم و فاریاب تعلق دارد که مقادیر آن از تصاویر ماهواره‌ای قرائت شده است. نهایتاً در این کاربرگ کل تبخیر و تعرق سودمند برابر ۴۴۶/۲۵ و غیر سودمند ۱۵۰/۷۷ میلیون متر برآورد شده است.



شکل ٦. کاربرگ تبخیر و تعرق

نشانگر کاربرگ دوم جهت ارزیابی شرایط حوضه، عبارت است از (Beneficial Transpiration Fraction) BTF به معنی نسبت تبخیر و تعرق سودمند که برابر با عدد ۰/۷۵ است؛ این مقدار از تقسیم تبخیر و تعرق سودمند به میزان ۴۴۶/۲۵ میلیون مترمکعب بر مجموع تبخیر و تعرق سودمند و غیر سودمند به میزان حدوداً ۶۰۱/۲۴ میلیون مترمکعب بدست آمده است و این یعنی مقدار تبخیر و تعرق سودمند ۷۵ درصد از کل تبخیر و تعرق را تشکیل می‌دهد.

کاربرگ سوم

این کاربرگ خلاصه‌ای از شرایط کشاورزی فاریاب منطقه می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، بیشترین مساحت مربوط به محصول گندم برابر ۴۶۵۵ هکتار و کمترین مساحت مربوط به محصول چغندرقند و برابر ۲۲۷۰ هکتار می‌باشد. همچنین بالاترین و پایین‌ترین بهره‌وری آب نیز به ترتیب برای محصولات چغندرقند و یونجه می‌باشد که میزان هر یک ۲/۵۳۷ و ۰/۳۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شده است.

Mahabad

Oct 2010-Oct2011

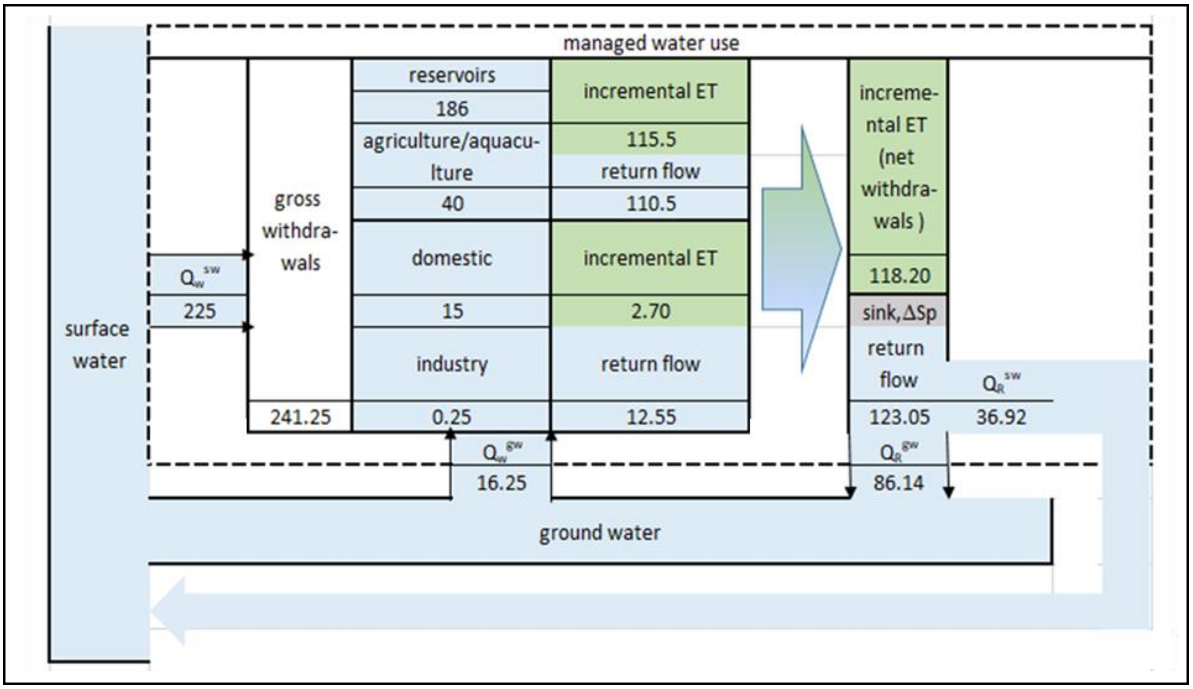
	product	land productivity(kg/hec)	water productivity(kg/m^3)
managed water (MCM)	cereals 4655(ha)	5300	0.544
	sugar crops 2270(ha)	51701	2.537
	fruit&nuts 4584(ha)	27434	0.869
	feed crops 4200(ha)	8036	0.337

شکل ۷. کاربرگ خدمات کشاورزی

نشانگر کاربرگ سوم جهت ارزیابی شرایط حوضه، عبارت است از WP (Water Productivity For Irrigated Crops) به معنی نسبت بهره‌وری آب که برابر با عدد ۰/۸۷ است؛ این مقدار از میانگین وزنی نرخ‌های بهره‌وری آب در مساحت کشت بدست آمده است و این یعنی به طور میانگین ۸۷ درصد از آب مصرفی، بهره‌برداری شده است.

کاربرگ چهارم

کاربرگ برداشت آب به منظور بررسی و برآورد برداشت، مصرف و آب برگشتی از هر بخش استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، با توجه به گزارشات منطقه، برداشت آب سطحی ۲۲۵ و برداشت آب زیرزمینی ۱۶/۲۵ میلیون مترمکعب هستند. جمع این مقادیر، آب ناخالص برداشت‌شده را تشکیل می‌دهد که برابر با ۲۴۱/۲۵ میلیون مترمکعب است. طبق گزارش بیلان منطقه، ضریب آب برگشتی بخش شهری ۸۰ درصد بیان شده است، بنابراین آب برگشتی این بخش حدوداً برابر ۱۲/۵۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است؛ از این رو، میزان مصرف بخش مذکور حدودا ۲/۷ میلیون مترمکعب است. به منظور ادامه محاسبات، کل آب خالص برداشت‌شده به میزان ۱۱۸/۲ میلیون مترمکعب از کاربرگ اول استخراج می‌شود که بخش اندکی از آن به مصرف شهری و صنعتی می‌رسد و مابقی به مقدار ۱۱۵/۵ میلیون مترمکعب مربوط به کشاورزی و آب ذخیره شده است. همچنین آب برگشتی از این بخش ۵/ ۱۱۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است. درنهایت به کمک نسبت تجربی ۷۰ به ۳۰ با توجه به نظر متخصصان مربوط به حوضه مهاباد، ۸۶/۱۴ میلیون مترمکعب از آب برگشتی به آب زیرزمینی و ۳۶/۹۲ میلیون مترمکعب به آب سطحی بازمی‌گردد.



شکل ۸. کاربرگ برداشت آب

نشانگر کاربرگ چهارم جهت ارزیابی شرایط حوضه، عبارت است از RF (Return Flow Fraction) به معنی نسبت آب برگشتی که برابر با عدد ۰/۵۱ است؛ این مقدار از تقسیم آب برگشتی به میزان ۱۲۳/۰۵ میلیون مترمکعب بر کل آب برداشت‌شده به میزان ۲۴۱/۲۵ میلیون مترمکعب بدست آمده است و این یعنی ۵۱ درصد از کل برداشت ناخالص، به منابع آب باز می‌گردد.

بررسی راهکارهای علاج بخشی

ارزیابی راهکارها در WA+

اعمال هر دسته از راهکارها در سیستم WA+ متناسب با رویکرد همان دسته انجام شده است. به این نحو که در دسته اول، یعنی تغییر رقم گیاه، محاسبات مبتنی بر تغییر در مقدار تبخیر و تعرق سودمند صورت گرفته است، در دسته دوم، یعنی کاهش سطح کشت، محاسبات بر اساس کاهش میزان آب به نسبت کاهش سطح اراضی است و در دسته سوم، یعنی افزایش راندمان، محاسبات بر اساس تغییر در نسبت

تبخیر و تعرق سودمند به کل آن انجام گردیده است. جدول ۲ نشان‌دهنده نتیجه اعمال راهکارها در حوضه به وسیله چارچوب WA+ می‌باشد به طوری که نشانگرهای هر یک از کاربرگ‌ها برای هر راهکار محاسبه شده است.

جدول ۲. مقایسه نشانگرها

نشانگر / راهکار	AWF	BTF	WP	RF
حالت فعلی حوضه	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۵۱
A1	۰/۶۳۲	۰/۷۵۱	۰/۸۹۵	۰/۴۹۴
A2	۰/۸۲۳	۰/۷۶۵	۱/۰۰۱	۰/۴۲۹
B1	۰/۵۵۵	۰/۷۵۶	۰/۸۷۲	۰/۵۱۱
B2	۰/۵۱۹	۰/۷۴۴	۰/۸۷۲	۰/۵۱۲
B3	۰/۵۳۶	۰/۷۴۵	۰/۸۶۱	۰/۵۱۱
C1	۰/۵۵۵	۰/۷۴۴	۰/۸۹۶	۰/۵۲۷
C2	۰/۵۱۹	۰/۷۴۱	۰/۹۲۱	۰/۵۴۳
D1	۰/۷۴	۰/۷۶۲	۰/۹۸۵	۰/۴۳۱
D2	۰/۷۳۶	۰/۷۵۹	۱/۰۵۸	۰/۴۵۶
D3	۰/۴۶۹	۰/۷۳۹	۰/۹۱	۰/۵۴۵
D4	۰/۶۶۱	۰/۷۵۶	۱/۱۲۴	۰/۴۵۹

جدول بالا نشان می‌دهد که نشانگرهای دو کاربرگ اول در روش A2، به میزان ۰/۸۲۳ و ۰/۷۶۵ بیشتر و بهتر از سایر روش‌ها است و روش D4 و D3 به ترتیب در نشانگرهای کاربرگ سوم و چهارم برتر می‌باشند که مقدار آن‌ها ۱/۱۲۴ و ۰/۵۴۵ می‌باشد. همچنین، روش D3 در نشانگر AWF، روش D3 در نشانگر BTF، راهکار B3 در نشانگر WP و در آخر راهکار A2 در نشانگر RF کمترین مقدار را دارا هستند که به ترتیب برابر ۰/۴۶۹، ۰/۷۳۹، ۰/۸۶۱و ۰/۴۲۹ می‌باشند. در صورت مقایسه وضعیت فعلی با راهکارهای پیشنهادشده، مشاهده می‌شود که در کاربرگ اول ،پنج راهکار شرایط مساعدتری نسبت به وضعیت فعلی می‌توانند ایجاد کنند چرا که مقدار نشانگر در آن‌ها بیشتر از نشانگر وضعیت فعلی است. همچنین در کاربرگ دوم، شش راهکار، کاربرگ سوم ده راهکار و در کاربرگ چهارم نیز شش راهکار از شرایط مطلوب‌تری در مقایسه با حالت فعلی برخوردار هستند.

محاسبه معیارهای سنجش

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، جهت مقایسه راهکارها از سه معیار فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی استفاده می‌شود که معیار اول و دوم مطابق روابط ۲ تا ۳ برآورد شده و معیار سوم از میانگین پاسخ خبرگان بدست آمده است. نتایج این محاسبات در جدول ۳ قابل مشاهده است.

با توجه به جدول بالا، بالاترین میزان معیار فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی به ترتیب مربوط به روش A2، D3 و D2 می‌باشند که هر یک برابر با ۰/۸۰۳، ۰/۱۶۱ و ۱ هستند.

اولویت‌بندی راهکارها

نتایج محاسبات مدل وزن دهی MEREC

وزن دهی معیارها به وسیله روابط ۹ تا ۱۴ برآورد شده است، به طوری که وزن معیار فنی با کمترین وزن، به علت وجود کمترین تغییرات در داده‌های این بخش، برابر ۰/۰۴۰، وزن معیار زیست‌محیطی با بیشترین وزن برابر ۰/۴۹۴ و وزن معیار اقتصادی-اجتماعی برابر ۰/۴۶۶ می‌باشند.

نتایج اولویت‌بندی راهکارها با روش COPRAS

اولویت‌بندی راهکارها توسط مدل COPRAS و با استفاده از روابط ۱۵ تا ۲۱ انجام شده است و نتایج آن در جدول ۴ قابل‌مشاهده است.

جدول ۳. معیارهای سنجش

راهکار	فنی	محیط زیستی	اقتصادی-اجتماعی
A1	۰/۷۲۰	۰/۱۰۸	۰/۷۵۰
A2	۰/۸۰۳	۰/۰۵۲	۰/۹۰۰
B1	۰/۶۹۱	۰/۱۳۳	۰/۵۰۰
B2	۰/۶۸۰	۰/۱۴۷	۰/۳۰۰
B3	۰/۶۸۲	۰/۱۴۰	۰/۴۵۰
C1	۰/۷۰۰	۰/۱۳۰	۰/۵۵۰
C2	۰/۶۹۹	۰/۱۴۱	۰/۷۰۰
D1	۰/۷۷۳	۰/۰۷۹	۰/۵۵۰
D2	۰/۷۹۶	۰/۰۷۷	۱/۰۰۰
D3	۰/۶۸۰	۰/۱۶۱	۰/۶۵۰
D4	۰/۷۹۳	۰/۱۰۳	۰/۸۰۰

جدول ٤. نتایج اولویت‌بندی راهکارها

راهکار	Qi	Ui (درصد)
A1	۰/۰۹۴	۸۷/۰۸۰
A2	۰/۰۸۳	۷۶/۳۸۶
B1	۰/۰۸۸	۸۱/۰۲۳
B2	۰/۰۸۰	۷۳/۹۹۷
B3	۰/۰۸۷	۸۰/۶۳۵
C1	۰/۰۹۰	۸۳/۰۳۲
C2	۰/۱۰۴	۹۵/۸۳۰
D1	۰/۰۷۰	۶۴/۹۲۴
D2	۰/۰۹۹	۹۱/۵۳۴
D3	۰/۱۰۸	۱۰۰/۰۰۰
D4	۰/۰۹۶	۸۸/۶۵۴

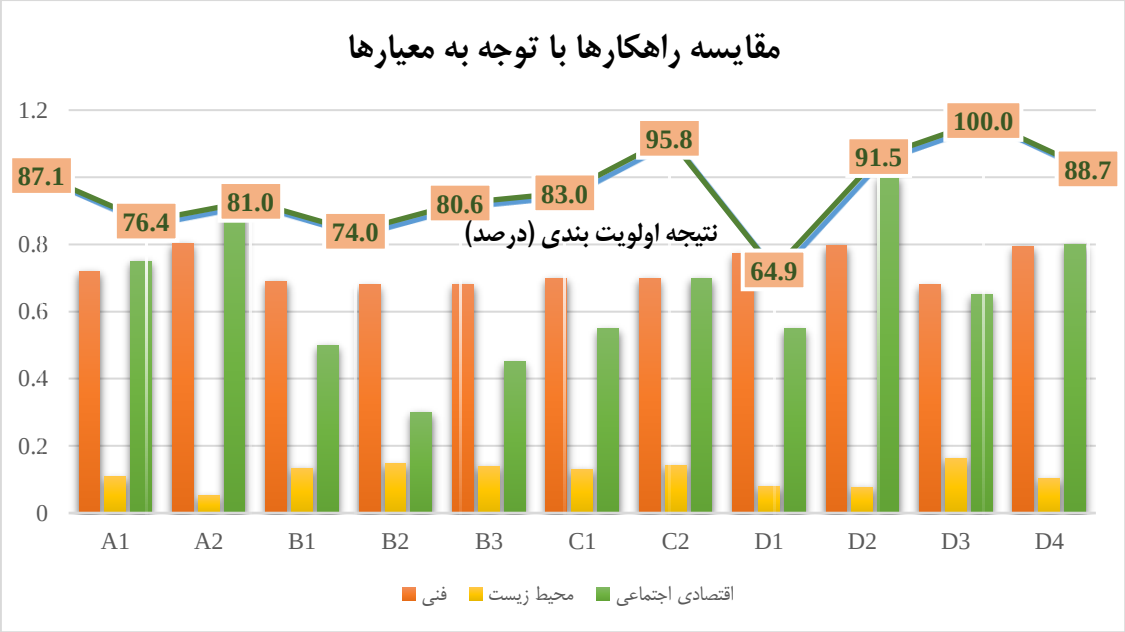
همان‌طور که مشخص است راهکار دهم (D3)، یعنی ترکیب افزایش دو درصد راندمان و کاهش ده درصد سطح کشت زمین‌های زراعی به‌جز گندم بهترین گزینه برای علاج‌بخشی است چراکه اهمیت نسبی آن برابر با صد درصد است. همچنین، D1 با اهمیت نسبی ۶۴/۹۲ درصد، بدترین راهکار می‌باشد. اگر راهکارهای تکی، جداگانه مورد بررسی قرار بگیرند، مشاهده می‌شود که بهترین راهکار، C2 با اهمیت نسبی ۹۵/۸۳ درصد و بدترین راهکار، B2 با اهمیت نسبی ۷۳/۹۹۷ درصد است.

بحث

با توجه به قابلیت‌ها و کارایی‌های سیستم حسابداری آب WA+ می‌توان از آن در محاسبه بیلان و بهره‌وری آب استفاده کرد. همچنین بررسی پژوهش Rahimzadeh et al. (2022) به منظور محاسبه بیلان در مقیاس حوضه نشان داد، چارچوب WA+ جهت تحلیل مصارف آب و بهره‌وری آب نتایج مناسبی داده است؛ لذا از این مفهوم در پژوهش حاضر نیز استفاده شده است. علاوه بر این از این سامانه نوین و کارا جهت ارزیابی راهکارهای علاج‌بخشی ارائه‌شده در جهت بهبود بهره‌وری آب استفاده شد.

مقایسه نتایج این تحقیق در شکل ۹ نشان می‌دهد راهکار D3 با مقدار اهمیت نسبی ۱۰۰ درصد، به عنوان بهترین راهکار پیشنهاد می‌شود. در مقایسه وضعیت فعلی با راهکار منتخب که همان انجام توأمان افزایش ۲ درصد راندمان و کاهش ۱۰ درصد محصولات زراعی به جز گندم می‌باشد، مشاهده می‌شود که نشانگر کاربرگ اول یعنی AWF در راهکار برتر برابر با ۰/۴۶۹ است که از وضعیت فعلی با مقدار ۰/۵۹۳،کمتر است و این به منزله کاهش آب دردسترس نسبت به آب قابل بهره‌برداری می‌باشد. همچنین، نشانگر کاربرگ دوم یعنی BTF

در راهکار برتر برابر با ۰/۷۳۹ است که از حالت فعلی با مقدار ۰/۷۴۷، به مقدار اندکی کمتر است و این به منزله کاهش تبخیر تعرق سودمند نسبت به کل تبخیر و تعرق می‌باشد و نیز نشانگر کاربرگ سوم یعنی WP در سناریو منتخب برابر با ۰/۹۱۰ است که از وضعیت فعلی با مقدار ۰/۸۷۲، بیشتر است و این به منزله افزایش بهره‌وری آب می‌باشد و در نهایت نشانگر کاربرگ چهارم یعنی RF در سناریو برگزیده برابر با ۰/۵۴۵ است که حالت فعلی با مقدار ۰/۵۱۰، بیشتر است و این به منزله افزایش آب برگشتی نسبت به کل آب برداشت‌شده می‌باشد.



شکل ۹. مقایسه راهکارها

نتیجه‌گیری

تنش‌های اقلیمی-محیطی و رشد جمعیت باعث شده است مسئله بهره‌برداری بهینه از منابع آب بسیار حائز اهمیت بشود. از این رو، مفهوم بهره‌وری آب (نسبت محصول تولیدی به آب مصرفی) بسیار قابل توجه است که این مفهوم در رویکرد حسابداری آب WA+ به‌خوبی دیده شده است. این سیستم بیانگر چرخه منابع و مصارف آب می‌باشد که مبتنی بر محصولات ماهواره‌ای، می‌تواند نتایج مناسبی را ارائه دهد. در این پژوهش با استفاده از سیستم WA+ تحلیلی از منابع و مصارف آب بر اساس محاسبه چهار کاربرگ و نشانگرهای آن در حوضه مهاباد انجام گرفت. در ادامه با توجه به نتایج بدست آمده راهکارهای علاج بخشی جهت بهبود بهره‌وری از منابع آب (به‌خصوص منابع آب سطحی خروجی از سد مهاباد) تدوین گردید. نتایج پژوهش نشان داد، راهکار D3 با مقدار اهمیت نسبی ۱۰۰ درصد، بالاترین اولویت و D1 با اهمیت نسبی ۶۴/۹۲ درصد، پایین‌ترین اولویت را در میان راهکارها دارا هستند. در نتیجه راهکار پیشنهادی از میان سناریوهای ارائه‌شده، انجام توأمان افزایش ۲ درصد راندمان و کاهش ۱۰ درصد محصولات زراعی به جز گندم می‌باشد که مقایسه آن با وضعیت فعلی نشان می دهد، علی‌رغم تفاوت اندک در معیار فنی، معیار زیست‌محیطی حدود ۳۵ درصد از شرایط فعلی بهتر است. از آنجایی که این نتیجه تنها از بررسی یازده راهکار بدست آمده است، لذا بررسی راهکارهای علاج بخشی بیشتر می‌تواند به انتخاب راه حل دقیق‌تر جهت بهبود شرایط کمک کند. همچنین نتایج به دست آمده از تحلیل منابع و مصارف نشان داد سیستم حسابداری آب WA+ می‌تواند در جهت احیای دریاچه ارومیه، بهره‌برداری بهینه منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی، تخصیص مناسب و بهره‌وری آب بسیار کارایی داشته باشد و رویکردهای تصمیم‌گیری مناسبی را در اختیار متولیان بخش آب قرار دهد تا منطقه از شرایط بحرانی به شرایط پایدار برسد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

مراجع

جهاد کشاورزی، (۱۳۹۱). سالنامه کشاورزی.

خالقی، نوشین. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. *آب و توسعه پایدار*، ۲(۲)، ۵۱-۵۸.

خزاعی، سحر.، رائینی سرجاز، محمود.، داوری، کامران.، و شفیعی، مجتبی. (۱۳۹۷). معرفی چارچوب حسابداری آب +WA. *آب و توسعه پایدار*، ۵(۲)، ۱۱۷-۱۲۸.

دلاور، مجید.، مرید، سعید.، و رئیسی، لیلا. (۱۳۹۹). پیاده‌سازی سیستم حسابداری آب +WA در سطح حوضه آبریز و چالش‌های پیش روی آن (درس آموخته‌ها از مطالعه موردی حوضه آبریز طشک - بختگان). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۶(۲)، ۳۴۶-۳۶۲.

رحیم‌پور، مرتضی.، کریمی، نعمت اله.، روزبهانی، رضا.، و افتخاری، مرتضی. (۱۳۹۷). اعتبارسنجی و تصحیح محصول تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده از محصول WaPOR فائو در ایران با استفاده از داده‌های زمینی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۲)، ۲۴۹-۲۶۲.

رحیم زاده، زهرا.، جوادی، سامان.، کریمی، نعمت‌الله.، هاشمی، سید مهدی.، و کاردان مقدم، حمید. (۱۴۰۱). رویکرد حسابداری آب +WAدر تحلیل منابع و مصارف منابع آب و بیلان هیدروکلیماتولوژی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز پلاسجان). *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲(۱)، ۱۸۷-۱۹۹.

وزارت نیرو، (۱۳۹۰).گزارش بیلان منابع و مصارف حوضه مهاباد.

REFERENCES

Agriculture Jahad, (2012). *Agricultural Yearbook*. (In Persian)

Alinezhad, A. and Khalili, J., (2019). New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM). *Cham: Springer*, 277, 103-08.

Delavar, M., Morid, S., & Raeisi, L. (2020). Implementation of the WA + water accounting system at the basin level and the challenges (Lessons Learned from the Case Study of Tashk - Bakhtegan Basin). *Iran-Water Resources Research*, *16*(2), 346-362.. (In Persian)

Godfrey, M. & Chalmers, K. (2012). Water Accounting: International Approaches to Policy and Decision-Making. *Edward Elgar Publishing*.

Guerschman, J. P., Van Dijk, A. I. J. M., Mattersdorf, G., Beringer, J., Hutley, L. B., Leuning, R., Pipunic, R. C., & Sherman, B. S. (2009). Scaling of potential evapotranspiration with MODIS data reproduces flux observations and catchment water balance observations across Australia. *Journal of Hydrology*, *369*(1-2), 107-119.

Karimi, P., Bastiaanssen, W.G. & Molden, D. (2013). Water Accounting Plus (WA+) -a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. *Hydrology & Earth System Sciences*, 17(7), 2459-2472.

Karimi, P., Bastiaanssen, WGM., Sood, A., Hoogeveen, J., Peiser, L., Bastidas-Obando, E., & Dost, R. (2014). Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting - Part 2: Reliability of water accounting results for policy decisions in the Awash basin. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, *11*(1), 1125-1167.

Karimi, P., Molden, D., Bastiaanssen, W.G. and Cai, X., (2012). Water accounting to assess use and productivity of water:Evolution of a concept and new frontiers. Water accounting: International approaches to policy and decision-making, edited by: Chalmers, K. and Godfrey, J, pp.76-88.

Keshavarz-Ghorabaee, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J., (2021). Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREC). *Symmetry*, 13(4), p.525.

Khaleghi, N. (2016). Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(2), 51-58. (In Persian)

Khazaei, S., Raeini, M., Davri, K., & Shafiei, M. (2019). Introducing the Water Accounting Plus (WA+) Framework. *Journal of Water and Sustainable Development*, *5*(2), 117–128. (In Persian)

Ministry of Power, (2011). Report on the balance of resources and uses of the Mahabad basin. (In Persian)

Peiser, L and Bastiaanssen, W. G. M. (2015). Analysis on Water Availability and Uses in Afghanistan River Basins: Water Accounting through Remote Sensing (WA+) in Helmand River Basin. *FAO project* TCP /AFG/3402.

Rahimpour, M., Karimi, N., Rouzbahani, R., & Eftekhari, M. (2018). Validation and calibration of FAO WaPOR product (actual evapotranspiration) in Iran using in-situ measurements. *Iran-Water Resources Research*, 14(2), 254–263. (In Persian)

Rahimzadeh, Z., Javadi, S., Karimi, N., Hashemy Shahdany, S.M. and Kardan Moghaddam, H., (2022). WA+ water accounting approach in the analysis of supply and demand of water resources and hydro-

climatology balance (Case study: Plasjan basin). *Water and Irrigation Management*, 12(1), pp.187-199. (In Persian)

Singh, P.K., Jain, S.K., Mishra, P.K. and Goel, M.K., (2022). An assessment of water consumption patterns and land productivity and water productivity using WA+ framework and satellite data inputs. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, 126, p.103053.

Zavadskas, E.K., (2008). History and evolving trends of construction colloquia on sustainability and operational research. *Technological and Economic Development of Economy*, 14(4), pp.578-592.

Water resources planning and management in Lake Urmia basin using the water accounting approach

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the greatest global issues and challenges in recent centuries is the shortage of suitable quality water for utilization. Therefore, developing an appropriate approach for optimal water resource management is essential. Various tools and approaches have been utilized for this purpose. One of these approaches is the innovative and efficient Water Accounting Plus (WA+) system. This method provides a simple and clear framework that, while maintaining integrity and considering influential factors within the basin, describes the current water resource conditions in river basins using satellite data. Moreover, with the help of this system, remedial solutions for optimal water resource utilization can be evaluated. Therefore, the WA+ system can assist water managers in making informed decisions and selecting suitable strategies for optimal water resource utilization at the basin scale.

Materials and Methods

In this study, based on ground data of water resources and consumption, agricultural lands, basin inflows and outflows, as well as satellite data on evapotranspiration, leaf area index, precipitation, and land use, the WA+ framework was implemented for water accounting in the current situation of the Mahabad study area located in the Lake Urmia basin. The four base resource sheets, namely water resources, evapotranspiration, agricultural services, and water extraction, were calculated, and the selected indicators for each sheet were determined. Subsequently, after presenting the solutions, the mentioned sheets and their indicators were estimated for each proposed solution. Then, the evaluation criteria for each solution, including technical criteria (derived from the selected indicators of each sheet in the WA+ system), economic-social, and environmental criteria, were calculated and weighted using the MEREC model. Finally, the solutions were prioritized using the COPRAS model.

Results and Discussion

In this study, the current situation of the four sheets, was examined, and the values of each indicator were obtained. The indicator value for the first sheet was calculated as 0.59, the indicator for the second sheet was 0.75, and the indicator values for the third and fourth sheets were calculated as 0.87 and 0.51, respectively. Subsequently, based on the results obtained and expert opinions in the field, solutions were proposed to address the region's conditions. These solutions were categorized into three main groups: diversification of crops, reduction of cultivated area, and improvement of efficiency. The results showed that the optimal solution involved simultaneously increasing the efficiency by 2% and reducing the yield of agricultural products other than wheat by 10%, with a relative importance value (Qi) of 100%.

Conclusion

In this study, using the WA+ system, an analysis of water resources and consumption was conducted in the current situation and under the implementation of remedial solutions. The results showed that among the proposed scenarios, the recommended solution involved simultaneously increasing the efficiency by 2% and reducing the yield of agricultural products other than wheat by 10%. A comparison with the current situation demonstrated that, despite a slight difference in the technical criterion, the environmental criterion of the proposed solution is approximately 35% better than the current conditions. Therefore, according to the results, from the analysis of sources and uses, it is found that the WA+ water accounting system can be very effective in the direction of the restoration of Urmia Lake, the optimal exploitation of water resources, both surface and underground, appropriate allocation and water productivity, and appropriate decision-making approaches. provide it to the trustees of the water sector.

Keywords: Water Accounting, User Page, MEREC Model, COPRAS Model, Prioritization.