

مدیریت مصرف آب کشاورزی منطقه سیستان تحت رویکرد آب مجازی با استفاده از مدل WEAP

مهران حکمت‌نیا، مهدی صفدری، سید مهدی حسینی و علی سردار شهرکی

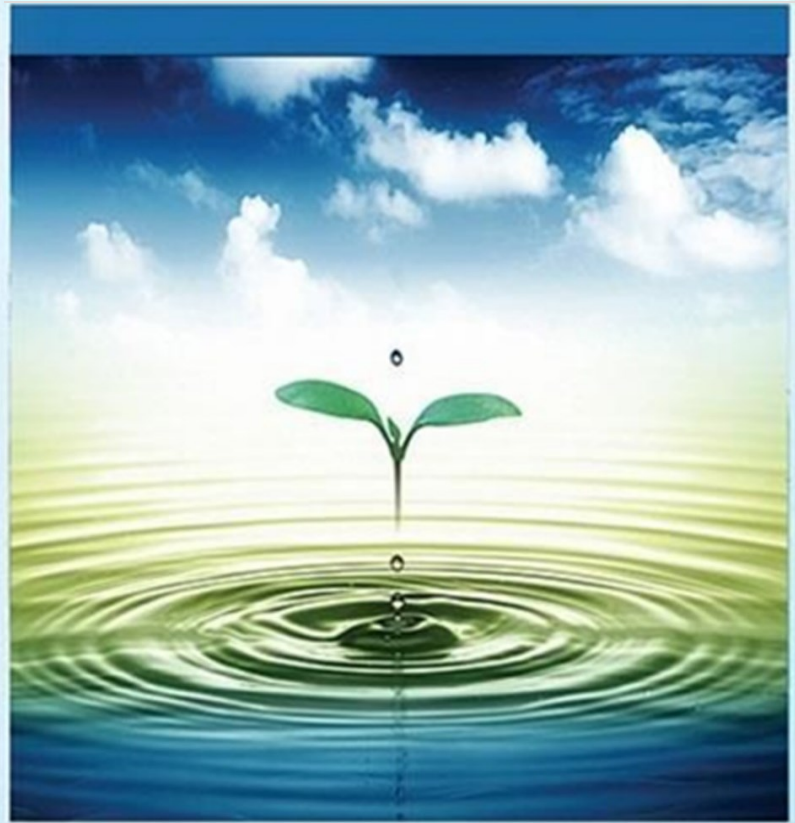
دوره ۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صفحات ۴۶۵ - ۴۷۶

Vol. 7(3), Autumn 2021, 465-476

DOI: 10.22034/JEWE.2021.270472.1506

**Agricultural Water Use Management of Sistan
Region under Virtual Water Approach Using
WEAP Model**

Hekmatnia, M., Sadari, M., Hosseyni, M. and
Shahraki, A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

حکمت‌نیا، م.، صفدری، م.، حسینی، م. و شهرکی، ع. (۱۴۰۰). مدیریت مصرف آب کشاورزی منطقه سیستان تحت رویکرد آب مجازی با استفاده از مدل WEAP. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۳، صفحات: ۴۶۵-۴۷۶.

Citing this paper: Hekmatnia, M., Sadari, M., Hosseyni, M. and Shahraki, A. (2021). Agricultural water use management of Sistan region under virtual water approach using WEAP model. Environ. Water Eng., 7(3), 465-476. DOI: 10.22034/JEWE.2021.270472.1506

مقاله پژوهشی

مدیریت مصرف آب کشاورزی منطقه سیستان تحت رویکرد آب مجازی با استفاده از مدل WEAP

مهران حکمت‌نیا^۱، مهدی صفدری^۲، سید مهدی حسینی^{۳*} و علی سردار شهرکی^۴

^۱دانشجوی دکتری، گروه مهندسی اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۲دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۳استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده علوم زیست‌محیطی و کشاورزی پایدار، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۴استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

*نویسنده مسئول: hosseini@eco.usb.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۱/۰۸]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۱۲/۲۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۱/۰۷]

چکیده

کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان است. یکی از راه‌کارها برای مدیریت مصرف آب کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، محاسبه میزان مصرف آب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی از طریق شاخص آب مجازی است. هدف از این پژوهش استفاده از شاخص آب مجازی برای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند بود. نیاز آبیاری محصولات کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT به‌دست آمد. سپس وضعیت حال و آینده عرضه و تقاضای آب محصولات کشاورزی حوزه در الگوی کشت فعلی منطقه با استفاده از مدل WEAP بررسی شد. پس از محاسبه محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی، الگوی کشت بر اساس محتوای آن و با تأکید بر نیاز آبیاری ارائه شد. تقاضای آب محصولات کشاورزی در سناریو آب مجازی الگوی کشت با استفاده از مدل WEAP بررسی شد. نتایج نشان داد متوسط نیاز آبیاری محصولات کشاورزی در حوزه آبخیز هیرمند $7847 \text{ m}^3/\text{ha}$ و محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی $2/353 \text{ m}^3/\text{kg}$ بود. از کل عرضه آب در حوزه آبخیز هیرمند، $70/10\%$ توسط بخش کشاورزی مصرف می‌شود. در وضعیت فعلی کل تقاضای آب محصولات کشاورزی $10^{11} \times 10^6 \text{ m}^3$ در سال است که $67/13\%$ تأمین شده و $32/87\%$ تأمین نمی‌شود. در صورت ادامه وضعیت فعلی تا ۱۵ سال آینده بخش کشاورزی با کمبود آب به‌اندازه $6099 \times 10^6 \text{ m}^3$ مواجه خواهد شد. با اعمال سناریوی پیشنهادی سالانه $10^6 \times 180$ قابل کاهش است. در نهایت مشخص شد اگر اولویت تخصیص آب بین بخش کشاورزی و بخش شرب یکسان باشد، بخش شرب با کمبود آب $10^6 \times 18$ در سال مواجه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی؛ بخش کشاورزی؛ مدل WEAP؛ منطقه سیستان

۱- مقدمه

آب یک منبع طبیعی برای توسعه انسانی، توسعه محیط‌زیستی و ثروت مشترک میان همه انسان‌ها است که باید با مصرف درست به نسل‌های بعدی واگذار شود (Hollermann et al. 2010). خلأ بین تأمین آب و شدت تقاضا، باعث بحران آب می‌شود. در حال حاضر عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب در بیش از ۴۰٪ از جمعیت جهان وجود دارد. هنگامی که این عدم تعادل با مجموعه راهکارهای مدیریتی قابل‌مهار نباشد، باعث ایجاد تنش‌های آبی بین کشورها و مناطق مختلف می‌شود. بخش عمده‌ای از عدم تعادل در منابع آب ناشی از محدودیت طبیعی منابع آب و بخش دیگر، تأثیرگذاری اقدامات و فعالیت‌های انسانی بر روی سامانه‌های منابع آب می‌باشد (Tena et al. 2019). در حال حاضر بسیاری از کشورها در سرتاسر جهان با بحران آب مواجه هستند. براساس شاخص بنیاد کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل هرگاه میزان برداشت آب یک کشور بیش‌تر از ۴۰٪ از کل منابع آب تجدیدپذیر آن باشد، این کشور با بحران شدید آب مواجه است (Hamlat et al. 2013). در ایران هم‌اکنون بیش از ۷۰٪ از کل منابع آب تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این موضوع نشان می‌دهد ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. ایران با برخورداری از سرانه آب 1600 m^3 جزء کشورهایی است که در حال حاضر در تنش آبی به سر می‌برد و هر ساله بر شدت این تنش افزوده می‌شود (Hekmatnia et al. 2020).

رویکردهای فعلی و گذشته مدیریت منابع آب برای حل تعارضات آب و یا حتی برای چالش‌های جهانی آب ناکافی بوده است. (Wang et al. 2019). برای بهبود روند مدیریت منابع آب، نیاز به اجرای یک رویکرد جامع‌تر برای مدیریت آب نسبت به آنچه در گذشته انجام شده است، وجود دارد. بدین ترتیب، مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) به‌عنوان روشی برای رفع مشکلات محلی و جهانی آب برای دستیابی به مدیریت پایدار آب ظاهر شده است (Hamlat et al. 2013). مفهوم IWRM فرایندی که توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع طبیعی را به‌منظور به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی و اجتماعی حاصل از آن به روشی عادلانه و بدون به خطر انداختن پایداری بوم‌سازگان حیاتی ترویج می‌کند. هدف IWRM تلاش برای تسهیل مدیریت

پایدار منابع آب است (Wang et al. 2019). IWRM مدل‌های بی‌شماری را برای کمک به تخصیص و مدیریت مصرف آب ذکر کرده است. در این میان مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب^۲ WEAP یکی از مفیدترین مدل‌هایی است که در بسیاری از کشورها استفاده شده است.

مدل WEAP به‌عنوان یکی از ابزارهای مدیریت مؤثر در تخصیص منابع آب تحت افزایش رقابت و کمبود آب برای مصارف مختلف در نظر گرفته شده است (Hamlat et al. 2013). مدل WEAP این امکان را برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی تغییرات عرضه و تقاضای آب با شبیه‌سازی سناریوهای تعریف شده توسط کاربر که در آن متغیرهای فیزیکی و اجتماعی در حال تغییر هستند، فراهم می‌کند. این سناریوها می‌توانند طیف گسترده‌ای از سؤالات "چه می‌شود اگر" را برطرف کنند. مثلاً اگر یک سناریوی خاص یا یک سیاست عملیاتی در یک یا چند مکان خاص اجرا شود چه اتفاقی می‌افتد؟ اگر الگوی رشد جمعیت و توسعه اقتصادی تغییر کند چه اتفاقی می‌افتد؟ اگر استراتژی‌های مختلف مدیریت تقاضا اجرا شود چه اتفاقی می‌افتد؟ (Hamlat et al. 2013).

در این پژوهش به کمک مدل شبیه‌سازی WEAP با استفاده از مفهوم آب مجازی^۳ به دنبال پاسخگویی به این سؤال هستیم که اگر الگوی زراعی محصولات کشاورزی منطقه سیستان تغییر کند چه اتفاقی می‌افتد؟ محدودیت منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی در منطقه سیستان سبب شده تا استفاده بهینه از منابع کمیاب آب به‌عنوان یک ضرورت مورد توجه قرار گیرد. مفهوم آب مجازی توسط آلان معرفی شده است (Allan, 1997). آب مجازی آب تجسم‌یافته یا تعبیه شده در یک محصول است، نه به معنای واقعی، بلکه به معنای مجازی است. (Hekmatnia et al. 2020). محتوای آب مجازی به‌عنوان حجم آبی تعریف شده است که در کل فرایند رشد محصول استفاده شده است. این به شرایط تولید، از جمله مکان و زمان تولید و بهره‌وری مصرف آب بستگی دارد. برای مثال تولید 1 kg گندم در یک منطقه خشک می‌تواند دو یا سه برابر بیشتر از تولید همان مقدار در یک منطقه مرطوب تقاضای آب داشته باشد (Hoekstra et al. 2011)؛ بنابراین هدف این پژوهش ارائه

²Water evaluation and planning

³Virtual water

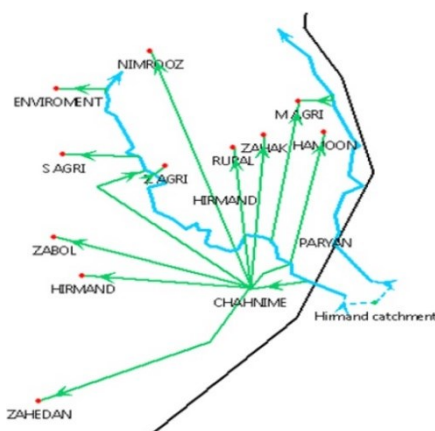
¹Integrated water resources management

هدف این پژوهش ارائه الگوی کشت محصولات کشاورزی در منطقه سیستان با تکیه بر مفهوم آب مجازی و شبیه‌سازی اثر اجرای این سناریو بر تأمین و عدم تأمین آب بخش کشاورزی و محیط‌زیست بود. تاکنون موارد ذکر شده کم‌تر مورد توجه قرار گرفته و بررسی بیشتر این موارد جنبه نوآوری پژوهش حاضر می‌باشد.

۲- روش پژوهش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه سیستان، در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. متوسط میزان بارش در این منطقه حدود ۵۰ mm در سال است. یکی از مشخصه‌های اصلی این منطقه میزان تبخیر بالای آب است. به نحوی که سالانه ۴۰۰۰-۵۰۰۰ mm از منابع آب منطقه سیستان تبخیر می‌شود. از طرفی دیگر این منطقه وابسته به رودخانه مرزی هیرمند می‌باشد. به دلیل اینکه سرمنشأ رودخانه هیرمند در کشور افغانستان است، فعالیت‌های یک‌جانبه کشور افغانستان در خصوص ممانعت از ورود آب به این رودخانه باعث وقوع بحران شدید آبی در منطقه سیستان شده است. است (Bazzi et al. 2020). در منطقه سیستان، سه بخش کشاورزی، هفت بخش آب آشامیدنی (شش بخش شهری و یک روستایی) و تقاضای بخش تالاب‌های هامون وجود دارد. اولویت تخصیص آب در این منطقه به ترتیب شرب، کشاورزی و تالاب است. در شکل (۱) یک شماتیک مفهومی از حوزه آبخیز هیرمند و آب منطقه سیستان برای سایت‌های تأمین و تقاضای آب با استفاده از نرم‌افزار WEAP نشان داده شده است (Shahraki et al. 2017).



شکل ۱- تصویر شماتیک حوزه آبخیز هیرمند (Shahraki et al. 2017)

Fig. 1 Schematic image of Hirmand catchment (Shahraki et al. 2017)

الگوی زراعی محصولات کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند بر اساس سناریو آب مجازی و شبیه‌سازی تأثیر اجرای این سناریو بر عرضه و تقاضای آب حوزه آبخیز هیرمند می‌باشد (Hoekstra and Mekonnen 2012). تاکنون مطالعات متعددی در خصوص مدیریت منابع آب و بررسی سناریوهای مختلف با استفاده از مدل WEAP انجام شده است. Heshmati et al. (2019) به مدیریت منابع آب سد بیستون استان کرمانشاه با استفاده از مدل شبیه‌سازی WEAP پرداختند. نتایج نشان داد تأمین نیازهای صنایع و کشاورزی به ترتیب $10^6 \times 0.370$ و $10^6 \times 0.140$ در سال است، در حالی که تأمین نیاز محیط‌زیستی با در نظر گرفتن سدهای بالادست $10^6 \times 0.420$ در سال است. Salehi et al. (2019) به بررسی اختلافات مربوط به مناقشات و تخصیص آب حوضه زاینده‌رود با استفاده از نظریه بازی‌ها و مدل WEAP پرداختند. Zeinadini et al. (2019) به بررسی وضعیت تخصیص منابع آب تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم حوزه آبخیز اهرچای با استفاده از مدل WEAP پرداختند. نتایج نشان داد بیش‌ترین کمبود مربوط به بخش کشاورزی بوده و انتخاب تصمیمات عملی و فنی برای مدیریت مصرف آب در این بخش امری ضروری است. Hollermann et al. (2010) به مدل‌سازی تعادل آب زیرزمینی حوزه آبخیز اومئو-بون^۱ واقع در کشور بنین تحت سناریوهای مختلف تا سال ۲۰۲۵ با استفاده از WEAP پرداختند. نتایج نشان داد تا سال ۲۰۲۵ در صورت ادامه وضع موجود، فشار بر منابع آب بنین افزایش خواهد یافت و منجر به رقابت بیش‌تر برای آب‌های سطحی خواهد شد. Tena et al. (2019) به مدل‌سازی هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آب حوزه آبخیز چونگوه‌آدر کشور زامبیا با استفاده از مدل WEAP پرداختند. نتایج نشان داد پاسخگویی به تقاضای آب از جمعیت رو به رشد و فعالیت‌های مرتبط با توسعه اقتصادی و اجتماعی در منطقه مطالعاتی امکان‌پذیر است، اما به گزینه‌های مدیریت مناسب منابع آب نیاز دارد. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد تاکنون توجه کم‌تری به اهمیت آب مجازی محصولات کشاورزی در مدیریت منابع و مصارف آب در بخش کشاورزی صورت گرفته است.

¹Ouémé-Bonou

²Chongwe

۲-۲- نیاز آبی

اولین گام برای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، محاسبه نیاز آبی محصول (CWR) است. برای محاسبه نیاز آبی گیاه، اولین گام محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ET_0 است. در این پژوهش برای به دست آوردن تبخیر و تعرق مرجع (mm) از معادله فائو-پنمن-مونتیث^۳ (رابطه ۱) استفاده شد (Allen et al. 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که، ET_0 ، تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، R_n ، تابش خالص خورشید در سطح پوشش گیاهی (MJ/m².day)، G ، جریان حرارت خاک (MJ/m².day)، T ، میانگین دمای هوای روزانه (C)، U_2 ، سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)، e_s ، فشار بخار اشباع (kPa)، e_a ، فشار بخار واقعی هوا (kPa)، $e_s - e_a$ ، کسری فشار بخار اشباع (kPa)، Δ ، شیب منحنی فشار بخار (kPa/C) و γ ، ضریب رطوبتی (kPa/C) می‌باشد. پس از محاسبه تبخیر تعرق مرجع، مقدار تبخیر تعرق محصول (ET_c) برحسب (mm) از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (Hekmatnia et al. 2020).

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (2)$$

که، K_c متوسط ضریب گیاهی است که با در نظر گرفتن موقعیت آب و هوایی، تاریخ کاشت و دوره رشد گیاه تعیین می‌شود. در این مطالعه از مقادیر فائو برای ضریب گیاهی محصولات استفاده شد. پس از محاسبه تبخیر-تعرق، مقدار نیاز آبی (CWR) برحسب (m³/ha) از طریق رابطه (۳) محاسبه شد (Allen et al. 1994).

$$CWR = ET_c \times A \quad (3)$$

که، A سطح زیر کشت (ha) می‌باشد. در این پژوهش به منظور تعیین نیاز آبی گیاه از پارامترهای حداقل و حداکثر دمای ماهانه، بارندگی ماهانه، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی در روز، سرعت باد، ضریب گیاهی، بارش مؤثر و تبخیر و تعرق مرجع که از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری گردید، در محیط نرم‌افزار CROPWAT ورژن ۸ برای کل طول مراحل رشد استفاده شد.

¹Crop Water Requirement

²References Evapotranspiration

³FAO Penman-Monteith

۳-۲- آب مجازی

جهت برآورد حجم آب مجازی مصرف شده (m³/kg) از رابطه (۴) استفاده شد (Hoekstra and Mekonnen 2012).

$$VWC = CWR \div Y \quad (4)$$

که، CWR نیاز آبی محصول و Y متوسط عملکرد (kg) است. اگر حجم آب مجازی تخمین زده شده برای هر محصول بیش‌تر از ۱ m³/kg باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کم‌تر از ۱ m³/kg باشد، جزء محصولات کم‌مصرف قرار دارد و این نکته برای تمامی محصولات زراعی و باغی صادق است (Hoekstra et al. 2011).

۴-۲- مدل WEAP

مدل WEAP توسط موسسه محیط‌زیست استکهلم (SEI) ساخته شده است. این مدل از دو عملکرد اساسی تشکیل شده است (Wang et al. 2019). شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی طبیعی برای ارزیابی در دسترس بودن آب در حوزه آبخیز؛ شبیه‌سازی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر سامانه‌های منابع آب در حال و آینده.

از نظر فنی، WEAP یک چارچوب جامع، انعطاف‌پذیر و کاربرپسند برای برنامه‌ریزی و تجزیه و تحلیل سیاست را فراهم می‌کند که برای سیستم پیچیده آب قابل استفاده است. مراحل کاربرد مدل WEAP به این صورت است که ابتدا چارچوب زمانی، مکانی و اجزای سیستم پیکربندی و مشخص می‌شود. سپس اطلاعات موردنیاز را برای وضعیت فعلی و سال‌های موردبررسی وارد مدل می‌شود. سناریوهای مختلف در مورد وضعیت آینده عرضه و تقاضای آب برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و مصارف آب براساس سیاست‌ها، توسعه فناوری و سایر عواملی که بر تقاضا، تولید و هیدرولوژی تأثیر می‌گذارند طراحی می‌شوند. در نهایت سناریوها با توجه به هزینه‌ها، نتایج و اثرات آن مورد تحلیل قرار می‌گیرد (Khalil et al. 2018).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- محتوای آب مجازی و نیاز آبی

محتوای آب مجازی محصولات کشت شده حوزه آبریز هیرمند در جدول (۱) ارائه شده است. متوسط آب مجازی محصولات در بخش کشاورزی سیستان ۲/۰۳۰ m³/kg محاسبه شد. این نشان می‌دهد برای تولید ۱ kg محصول کشاورزی در

آب مجازی محصول کم‌تر است. Hekmatnia et al. (2020) به محاسبه میانگین آب مجازی محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان پرداختند که نتایج پژوهش حاضر با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

نیاز آبی محصولات کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند در جدول (۱) ارائه شده است. متوسط نیاز آبی محصولات کشاورزی $7846/533 \text{ m}^3/\text{ha}$ محاسبه شد. بیش‌ترین نیاز آبی مربوط به یونجه با تقاضای آب $21575 \text{ m}^3/\text{ha}$ و کم‌ترین تقاضای آب مربوط به گیاهان دارویی با نیاز آبی $1500 \text{ m}^3/\text{ha}$ می‌باشد. (Anonymous (2015) متوسط نیاز آبی محصولات کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند را $7129/333 \text{ m}^3/\text{ha}$ محاسبه کردند که با نتایج این بخش همخوانی دارد.

منطقه سیستان $2/030 \text{ m}^3$ آب مصرف می‌شود. در بخش کشاورزی زهک متوسط آب مجازی $2/304 \text{ m}^3/\text{kg}$ است. در بخش کشاورزی میانکنگی متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی $2/727 \text{ m}^3/\text{kg}$ است. با توجه به آب مجازی محصولات کشاورزی می‌توان نتیجه گرفت، بخش کشاورزی سیستان برای تولید محصولات کشاورزی آب کم‌تری نسبت به بخش‌های کشاورزی زهک و میانکنگی مصرف می‌کند؛ بنابراین بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی سیستان نسبت به بخش‌های کشاورزی زهک و میانکنگی بالاتر است. تفاوت در میزان آب مجازی محصولات کشاورزی در سیستان، زهک و میانکنگی به علت اختلاف در عملکرد محصولات در این مناطق می‌باشد؛ زیرا محتوای آب مجازی یک محصول به میزان عملکرد در واحد سطح آن محصول بستگی دارد. هرچه عملکرد محصول بیشتر باشد، محتوای

جدول ۱- محتوای آب مجازی (m^3/ha) و نیاز آبی محصولات کشاورزی (m^3/kg) حوزه آبخیز هیرمند

Table 1 Virtual water content (m^3/ha) and water requirement of agricultural crops (m^3/kg) in Hirmand catchment

Crops	CWR	Miankangi	Zahak	Sistan
Wheat	6793	4.257	2.822	4.046
Barley	6135	4.596	3.316	3.725
Beans	3825	4.250	3.188	3.825
Sunflower	7318	6.861	4.879	4.879
Sesame	7500	7.500	15	7.500
Onion	7987	0.346	0.266	0.266
Tomato	10710	0.584	0.357	0.357
Melon	5087	0.284	0.203	0.339
Watermelon	11928	0.529	0.332	0.706
Cucumber	4439	0.317	0.341	0.341
Alfalfa	21575	1.036	0.616	1.199
Corn	6843	0.164	0.221	0.298
Sorghum	5688	0.188	0.142	0.090
medicine	1500	1800	1.500	1.500
Garden	11000	1.375	1.375	1.375
Average	7846.533	2.727	2.304	2.030

پیدا کرد و سطح زیر کشت حبوبات و خربزه بدون تغییر ماند. در بخش کشاورزی زهک نیز سطح زیر کشت گندم، جو، آفتاب‌گردان، کنجد و محصولات باغی به دلیل محتوای آب مجازی و نیاز آبیاری بالا $41/44\%$ کاهش یافته است. سطح زیر کشت یونجه بدون تغییر و سطح زیر کشت بقیه محصولات کاهش یافته است. در بخش کشاورزی میانکنگی سطح زیر کشت گندم، جو، آفتاب‌گردان، حبوبات، کنجد و محصولات باغی $35/56\%$ کاهش یافته است. سطح زیر کشت گوجه، خربزه، هندوانه و یونجه بدون تغییر و سطح زیر کشت بقیه محصولات کاهش یافته است.

۳-۲- الگوی زراع فعلی و پیشنهادی

در جدول (۲) الگوی زراعی فعلی محصولات در بخش کشاورزی سیستان، زهک و میانکنگی و درصد تغییر سطح زیرکشت در سناریو آب مجازی ارائه شده است (Anonymous 2015). در سناریو آب مجازی در بخش کشاورزی سیستان سطح زیر کشت گندم، جو، آفتاب‌گردان، کنجد، هندوانه، یونجه و محصولات باغی به دلیل محتوای آب مجازی و نیاز آبیاری بالا $42/03\%$ کاهش پیدا کرد. سطح زیر کشت پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار، ذرت، سورگوم و گیاهان دارویی به دلیل محتوای آب مجازی پایین افزایش

جدول ۲- سطح زیر کشت فعلی و تغییر در سطح زیر کشت در سناریو آب مجازی (m³/kg)

Table 2- Current area under cultivation and change in area under cultivation in virtual water scenario (m³/kg)

Crops	Miankangi		Zahak		Sistan	
	VW	Current	VW	Current	VW	Current
Wheat	7971.2	16342.4	15190	25788.7	20687.4	36887.4
Barley	320	2073.6	98	6203.4	108	3207.6
Beans	0	316.8	49	617.4	172.8	172.8
Sunflower	0	28.8	0	0	0	54
Sesame	0	6.4	0	4.9	0	21.6
Onion	640	268.8	980	225.4	3240	183.6
Tomato	16	16	1470	0	167.4	91.8
Melon	3670.4	3670.4	3920	3140.9	1004.4	1004.4
Watermelon	2665.6	2665.6	2940	2695	1620	1809
Cucumber	640	6.4	980	0	1620	16.2
Alfalfa	716.8	716.8	1558.2	1558.2	540	772.2
Corn	960	428.8	3920	411.6	1080	43.2
Sorghum	4800	2953.6	5880	4331.6	10800	4654.8
Medicine	8000	3.2	11034.8	9.8	10800	21.6
Garden	1600	2502.4	980	4013.1	2160	5059.8

جدول ۳- تقاضای سالانه آب در بخش کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند (million m³)

Table 3 - Annual water demand in the agricultural sector of Hirmand catchment (million m³)

Crops	Miankangi			Zahak			Sistan		
	Unmet	Delivered	Water demand	Unmet	delivered	Water demand	Unmet	Delivered	Water demand
Wheat	36.218	74.796	111.014	64.288	110.861	175.149	73.794	176.781	250.576
Barley	4.150	8.571	12.722	13.969	24.089	38.058	5.975	13.883	19.678
Beans	0.395	0.816	1.212	0.867	1.495	2.362	0.194	0.466	0.660
Sunflower	0.069	0.142	0.211	0	0	0	0.116	0.278	0.395
Sesame	0.016	0.032	0.048	0.013	0.023	0.037	0.047	0.114	0.162
Onion	0.700	1.446	2.147	0.661	1.139	1.800	0.431	1.034	1.466
Tomato	0.056	0.115	0.171	0	0	0	0.289	0.693	0.983
Melon	6.092	12.580	18.671	5.865	10.113	15.978	1.504	3.604	5.109
Watermelon	10.373	21.422	31.795	11.799	20.347	32.146	4.635	15.233	21.577
Cucumber	0.009	0.019	0.028	0	0	0	0.021	0.050	0.071
Alfalfa	5.045	10.420	15.465	12.339	21.279	33.618	4.906	11.753	16.660
Corn	0.950	1.962	2.912	1.034	1.783	2.817	0.087	0.208	0.295
Sorghum	5.481	11.319	16.600	9.043	15.595	24.638	7.797	18.679	26.476
medicine	0.002	0.003	0.005	0.005	0.009	0.015	0.009	0.022	0.032
Garden	8.980	18.546	27.526	16.203	27.941	44.144	16.391	39.266	55.657
Total	89.935	150.793	240.827	136.087	234.675	370.761	117.741	282.062	399.804

شد. در این بخش میزان تقاضای آب تأمین شده m³ ۱۰۶×۶۷۵/۲۳۴ و تقاضای تأمین نشده نیز m³ ۱۰۶×۸۷/۱۳۶ می‌باشد. گندم بیش‌ترین تقاضای آب در بخش کشاورزی زهک را دارد. کل تقاضای سالانه آب گندم m³ ۱۰۶×۱۴۹/۱۷۵ محاسبه شد. سپس محصولات باغی (m³ ۱۰۶×۱۴۴/۴۴) و جو (m³ ۱۰۶×۵۸/۳۸) بیش‌ترین تقاضای سالانه آب را دارند. کمترین تقاضای آب مربوط به گیاهان دارویی (m³ ۱۰۶×۱۵/۰)، کنجد (m³ ۱۰۶×۳۷/۰) و پیاز (m³ ۱۰۶×۱/۸۰۰) می‌باشد.

در بخش کشاورزی میانکنگی کل تقاضای سالانه آب m³ ۱۰۶×۷۹۳/۱۵۰ محاسبه شد که m³ ۱۰۶×۷۲۸/۲۴۰ محاسبه شده و m³ ۱۰۶×۹۳۵/۸۹ تأمین نشده است. بیش‌ترین

۳-۳- وضعیت فعلی تقاضای آب در بخش کشاورزی

در جدول (۳) تقاضای آب محصولات کشاورزی در منطقه سیستان به تفکیک محصولات ارائه شده است. در وضعیت فعلی در بخش کشاورزی سیستان کل تقاضای سالانه آب m³ ۱۰۶×۸۰۴/۳۹۹ محاسبه شد. از این مقدار m³ ۱۰۶×۲۸۲/۰۶۲ تأمین شده و m³ ۱۰۶×۷۴۱/۱۱۷ تأمین نمی‌شود. بیش‌ترین تقاضای آب مربوط به محصولات گندم (m³ ۱۰۶×۵۷۶/۲۵۰)، محصولات باغی (m³ ۱۰۶×۶۵۷/۵۵) و سورگوم (m³ ۱۰۶×۴۷۶/۲۶) می‌باشد. کمترین تقاضای آب مربوط به گیاهان دارویی (m³ ۱۰۶×۳۲/۰) و خیار (m³ ۱۰۶×۷۱/۰) و کنجد (m³ ۱۰۶×۱۶۲/۰) می‌باشد. در بخش کشاورزی زهک، کل تقاضای سالانه آب m³ ۱۰۶×۷۶/۳۷۰ محاسبه

تقاضای آب مربوط به محصولات گندم (m^3) $111/014 \times 10^6$ ، هندوانه ($31/795 \times 10^6 m^3$) و محصولات باغی ($27/526 \times 10^6 m^3$) می‌باشد. کم‌ترین تقاضای آب مربوط به گیاهان دارویی ($0/005 \times 10^6 m^3$)، خیار (m^3) $0/028 \times 10^6$ و کنجد ($0/048 \times 10^6 m^3$) است.

در جدول (۴) تقاضای سالانه آب محصولات کشاورزی در سناریو آب مجازی ارائه شده است. در وضعیت فعلی کل تقاضای آب بخش کشاورزی میانکنگی $240/727 \times 10^6 m^3$ در سال است. با اعمال سناریو آب مجازی تقاضای آب در بخش کشاورزی میانکنگی $47/089 \times 10^6 m^3$ (۱۹/۵۶٪) کاهش می‌یابد و به $193/638 \times 10^6 m^3$ در سال می‌رسد. در بخش کشاورزی سیستان تقاضای سالانه آب در وضعیت فعلی $399/804 \times 10^6 m^3$ است که با اعمال سناریو آب مجازی $70/224 \times 10^6 m^3$ کاهش می‌یابد و به

جدول ۴- تقاضای آب محصولات کشاورزی در سناریو آب مجازی (million m^3)

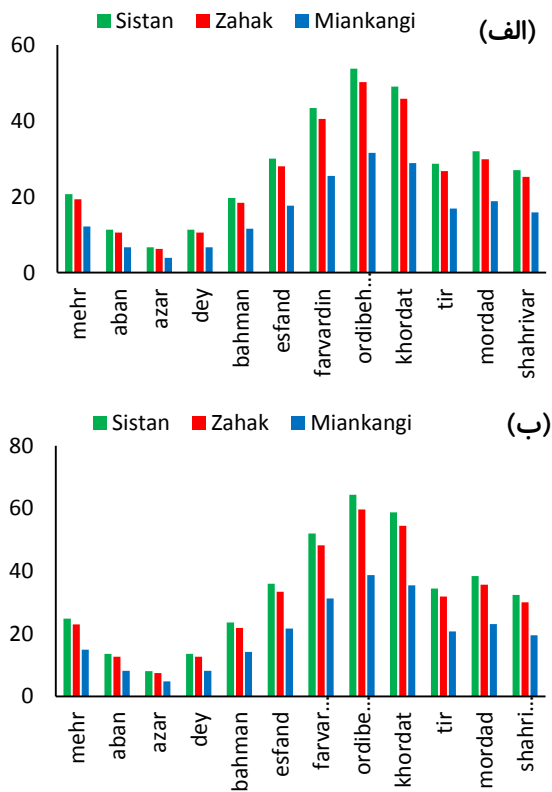
Table 4- Water demand for agricultural products in the virtual water scenario (million m^3)

Crops	Miankangi			Zahak			Sistan		
	Unmet	Delivered	Total	Unmet	delivered	Total	Unmet	Delivered	Total
Wheat	12.745	41.403	54.148	30.179	73.007	103.186	34.752	105.777	140.530
Barley	0.462	1.501	1.963	0.176	0.425	0.601	0.164	0.499	0.663
Beans	0.000	0.000	0.000	0.055	0.133	0.187	0.163	0.498	0.661
Sunflower	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.977	2.974	3.952
Sesame	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.002	3.048	4.050
Onion	1.203	3.908	5.112	2.289	5.538	7.827	6.399	19.478	25.878
Tomato	0.040	0.131	0.171	4.605	11.139	15.744	0.443	1.349	1.793
Melon	4.395	14.276	18.671	5.832	14.109	19.941	1.264	3.846	5.109
Watermelon	7.484	24.311	31.795	10.257	24.812	35.068	4.779	14.545	19.323
Cucumber	0.669	2.172	2.841	1.272	3.078	4.350	1.778	5.413	7.191
Alfalfa	3.640	11.825	15.465	9.832	23.786	33.618	2.881	8.769	11.651
Corn	1.546	5.023	6.569	7.845	18.979	26.825	1.828	5.563	7.390
Sorghum	6.426	20.876	27.302	9.782	23.664	33.445	15.191	46.239	61.430
medicine	2.825	9.175	12.000	4.841	11.711	16.552	4.006	12.194	16.200
Garden	4.143	13.457	17.600	3.153	7.627	10.780	5.876	17.884	23.760
Total	45.579	148.060	193.639	90.118	218.007	308.125	81.503	248.078	329.580

افزایش آب تأمین شده محصولات کشاورزی نسبت به وضعیت فعلی شده است. با اعمال سناریو آب مجازی میزان آب تأمین شده محصولات کشاورزی نیز به $75/72\%$ افزایش می‌یابد. تقاضای تأمین نشده نیز $1377/181 \times 10^6 m^3$ ($27/28\%$) است که نسبت به سناریو پایه m^3 $1210/753 \times 10^6$ کاهش یافته است. در بخش کشاورزی زهک کل تقاضای آب در سناریو پایه m^3 $10^6 \times 302/940$ است. با اعمال سناریو آب مجازی کل تقاضای آب m^3 $10^6 \times 5300/765$ کاهش یافته و به $1002/175$ می‌رسد. در بخش کشاورزی میانکنگی کل تقاضای آب در سناریو پایه m^3 $10^6 \times 4092/374$ است. با اعمال سناریو آب

در شکل (۲) کل تقاضای آب بخش کشاورزی حوزه آبخیز هیرمند در صورت ادامه وضعیت فعلی و اعمال سناریو آب مجازی تا سال ۲۰۳۵، ارائه شده است. در بخش کشاورزی سیستان، کل تقاضای آب تا سال ۲۰۳۵، 2035 ، m^3 $6796/669 \times 10^6$ محاسبه شد. از این مقدار m^3 $4208/735 \times 10^6$ ($61/92\%$) تأمین شده و m^3 $2587/934 \times 10^6$ ($38/08\%$) تأمین نمی‌شود. با اعمال سناریو آب مجازی کل تقاضای آب در بخش کشاورزی سیستان m^3 $1123/573 \times 10^6$ کاهش می‌یابد و به m^3 $5673/096 \times 10^6$ می‌رسد. اعمال سناریو آب مجازی باعث

محصولات می‌توانند بخشی از نیاز آبیاری خود را از آب باران تأمین کنند. اعمال سناریو آب مجازی باعث صرفه‌جویی در مصرف آب در فصل بهار به اندازه $10^6 \text{ m}^3 \times 74/181$ نسبت به وضعیت فعلی شده است.

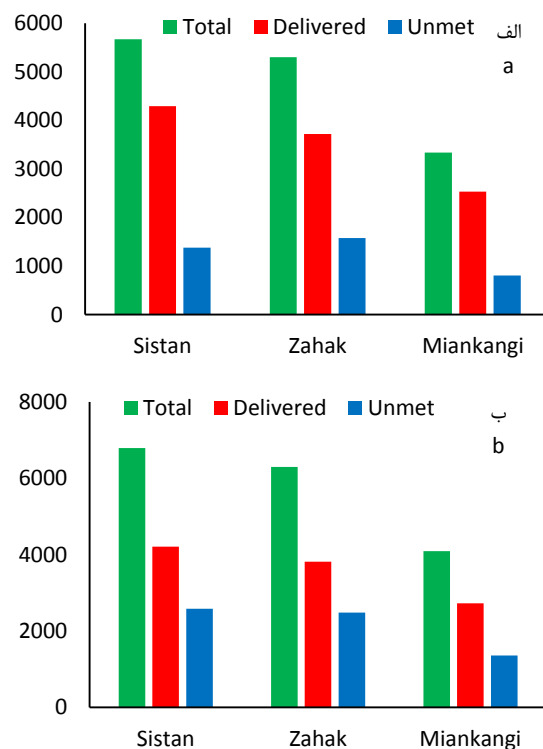


شکل ۳- تقاضای ماهانه آب در بخش کشاورزی
Fig. 3 Monthly water demand in the agricultural sector

۴-۳- بخش شرب

در شکل (۴) تقاضای آب، تقاضای آب تأمین‌شده و تقاضای آب تأمین نشده بخش شرب ارائه شده است. در اینجا فرض بر این است که اولویت تخصیص آب بین بخش کشاورزی و بخش شرب برابر است. در صورتی که اولویت تخصیص آب بین بخش کشاورزی و بخش شرب برابر باشد، سالانه $10^6 \text{ m}^3 \times 17/927$ بخش شرب با کمبود آب مواجه می‌شود. میزان کمبود آب برای شهرستان‌های هامون، هیرمند، نیمروز، زابل، زهک، زاهدان و بخش روستایی به ترتیب $0/136$ ، $0/147$ ، $0/058$ ، $3/250$ ، $0/299$ ، $9/046$ و $10^6 \text{ m}^3 \times 4/989$ محاسبه شد. با اعمال سناریو آب مجازی به دلیل کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی، کمبود آب در بخش شرب از $10^6 \text{ m}^3 \times 17/927$ در سال به $10^6 \text{ m}^3 \times 14/696$ کاهش یافت.

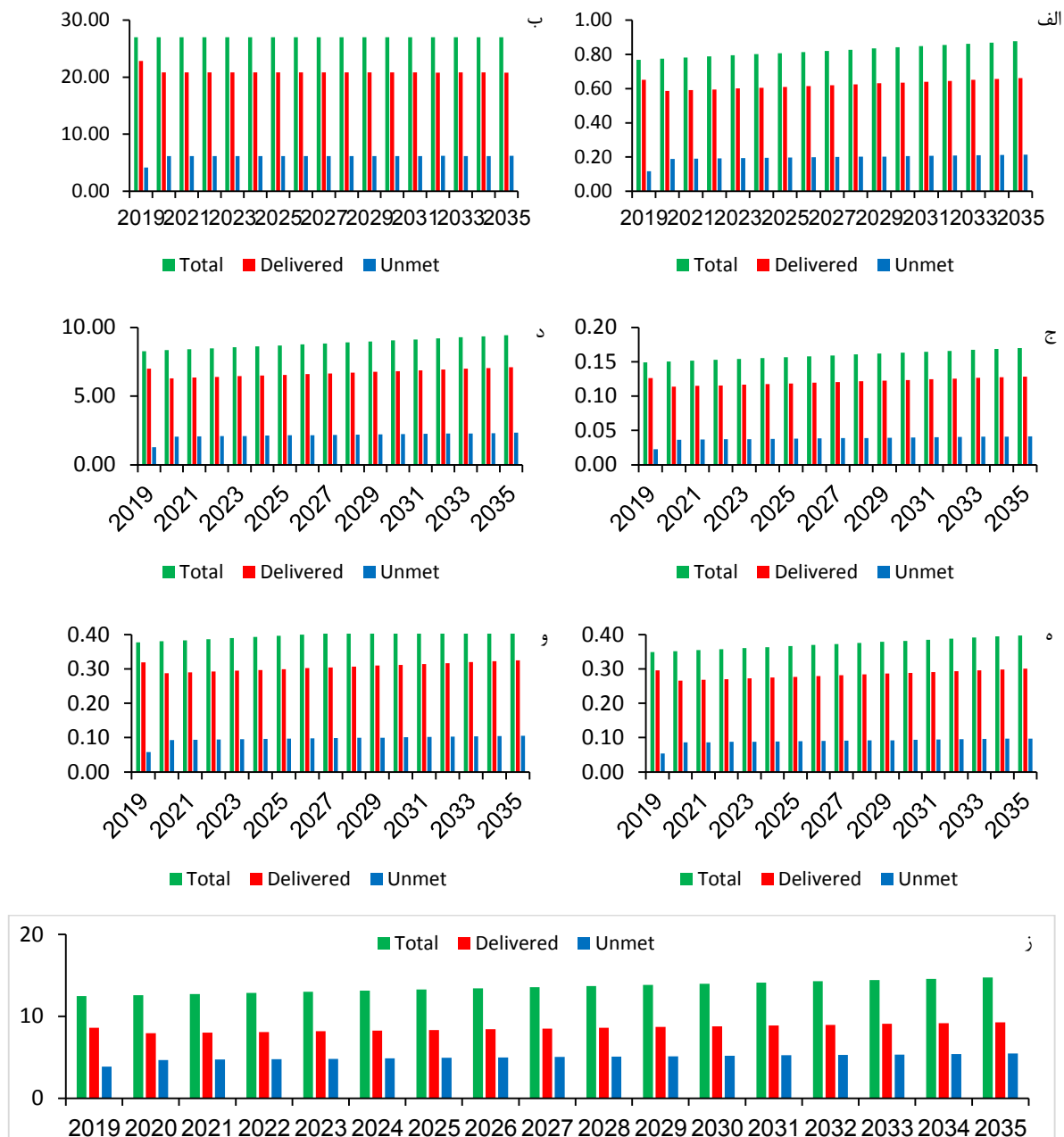
مجازی کل تقاضای آب $10^6 \text{ m}^3 \times 753/425$ کاهش یافت و به $10^6 \text{ m}^3 \times 3338/949$ رسید. اعمال الگوی کشت با توجه به آب مجازی محصولات کشاورزی در بخش کشاورزی سیستان، زهک و میانکنگی باعث افزایش تأمین آب محصولات کشاورزی شده است. در الگوی کشت جدید محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند وارد مدل شدند، در نتیجه میزان آب تأمین نشده محصولات کشاورزی کاهش یافته است. این نتایج با نتایج پژوهش Shahraki et al. (2017) مطابقت دارد.



شکل ۲- کل تقاضای آب بخش کشاورزی ۲۰۱۹-۲۰۳۵: الف- آب مجازی و ب- وضعیت فعلی

Fig. 2 Total water demand in the agricultural sector 2019-2035: a) Virtual water and b) Current

در شکل (۳) تقاضای ماهانه آب محصولات کشاورزی در وضعیت فعلی و سناریو آب مجازی ارائه شده است. طبق الگوی کشت محصولات کشاورزی در این منطقه، بیشترین تقاضای آب مربوط به فصل بهار است. کمترین تقاضای آب مربوط به ماه آذر و بیشترین تقاضای آب مربوط به ماه اردیبهشت می‌باشد. با اعمال سناریو آب مجازی تقاضای آب در فصل تابستان که منطقه با کمبود آب مواجه است و ورودی رودخانه‌های هیرمند و پریان به حداقل می‌رسند، کاهش یافته است. در الگوی کشت جدید تقاضای آب در فصل تابستان $10^6 \text{ m}^3 \times 44/542$ کاهش پیدا کرده است و



شکل ۴- شبیه‌سازی تقاضای آب شرب حوزه آبخیز هیرمند ۲۰۱۹-۲۰۳۵: الف- زهک، ب- زاهدان، ج- نیمروز، د- زابل، ر- هامون، ز- هیرمند، و ه- روستایی

Fig. 4 - Simulation of drinking water demand in Hirmand catchment 2019-2035: a) Zahak, b) Zahedan, c) Nimruz, d) Zabol, e) Hamun, f) Hirmand, and g) Rural

جدول ۵- مقایسه تقاضای آب شرب در وضعیت فعلی و سناریو آب مجازی (million m³)

Region	Unmet		Delivered		Total	
	VW	Current	VW	Current	VW	Current
Hamoon	1.633	2.135	4.701	4.021	6.335	6.335
Hirmand	1.766	2.502	5.083	4.347	6.850	6.850
Nimruz	0.696	0.987	2.012	1.722	2.709	2.709
Zabol	39.044	55.261	111.233	94.996	150.258	150.258
Zahak	3.597	5.097	10.354	8.855	13.952	13.952
Zahedan	110.347	153.782	348.628	305.218	459	459
Rural	59.904	84.820	170.686	145.770	230.590	230.590



محصولات کشاورزی در این منطقه $7846/533 \text{ m}^3/\text{ha}$ است.

۲- $70/10\%$ از کل عرضه‌ی آب در منطقه سیستان توسط بخش کشاورزی و مابقی توسط بخش شرب و محیط‌زیست مصرف می‌شود. در وضعیت فعلی کل تقاضای سالانه آب محصولات کشاورزی $1011/292 \times 10^6 \text{ m}^3$ است که $67/13\%$ تأمین شده و $32/87\%$ تأمین نمی‌شود و در صورت ادامه وضعیت فعلی تا ۱۵ سال آینده بخش کشاورزی با کمبود آب به اندازه $6098/888 \times 10^6 \text{ m}^3$ مواجه می‌شود.

۳- با اعمال سناریو آب مجازی الگوی کشت تقاضای سالانه آب در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد و به $831/343 \times 10^6 \text{ m}^3$ در سال می‌رسد. نسبت به وضعیت فعلی سالانه $179/949 \times 10^6 \text{ m}^3$ تقاضای آب کاهش یافته است. اگر اولویت تخصیص آب بین بخش کشاورزی و بخش شرب یکسان باشد، بخش شرب با کمبود آب مواجه می‌شود.

بر اساس نتایج پژوهش برای رفع عدم تأمین آب محصولات کشاورزی پیشنهاد می‌شود الگوی زراعی محصولات کشاورزی به سمت محصولاتی مقاوم به خشکی و دارای نیاز آبی کم‌تر سوق داده شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولیدشده یا آنالیز شده در این پژوهش به‌دلیل محرمانه بودن اداری قابل انتشار نیست.

References

- Allan, J. A. (1997). Virtual water: a long term solution for water short Middle Eastern economies? London: School of Oriental and African Studies, University of London.
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A. and Pereira, L. S. (1994). An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID bulletin, 43 (2), 1-34.
- Anonymous. (2015). Statistic and information technology office, Ministry of Jihad agriculture statistical yearbook. Available on: <https://www.maj.ir>. [In Persian]
- Bazzi, H., Ebrahimi, H. and Aminnejad, B. (2020). A comprehensive statistical analysis of evaporation rates under climate change in

در جدول (۵) مجموع تقاضای آب شرب در وضعیت فعلی و تأثیر اعمال سناریو آب مجازی محصولات کشاورزی بر میزان تأمین و عدم تأمین آب بخش شرب ارائه شده است. در صورت ادامه وضعیت فعلی تا سال ۲۰۳۵ کل تقاضای آب بخش شرب $869/694 \times 10^6 \text{ m}^3$ محاسبه شد. از این مقدار $304/765 \times 10^6 \text{ m}^3$ تأمین می‌شود و $564/929 \times 10^6 \text{ m}^3$ تأمین نمی‌شود؛ بنابراین با فرض اولویت یکسان تخصیص آب بین بخش شرب و بخش کشاورزی، $64/95\%$ از کل تقاضای آب شرب تأمین می‌شود و $35/06\%$ تأمین نمی‌شود. با اعمال سناریو آب مجازی در بخش کشاورزی، تقاضای تأمین شده در بخش شرب به $652/674 \times 10^6 \text{ m}^3$ می‌رسد. همچنین میزان تقاضای آب تأمین نشده نیز از $304/465 \times 10^6 \text{ m}^3$ به $217/017 \times 10^6 \text{ m}^3$ کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش هدف مدیریت مصرف آب کشاورزی با استفاده از مفهوم آب مجازی است. بدین منظور ابتدا نیاز آبیاری و محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی منطقه سیستان محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل WEAP عرضه و تقاضای آب محصولات کشاورزی در وضعیت فعلی محاسبه شدند. در مرحله بعد با توجه به مفهوم آب مجازی، سناریو آب مجازی وارد مدل WEAP گردید و به شبیه‌سازی عرضه و تقاضای آب در وضعیت فعلی و آینده پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد:

- ۱- تولید یک کیلوگرم محصول کشاورزی در منطقه سیستان مستلزم مصرف $2/353 \text{ m}^3$ آب است و متوسط نیاز آبی Southern Iran using WEAP (Case study: Chahnimeh Reservoirs of Sistan Plain).
- Hamlat, A., Errih, M. and Guidoum, A. (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. Arab. J. Geosci., 6(7), 2225-2236.
- Hekmatnia, M., Hosseini, M. and safdari, M. (2020). Determination and assessment of green, blue and gray water footprints in the international trade of agricultural products of Iran. Iranian J. Irrig. Drain., 14(2), 446-463 [In Persian].
- Heshmati, S., Ghobadiyan, R. and Fatemi, S. (2019). The application of simulation – optimization approaches in water transmission line of Bistoun Dam to have

- integrated planning of water resource. *Geogr. Sustain. Environ.*, 9(2), 15-28 [In Persian].
- Hoekstra, A. Y. and Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *P. Nat. Acad. Sci.*, 109, 3232–3237.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M. and Aldaya, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.
- Hollermann, B., Giertz, S. and Dieckrüger, B. (2010). Benin 2025—Balancing future water availability and demand using the WEAP water evaluation and planning system. *Water Resour. Manag.*, 24(13), 3591-3613.
- Khalil, A., Rittima, A. and Phankamolsil, Y. (2018). The projected changes in water status of the Mae Klong Basin, Thailand, using WEAP model. *Paddy Water Environ.*, 16(3), 439-455.
- Salehi, D., Goodarzi, M. and Montaseri, H. (2019). Conflict resolution of water resources allocation in Zayandehrood Basin using game theory and WEAP model. *Journal of Water and Soil Science*, 23(4), 183-198. [In Persian].
- Shahraki, A. S., Shahraki, J. and Monfared, S. A. H. (2017). Water resources management by simulation under virtual water scenario in agricultural sector, case Study: Hirmand catchment, Iran. *Int. J. Agri. Manag. Develop.*, 9, 25-35.
- Shuqair, H. (2012). "Evaluation of Agricultural Water Management Options in the Lower Jordan Valley–Palestine Using" WEAP". PhD diss, Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University.
- Tena, T. M., Mwaanga, P. and Nguvulu, A. (2019). Hydrological modelling and water resources assessment of Chongwe River catchment using WEAP model. *Water*, 11(4), 839.
- Wang, K., Davies, E. G. and Liu, J. (2019). Integrated water resources management and modeling: A case study of Bow River basin, Canada. *J. Clean. Product.*, 240, 118242.
- Zeinadini, S., Anvari, S. and Zahmatkesh, Z. (2019). Investigation of water allocation conditions in Aharchay Basin under climate change impacts. *Irrig. Sci. Eng.*, 42(4), 195-210 [In Persian].

Research Paper

Agricultural Water Use Management of Sistan Region under Virtual Water Approach using WEAP Model**Mehran Hekmatnia¹, Mehdi Sadari², Seyed Mehdi Hosseini^{3*} and Ali Sardar Shahraki³**

¹PhD Scholar, Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

²Assoc. Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Environmental Science and Sustainable Agriculture, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

³Assist. Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Environmental Science and Sustainable Agriculture, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

*Corresponding author: hosseini@eco.usb.ac.ir

Received: January 26, 2021

Revised: March 17, 2021

Accepted: March 28, 2021

Abstract

Agriculture is the largest user of freshwater in the world. One of the practical solutions for managing agricultural water resources in arid and semi-arid regions is to calculate the amount of water consumption in the process of agricultural crops through the virtual water index. The aim of this study was to use virtual water to manage water consumption in the agricultural sector of the Hirmand catchment. The need for irrigation of agricultural crops in the catchment was obtained using CROPWAT software. Then, the current and future status of water supply and demand was investigated using the WEAP model for agricultural crops in the catchment in the current cultivation pattern of the region. After calculating the virtual water content of the crops, the cultivation pattern was presented based on it and with emphasis on the need for irrigation. The water demand for crops in the virtual water scenario of the cultivation pattern was investigated using the WEAP model. The results showed that the need for irrigation of crops in the Hirmand catchment was 7847 m³/ha and the virtual water content of crops was 2.353 m³/kg. The agricultural sector consumes 70.10% of the total water supply in the Hirmand catchment. In the current situation, the total annual demand of water for crops is 1011×10⁶ m³, of which 67.13% is supplied and 32.87% is not supplied. If the current situation continues for the next 15 years, the agricultural sector will face water shortages of 6099×10⁶ m³. By applying the virtual water scenario, the demand for agricultural water could be decreased by 180×10⁶ m³/yr. Finally, it was found that if the priority of water allocation between the agricultural sector and the drinking sector be the same, the drinking sector will face an annual water shortage of 18×10⁶ m³.

Keywords: Agriculture Sector; Hirmand Catchment; Virtual Water; WEAP Model

