

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

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 بعلاوه (+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 شده‌است. نتایج ارزیابی این کاربرگ‌ها نشان داد، نشانگر کاربرگ اول که بیان‌کننده نسبت آب در دسترس به آب قابل بهره‌برداری است، $0/59$ و نشانگر کاربرگ دوم که نشان‌دهنده میزان تبخیر و تعرق سودمند به کل آن است، $0/75$ برآورد شدند. همچنین نشانگر کاربرگ سوم، که مقدار آب بهره‌برداری شده در زمین‌های فاریاب را توصیف می‌کند برابر $0/87$ و نشانگر کاربرگ چهارم که معرف نسبت آب برگشتی به کل آب برداشت شده‌است برابر $0/51$ برای حوضه آبریز بدست آمدند. در ادامه، راهکارهای علاج‌بخشی به منظور استفاده بهینه از منابع آب تعریف شده و براساس سه معیار فنی، زیست محیطی 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 ترکیبی افزایش 2% بهبود راندمان کشاورزی و کاهش 10% سطح کشت محصولات زراعی به‌جز گندم، بهترین راهکار علاج‌بخشی می‌باشد که سه معیار مذکور را تا حد قابل قبولی پوشش می‌دهد.

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

مقدمه

امروزه متخ‌ص صن آب در صدد پیاده سازی 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 قابل اطمینان باشد و بتواند فرایندهای هیدرولوژیکی منطقه را به‌طور 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، زیست محیطی و بهره‌وری را با مرتب‌سازی و برقراری پیوند میان آن‌ها، فراهم می‌آورد (سحر خزاعی و همکاران، ۱۳۹۶). تاکنون سازمان‌های مختلفی مانند قسمت آمار سازمان ملل (UNSD)¹، قسمت آب سازمان ملل

¹ United Nations Statistics Division

(UN-Water^۲)، فائو (FAO^۳)، موسسه بین المللی مدیریت آب (IWMI^۴)، کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی (ICID^۵) 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^۶ و سامانه حسابداری آب استرالیا، توانایی بررسی تأثیرات روش‌های گوناگون و مدیریتی در منابع و مصارف را ندارند و تعامل بین کاربری اراضی و جریان‌های آب را تأثیر نمی‌دهند. همچنین برخی دیگر مثل سیستم مطرح شده 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 محیط زیست دانشگاه دلف هلند و نیز با مشارکت فائو به نام WA در سال ۲۰۱۳ معرفی شده‌است (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 قابل اطمینان تری دست پیدا خواهد کرد.

مسئله دیگر در بخش منابع آب، محدود بودن داده‌های دقیق منابع آب در سطح حوضه است. رویکرد WA^۷ 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، تکمیل کننده 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 قابل فهم 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^۸ معرفی می‌شود که روشی آسان، قابل فهم 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 شده‌است (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^۸ 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 امکان پذیر 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 کارگرفته شوند. همچنین، دلاور و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بهبود

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

توانایی چارچوب WA+ با پیوند⁹ SWAT 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 تحت فشار مطرح و بررسی شد؛ نتیجه آن افزایش مصرف آب در صورت استفاده از آبیاری تحت فشار 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 داده‌باز، 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 به صورت 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 پلا سجان پرداختند. در این تحقیق، نتایج نشان داد که میزان تبخیر و تعرق 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.

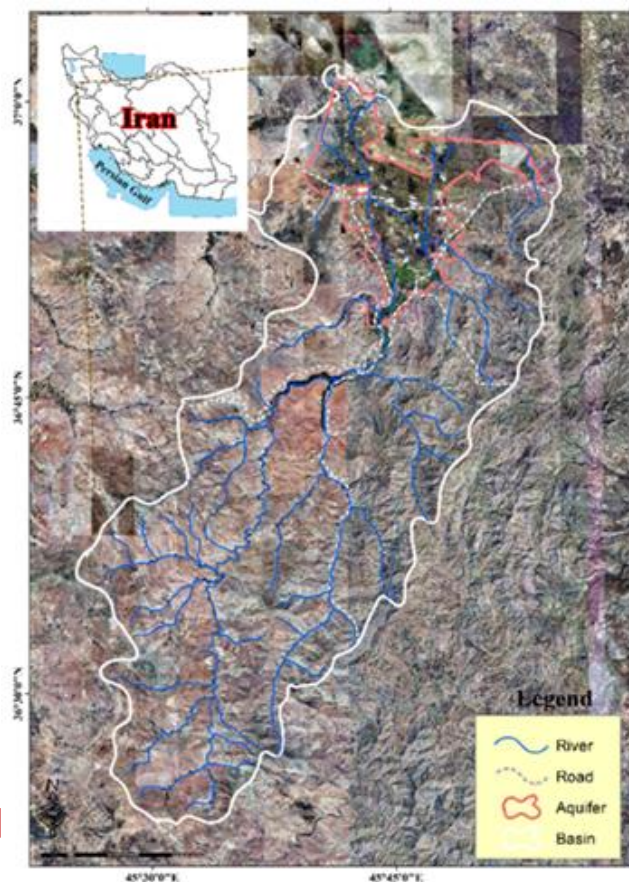
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی مهاباد در جنوب دریاچه ارومیه در حوضه آبریز این دریاچه واقع شده است. مساحت کلی این محدوده مطالعاتی ۱۵۰۸ کیلومتر مربع می‌باشد. از این میزان ۲۴۹ کیلومتر مربع مربوط به وسعت دشت و ۱۲۵۹ کیلومتر مربع 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 محدوده مطالعاتی شامل ۱۶/۲۳ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی (چاه) و ۲۲۵/۱۵ میلیون مترمکعب جریان سطحی

⁹ Soil and Water Assessment Tool

و چشمه‌ها است که به ترتیب ۲۲۶/۰۳ میلیون مترمکعب به مصرف کشاورزی، ۱۵/۱ میلیون 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

Figure (1): Geographical map and Location of the study area

روش تحقیق

در این تحقیق براساس 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 محیط زیستی

محاسبه شده و سپس توسط مدل MEREC^{۱۰} وزن دهی شدند. در نهایت، راهکارها به وسیله مدل کارای COPRAS^{۱۱} اولویت بندی گردیدند.

چارچوب WA+

چارچوب حسابداری آب بعلاوه به عنوان روشی سهل و نوین در میان رویکردهای حسابداری آب است که می تواند حوضه آبریز مطالعاتی را در وضعیت فعلی و در حالت اعمال راهکارهای علاج بخشی، به وسیله کاربرگ های مختلفی همچون، منابع پایه، تبخیر و تعرق، خدمات کشاورزی، برداشت آب و غیره تحلیل کند. شایان ذکر است که کاربرگ های نام برده هر یک جهت بررسی وضعیت منابع و مصارف، میزان تبخیر-تعرق سودمند و غیرسودمند، شرایط بهره وری آب و زمین در اراضی کشاورزی فاریاب و تعیین مقدار برداشت آب و آب برگشتی در مقیاس حوضه می باشند. این چارچوب در ابتدا، کاربری اراضی را به منظور نشان دادن اثرات آن، طبقه بندی کرده و سپس ارتباط هر یک را با آب استفاده شده^{۱۲} پیدا می کند. بخش های مختلف کاربری اراضی در چهار دسته اصلی بر اساس توانایی مدیریت آنها قرار می گیرند. این گروه ها شامل مصرف آب مدیریت شده، کاربری اراضی های بهبود یافته، کاربری اراضی های بهره برداری شده و کاربری اراضی های حفاظت شده هستند (Karimi et al., 2013).

دسته اول (مصرف آب مدیریت شده)، نوعی از دسته بندی کاربری اراضی است که در آن چرخه آب با ساخت سازه ها، دچار تغییر و دگرگونی شده است، مانند ایستگاه های پمپاژ، سدها، کانال ها و غیره. دسته دوم (کاربری اراضی های بهبود یافته)، به زمین هایی گفته می شود که توسط فعالیت های بشر برای تولید غذا و علوفه به وسیله کشاورزی دیم، همچنین بهره مندی از سوخت های بیوفیزیکی، پرورش ماهی و توسعه مکان های تفریحی و غیره تغییر زیادی یافتند. دسته سوم (کاربری اراضی های استفاده شده)، مناطقی شامل دامنه ای از خدمات زیست بومی هستند که ارتباط کمی با کارهای بشر دارند و تنها برای تولید غذا یا چوب استفاده می شوند. برای نمونه، این گروه شامل چمنزارها یا دشت ها و زمین های جنگلی می شود. دسته چهارم (کاربری اراضی های حفاظت شده)، مناطقی هستند که تقریباً بشر در آنها دستکاری نداشته است و چیزی را هم مصرف نکرده است که شامل زیست بوم های طبیعی، جنگل ها، آبکنارهای حفاظت شده، پارک های حفاظت شده و غیره می باشد.

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

الف) کاربرگ منابع پایه (منابع آب): این کاربرگ دید کلی از منابع آب قابل بهره برداری، قابل مدیریت، غیرقابل مدیریت، اختصاص داده شده، استفاده شده و قابل استفاده را ایجاد می کند. پیوند بین تبخیرتعرق ناشی از بارش و تبخیرتعرق ناشی از برداشت های طبیعی و انسانی را تعیین می نماید و همچنین چرخه جو در این کاربرگ کمی می شود. نشانگر استفاده شده در کاربرگ اول جهت ارزیابی وضعیت، نسبت آب در دسترس (AWF^{۱۳}) است که مقدار آن از نسبت آب در دسترس به آب قابل بهره برداری بدست می آید و نشان دهنده بخشی از آب قابل بهره برداری است که برای برداشت ها در دسترس می باشد. شایان ذکر است که این کاربرگ به

¹⁰ Method based on the Removal Effects of Criteria

¹¹ Complex Proportional Assessment

¹² Water use

¹³ Available Water Fraction

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 آمریکا (USDA^{۱۴}) از رابطه ۱ تا ۲ بدست می‌آید (خالقی، ۱۳۹۴).

$$\text{IF: } P < 250 \text{ mm} \quad P_{ef} = (P/125) * (125 - 0.2P) \quad (۱)$$

$$\text{IF: } P > 250 \text{ mm} \quad P_{ef} = 125 + 0.1P \quad (۲)$$

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 دسته بندی کاربری اراضی و گروه‌های مصرف کننده آب، توصیف تأثیر انسان بر تبخیر تعرق، مصرف سودمند و ناسودمند می‌پردازد. نشانگر استفاده شده در کاربرگ دوم جهت ارزیابی شرایط، نسبت تبخیر تعرق سودمند (BTF^{۱۵}) است که مقدار آن از نسبت تبخیر تعرق مفید به کل تبخیر تعرق بدست می‌آید و نشان دهنده‌ی 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 مدیریت شده، می‌پردازد. نشانگر استفاده شده در کاربرگ سوم جهت ارزیابی وضعیت، بهره‌وری آب در زمین‌های کشاورزی فاریاب (WP^{۱۶}) است که مقدار آن همان میانگین وزنی بهره‌وری آب در منطقه است و نشان دهنده‌ی متوسط میزان محصول برداشت شده 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 استفاده شده در کاربرگ چهارم جهت ارزیابی شرایط، نسبت آب برگشتی (RF^{۱۷}) است که مقدار آن نسبت آب برگشتی به کل آب برداشت شده 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.

¹⁴ United States Department of Agriculture

¹⁵ Beneficial Transpiration Fraction

¹⁶ Water Productivity for Irrigated Crops

¹⁷ Return Flow Fraction

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 آبیاری شده 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 اعمال شده است. روش اول (B1) کاهش پنج درصد از اراضی زراعی آبیاری و روش دوم (B2)، کاهش ده درصد از این زمین‌ها و در نهایت روش سوم (B3)، کاهش ده درصد از زمین‌های زراعی آبیاری به جز 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 اعمال شده 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 به صورت زنجیروار به یکدیگر متصل هستند. این سناریو به چهار روش اعمال شده 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 دوه‌دو با هم ترکیب شده‌اند. روش اول (D1) ترکیب افزایش عملکرد زمین زراعی و کاهش ۱۰ درصد سطح کشت زراعی به جز گندم، روش دوم (D2) ترکیب افزایش عملکرد زمین زراعی و افزایش ۲ درصد راندمان، روش سوم (D3) ترکیب کاهش ۱۰ درصد سطح کشت زراعی به جز 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، به نحوی که برای نشانگرهای مهم‌تر اثر بیشتری در نظر گرفته شده است.

$$\text{معیار فنی} = 0.3 * AWF^{18} + 0.25 * BTF^{19} + 0.3 * WP^{20} + 0.15 * RF^{21} \quad (3)$$

$$AWF = \frac{\text{آب در دسترس}}{\text{آب قابل بهره برداری}} \quad \text{جهت ارزیابی کاربرگ اول} \quad (4)$$

$$BTF = \frac{\text{تبخیر تعرق مفید}}{\text{تبخیر تعرق کل}} \quad \text{جهت ارزیابی کاربرگ دوم} \quad (5)$$

$$WP = \text{میانگین وزنی بهره وری آب} \quad \text{جهت ارزیابی کاربرگ سوم} \quad (6)$$

$$RF = \frac{\text{آب برگشتی}}{\text{آب برداشت شده}} \quad \text{جهت ارزیابی کاربرگ چهارم} \quad (7)$$

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

$$\text{معیار زیست محیطی دریاچه ارومیه} = \frac{\text{خروجی سد}}{\text{خالص آب ورودی حوضه}} \quad (8)$$

در نهایت مقادیر معیار اقتصادی-اجتماعی بر اساس پرسشنامه از جامعه خبرگان می باشد.

مدل تصمیم گیری چند معیاره

محققین در دهه های اخیر از مدل های چندمعیاره (MCDM) برای تصمیم گیری های پیچیده استفاده کردند. در این پژوهش نیز به منظور بهبود شرایط فعلی حوضه مورد مطالعه، سناریوهای مختلفی تعریف شده است که جهت بررسی آنها از جنبه ها و معیارهای مختلف با وزن های ناهمگن، از مدل چند معیاره استفاده می شود. بدین منظور در ابتدا معیارها از طریق مدل MEREC وزن دهی و در ادامه راهکارها توسط مدل COPRAS اولویت بندی شده اند.

وزن دهی معیارها به منظور تصمیم گیری چند معیاره امری ضروری است چراکه وزن معیارها اهمیت آنها را نشان می دهد بنابراین، این مرحله می تواند به طور قابل توجهی بر نتایج تأثیر بگذارد و یکی از مهمترین و پیچیده ترین فرآیندهای MCDM می باشد (Keshavarz-Ghorabae et al, 2021).

مدل MEREC

در این مطالعه یک روش وزن دهی 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 می باشد. برخلاف روش های دیگر، روش پیشنهادی از اثرات حذف هر یک از معیارها بر عملکرد کلی گزینه ها برای محاسبه وزن معیارها استفاده می کند. این دیدگاه ممکن است به تصمیم گیرندگان کمک کند تا برخی از

¹⁸ Available water fraction

¹⁹ Beneficial Transpiration fraction

²⁰ Water productivity for irrigated crop

²¹ Return flow fraction

معیارها را از فرآیند تصمیم گیری حذف کنند. با این حال، مزیت اصلی روش پیشنهادی، انعطاف پذیری است به طوری که تصمیم گیرندگان می توانند از توابع مختلف برای محاسبه عملکرد استفاده کنند. براین اساس مراحل انجام وزن دهی 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 می دهد. عناصر این ماتریس با x_{ij} نشان داده می شوند.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad i=1, \dots, n, j=1, \dots, m \quad (9)$$

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

$$n_{ij}^x = \begin{cases} \frac{\min_k x_{kj}}{x_{ij}} & \text{if } j \in B \\ \frac{x_{ij}}{\max_k x_{ij}} & \text{if } j \in H \end{cases} \quad (10)$$

ج) در مرحله سوم عملکرد کلی گزینه ها از طریق یک اندازه گیری لگاریتمی با وزن برابر معیارها محاسبه می شود در ادامه برای این محاسبه از رابطه ۱۱ استفاده می شود.

$$S_i = \ln\left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)|\right)\right) \quad (11)$$

د) در مرحله چهار با حذف هر یک از معیارها، عملکرد گزینه ها محاسبه می شوند. بنابراین، اگر عملکرد کلی گزینه i در مورد حذف معیار z با S'_{iz} نشان داده شود، محاسبات از طریق فرمول ۱۲ انجام می شود.

$$S'_{ij} = \ln\left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)|\right)\right) \quad (12)$$

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

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad (13)$$

ی) در مرحله ششم وزن نهایی معیارها تعیین می شود. در ادامه، w_j نشان دهنده وزن معیار z است که برای محاسبه آن از فرمول ۱۴ استفاده می شود.

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad (14)$$

مدل COPRAS

روش ارزیابی نسبی پیچیده (COPRAS) یکی از روش های تصمیم گیری است که جهت اولویت بندی گزینه های مختلف با استفاده

از وزن معیارها به کار گرفته می‌شود. این روش توسط Zavadskas, Kaklauskas 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 کارآمد برای ارزیابی و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها براساس 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)، قابل فهم بودن (بکارگیری سیستم‌های ارزش‌دهی مقداری)، داشتن محاسباتی آسان، قابل اطمینان بودن (سنجش یکسان و قابلیت درک عمیق و دقیق توسط کاربر) و انعطاف‌پذیر بودن، اشاره کرد (Zavadskas et al, 2008). در ادامه روش COPRAS بشرح زیر بیان می‌شود.

الف) در این روش ماتریس تصمیم براساس 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.

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (15)$$

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

$$r_{ij}^* = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (16)$$

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

$$\hat{r}_{ij} = r_{ij}^* \cdot w_j \quad \begin{matrix} i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (17)$$

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.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^g \hat{r}_{ij} \quad \begin{matrix} i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (18)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=g+1}^n \hat{r}_{ij} \quad \begin{matrix} i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (19)$$

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.

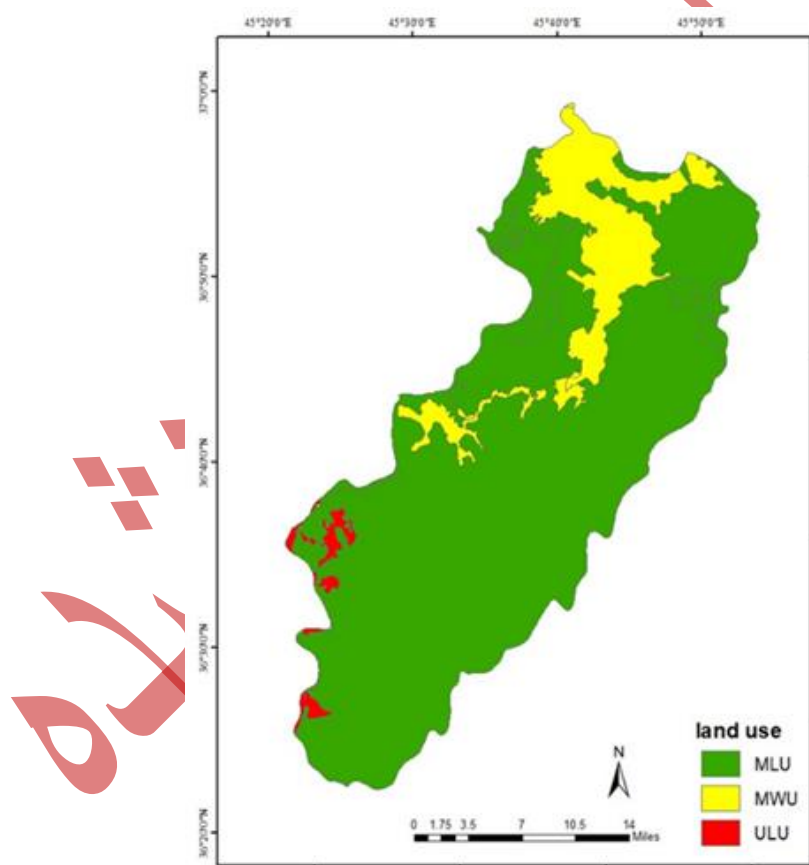
$$Q_i = S_{+i} + \frac{\min S_{-i} \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m \frac{\min S_{-i}}{S_{-i}}} \quad (20)$$

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} \quad (21)$$

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

داده‌های مورد استفاده در چارچوب WA+

در چارچوب WA+ برای استفاده از کاربرگ‌ها به منظور برآورد شرایط آبی به طبقه بندی 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^{۲۲} بیان کننده کاربری اراضی بهبود یافته، MWU^{۲۳} زمین های مربوط به مصرف آب مدیریت شده و ULU^{۲۴} کاربری اراضی استفاده شده می‌باشد.



شکل (۲): کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

Figure (2): Land use of the study area

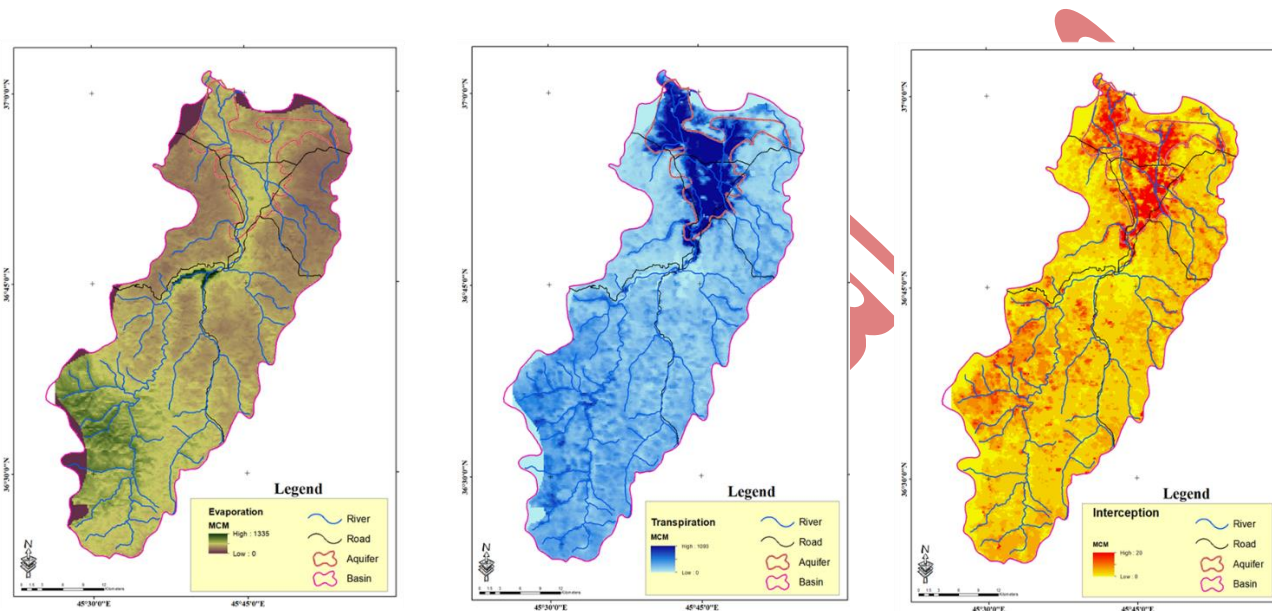
پارامترهای اقلیمی اثر گذار در منابع آب محدوده های مطالعاتی که نقش اصلی در رویکرد WA+ ایفاء می‌کنند، بارش، برگاب، تبخیر

²² Modified Land Use

²³ Managed Water Use

²⁴ Utilized Land Use

و تعرق می باشد. 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.



الف) تبخیر

ب) تعرق

ج) برگاب

شکل (۳): نقشه‌های مکانی مورد نیاز در چارچوب WA+ مربوط به منطقه مورد مطالعه

Figure (3): Spatial maps required in WA+ framework related to the study area

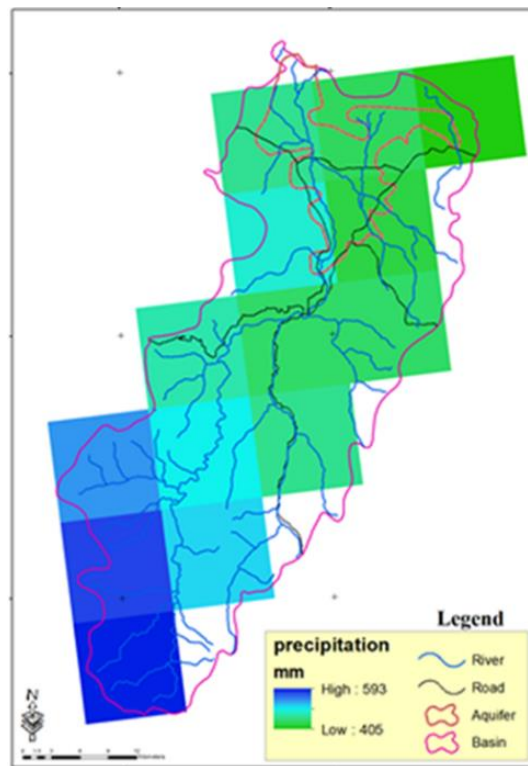
همچنین نقشه تعرق در شکل ۳ ب نشان می‌دهد که برعکس تبخیر، در مناطق شمالی حوضه که زمین‌های کشاورزی فاریاب قرار دارند، تعرق بیشترین مقدار خود را دارد و هر چه به سمت جنوب حوضه حرکت شود، این مقدار کاهش می‌یابد. براساس نتایج مطالعات انجام شده، مقادیر تبخیر و تعرق که از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده‌اند نیاز 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 تبخیر و تعرق در سطح حوضه بصورت رابطه ۲۲ ارائه شده است (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۷).

$$ET_{ev} = 1.1587 ET_m - 0.46$$

(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 همان طور 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 (۴): نقشه بارش منطقه مورد مطالعه

Figure (4): Precipitation map of the study area

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

Table (1): Irrigated crops of the basin

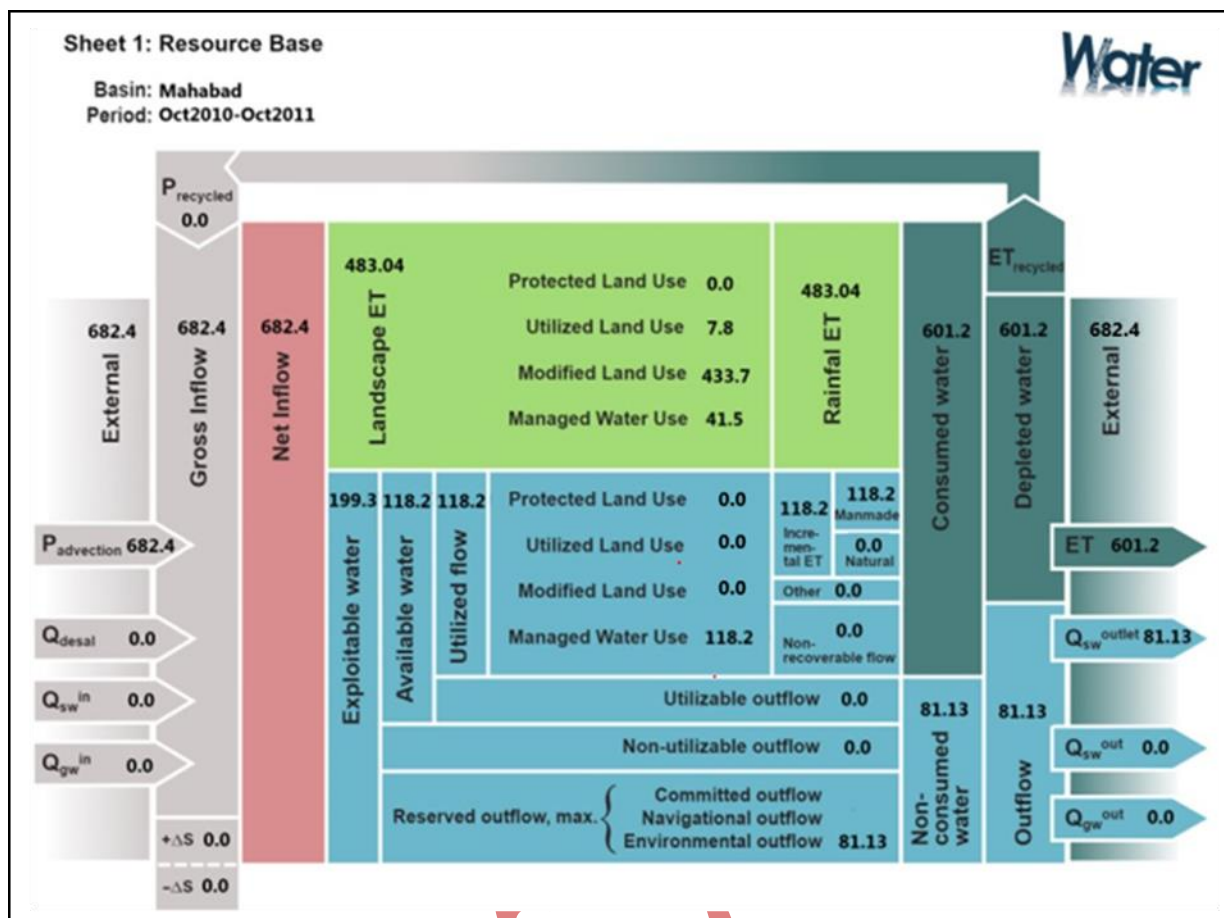
نوع محصول	سطح کشت (هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
گندم	۴۶۵۵	۵۳۰۰
محصولات صنعتی	۲۲۷۰	۵۱۷۰۱
قند		
یونجه	۴۲۰۰	۸۰۳۶
مجموع	۱۱۱۲۵	-

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 گونه‌ایست که تنها ورودی آن بارش می‌باشد و میزان آن با توجه به داده‌های سنجش از دور برابر ۶۸۲/۴ میلیون متر مکعب برآورد شده‌است. با توجه به در نظر گرفتن دوره محاسباتی یک ساله، تغییرات حجم در نظر گرفته نشده‌است، 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 متر مکعب بدست آمده‌است. از کل آب آبی یا همان آب قابل بهره‌برداری، مقدار ۱۱۸/۲ میلیون متر مکعب توسط عوامل انسانی برداشت شده و مقدار ۸۱/۱۳ میلیون متر مکعب از آن جهت تامین نیاز زیست محیطی 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 متر مکعب برآورد شده‌است. در نهایت کل خروجی با کل ورودی برابر شده که مقدار آن ۶۸۲/۴ میلیون متر مکعب بدست آمده‌است.



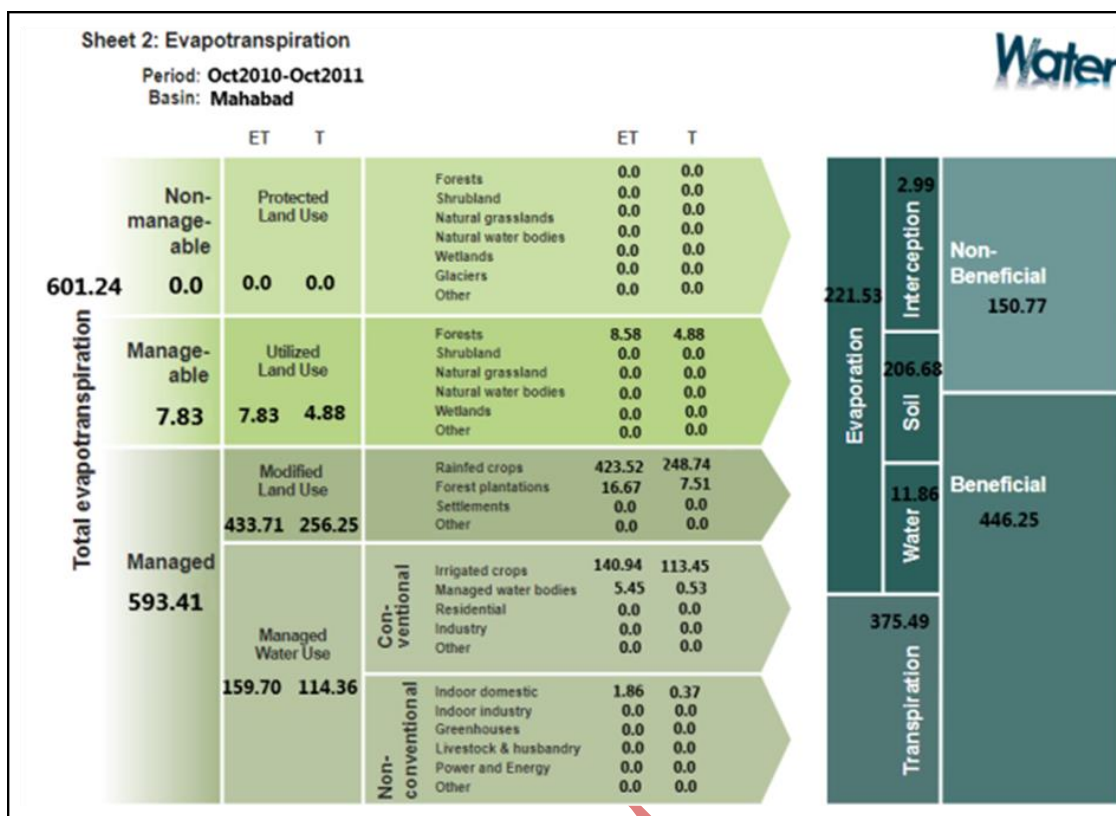
شکل (۵): کاربرد منابع پایه

Figure (5): Resources base Sheet

نشانگر کاربرد 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 متر مکعب بر کل آب قابل بهره‌برداری به میزان ۱۹۹/۳ میلیون متر مکعب بدست آمده است و این یعنی ۵۹ درصد از آب قابل بهره‌برداری برای برداشت در دسترس می‌باشد.

کاربرد دوم

کاربرد تبخیر و تعرق جهت تعیین مقدار تبخیر و تعرق در هر کاربری و نهایتاً مشخص نمودن مقدار سودمند و غیر سودمند آن به کار می‌رود. با توجه به شکل ۶، همان طور که از کاربرد اول بدست آمد کل تبخیر و تعرق برابر ۶۰۱/۲ میلیون متر مکعب می‌باشد که از این مقدار، ۷/۸۳ میلیون متر مکعب به آب قابل مدیریت و ۵۹۳/۴۱ میلیون متر مکعب به آب مدیریت شده اختصاص دارد. همچنین، بیشترین مقدار در بخش مدیریت شده به تبخیر و تعرق زمین‌های دیم و فاریاب تعلق دارد که مقادیر آن از تصاویر ماهواره ای قرائت شده‌است. نهایتاً در این کاربرد کل تبخیر و تعرق سودمند برابر ۴۴۶/۲۵ و غیر سودمند ۱۵۰/۷۷ میلیون متر برآورد شده‌است.



شکل (۶): کاربرد تبخیر و تعرق

Figure (6): Evapotranspiration Sheet

نشانگر کاربرد 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 متر مکعب بر مجموع تبخیر و تعرق سودمند و غیر سودمند به میزان حدوداً ۶۰۱/۲۴ میلیون متر مکعب بدست آمده است و این یعنی مقدار تبخیر و تعرق سودمند ۷۵ درصد از کل تبخیر و تعرق را تشکیل می‌دهد.

کاربرد سوم

این کاربرد خلاصه‌ای از شرایط کشاورزی فاریاب منطقه می باشد. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود، بیشترین مساحت مربوط به محصول گندم برابر ۴۶۵۵ هکتار و کمترین مساحت مربوط به محصول چغندر قند و برابر ۲۲۷۰ هکتار می‌باشد. همچنین بالاترین و پایین ترین بهره‌وری آب نیز به ترتیب برای محصولات چغندر قند و یونجه می باشد که میزان هر یک ۲/۵۳۷ و ۰/۳۳۷ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است.

Mahabad			
Oct 2010-Oct2011			
	product	land productivity(kg/hect)	water productivity(kg/m ³)
managed water	cereals 4655(ha)	5300	0.544
	sugar crops 2270(ha)	51701	2.537
(MCM)	fruit&nuts 4584(ha)	27434	0.869
	feed crops 4200(ha)	8036	0.337

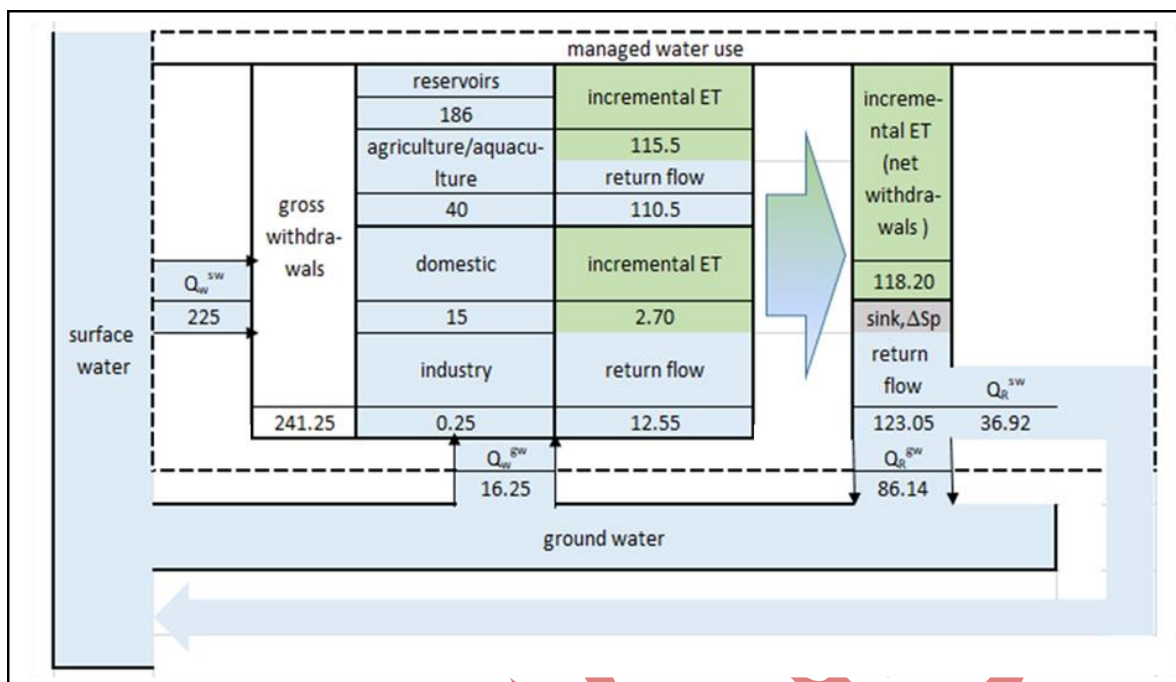
شکل (۷): کاربرد خدمات کشاورزی

Figure (7): Agricultural Services Sheet

نشانگر کاربرد سوم جهت ارزیابی شرایط حوضه، عبارت است از WP (Water Productivity For Irrigated Crops) به معنی نسبت بهره وری 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، بهره برداری شده‌است.

کاربرد چهارم

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



شکل (۸): کاربرد برداشت آب

Figure (8): Withdrawal Sheet

نشانگر کاربرد چهارم جهت ارزیابی شرایط حوضه، عبارت است از RF (Return Flow Fraction) به معنی نسبت آب برگشتی که برابر با عدد $0/51$ است؛ این مقدار از تقسیم آب برگشتی به میزان $123/05$ میلیون متر مکعب بر کل آب برداشت شده به میزان $241/25$ میلیون متر مکعب بدست آمده است و این یعنی 51 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 نشان دهنده 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

Table (2): Comparison of indexes

نشانگر	AWF	BTF	WP	RF
--------	-----	-----	----	----

راهکار	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، ۰/۸۶۱ و ۰/۴۲۹ می‌باشند. در صورت مقایسه و وضعیت فعلی با راهکارهای پیشنهاد شده، 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، زیست محیطی 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.

جدول (۳): معیارهای سنجش

Table (3): Solutions criteria

راهکار	معیارها		
	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

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

اولویت بندی راهکارها

نتایج محاسبات مدل وزن دهی MERECE

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 داده های این بخش، برابر ۰/۰۴۰، وزن معیار زیست محیطی با بیشترین وزن برابر ۰/۴۹۴ و وزن معیار اقتصادی-اجتماعی برابر ۰/۴۶۶ می باشند.

نتایج اولویت بندی راهکارها با روش COPRAS

اولویت بندی راهکارها توسط مدل COPRAS و با استفاده از روابط ۱۵ تا ۲۱ انجام شده است و نتایج آن در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول (۴): نتایج اولویت بندی راهکارها

Table (4): Result of prioritizing solutions

راهکار	Qi	Ui به 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

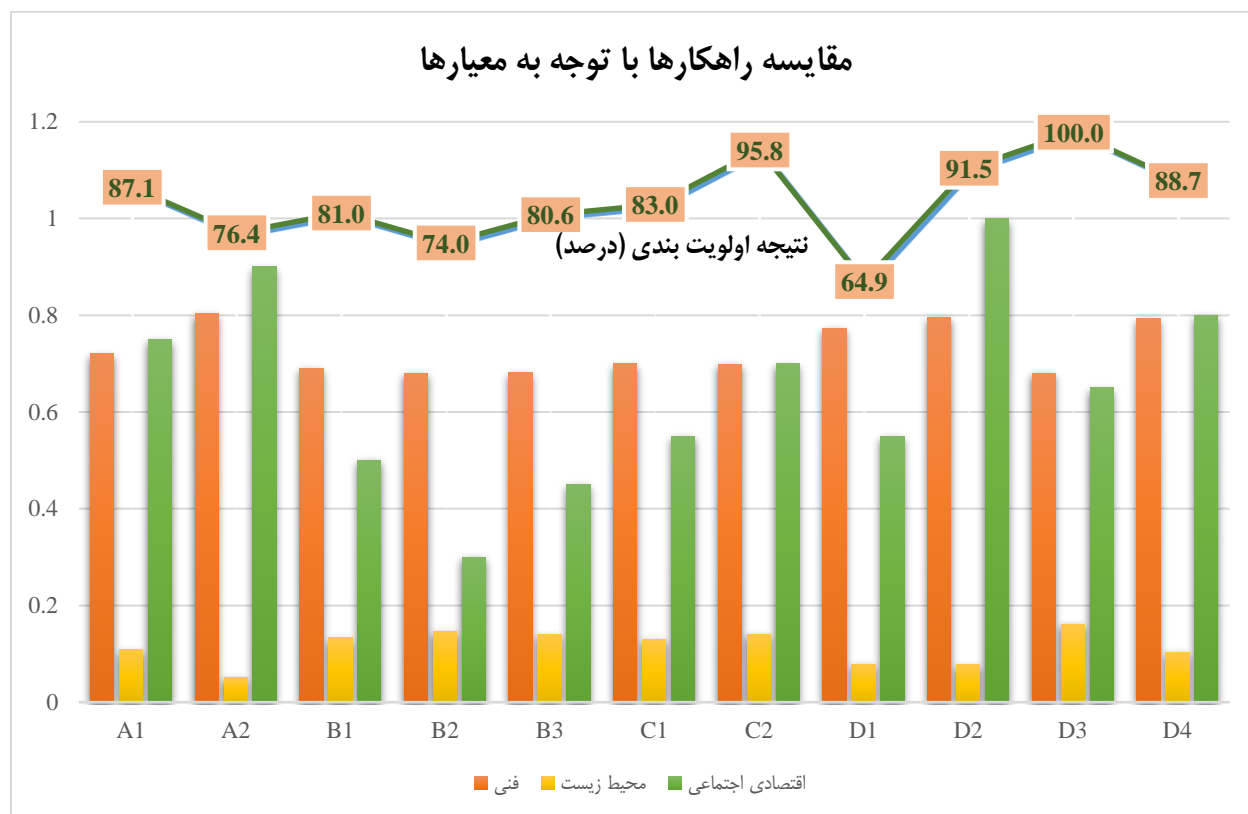
همان‌طور که مشخص است راهکار دهم (D3)، یعنی ترکیب افزایش دو درصد راندمان و کاهش ده درصد سطح کشت زمین‌های زراعی به جز گندم بهترین گزینه برای علاج بخشی است چراکه اهمیت نسبی آن برابر با صددرصد است. همچنین، D1 با اهمیت نسبی ۶۴/۹۲ درصد، بدترین راهکار می‌باشد. اگر راهکارهای تکی، جداگانه مورد بررسی قرار بگیرند، 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 داده‌است؛ لذا از این مفهوم در پژوهش حاضر نیز استفاده شده‌است. علاوه بر این از این سامانه نوین و کارا جهت ارزیابی راهکارهای علاج بخشی ارائه شده 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 توامان افزایش ۲ درصد راندمان و کاهش ۱۰ درصد محصولات زراعی به جز گندم می‌باشد، مشاهده می‌شود که نشانگر کاربرد 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 در دسترس نسبت به آب قابل بهره برداری 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 برداشت شده می‌باشد.



شکل (۹): مقایسه راهکارها

Figure (9): Comparing Solutions

نتیجه گیری

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+ به خوبی 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 (به خصوص 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 ارائه شده، انجام توامان افزایش ۲ درصد راندمان و کاهش ۱۰ درصد محصولات زراعی به جز گندم می‌باشد که مقایسه آن با وضعیت فعلی نشان می‌دهد، علی‌رغم تفاوت اندک در معیار فنی، معیار زیست محیطی 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 رویکرد های تصمیم‌گیری مناسبی را در اختیار متولیان بخش آب قرار دهد تا منطقه از شرایط بحرانی به شرایط پایدار برسد.

- 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 شفیع، مجتبی. (۱۳۹۷). معرفی چارچوب حسابداری آب WA+. آب و توسعه پایدار، ۵(۲)، ۱۱۷-۱۲۸.
- دلاور، معجد، مرید، سعید، و رئیس، 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.
- رحیم پور، مرتضی، کریمی، نعمت‌الله، 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 WA+ در 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.

Agriculture Jihad, (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-Ghorabae, 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 (MERECE). *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., Raeni, 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.

فيلادلفيا
الاسلام
الاسلام
الاسلام

Water Resources Planning and Management in Lake Urmia Basin Using the Water Accounting Approach

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 resource 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.

Keywords: Water accounting; User page; MEREC model; COPRAS model; Prioritization.