

تحلیل جامع مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی: مطالعه موردی شهرستان سراوان

محسن فراهی^{۱*}، حسین جهانتیغ^۲



چکیده

مقاله پژوهشی

کمبود آب مشخصه اصلی مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تولید مواد غذایی را تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک و عدم وجود زمین‌های حاصلخیز جهت افزایش سطح زیرکشت، افزایش تقاضا برای مواد غذایی باید از طریق تولید پایدار محصولات کشاورزی تأمین شود. این مسئله منجر به افزایش فشار به منابع آب می‌شود. بنابراین مدیریت مصرف آب کشاورزی در مناطق خشک ضروری است. در این تحقیق هدف محاسبه حجم آب مصرف شده برای تولید محصولات کشاورزی شهرستان سراوان از طریق شاخص آب مجازی و ردپای آب است. بدین منظور ابتدا نیاز آبیاری محصولات کشاورزی شهرستان سراوان در محیط نرم افزار CROPWAT به دست آمد. سپس محتوای آب مجازی، ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب محاسبه شد. نتایج نشان داد کل میزان مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی در شهرستان سراوان ۸۲۷/۰۶۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. بیشترین میزان مصرف آب مربوط به محصولات خرما (۸۰/۹۶ درصد)، یونجه (۶/۶۸ درصد) و گندم (۳/۴۹ درصد) می‌باشد. متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی ۱/۲۶۵ مترمکعب بر کیلوگرم است. ۹۳/۸۸ درصد از آبیاری محصولات کشاورزی شهرستان سراوان از طریق آب آبی، ۶ درصد آب سبز و ۵/۰۷ درصد آب خاکستری صورت می‌گیرد. نتایج بهره‌وری مصرف آب نشان می‌دهد به ازای مصرف یک مترمکعب آب، ۳/۲۱۰ کیلوگرم محصول کشاورزی تولید می‌شود. برای مدیریت منابع آب در شهرستان سراوان توسعه کشت پیاز، گوجه فرنگی و بادمجان و کاهش سطح زیر کشت یونجه و گندم پیشنهاد می‌شود.

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده علوم محیطی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران.

mohsen.farahi62@gmail.com

* نویسنده مسئول

۲. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده علوم محیطی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران.

hjahantigh5@gmail.com

۲۵۰۹-۱۱۱۹

شناسه مقاله:

۹۴۶-۹۶۲

شماره صفحه پیاپی:

۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۸/۲۷

انتشار آنلاین:

روز ۵۰

زمان پذیرش:

واژگان کلیدی:

آب مجازی، نیاز آبی گیاه، خرما، CROPWAT.

استاددهی:

فراهی، م.، و جهانتیغ، ح. (۱۴۰۳). تحلیل جامع مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی: مطالعه موردی شهرستان سراوان. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۴(۴)، ۴۳-۵۹.

۱- مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی و زیربنای توسعه‌ی صنعتی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی کشورها محسوب می‌شود (Dalín and Konar, 2018). امروزه، بحران آب به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر مطرح است و می‌تواند منشأ تحولات گسترده‌ای در سطح جهانی باشد (Negm et al., 2020). عدم تعادل میان تأمین و تقاضای آب، چالش‌های متعددی را به‌همراه دارد که در صورت عدم مدیریت صحیح، به تنش‌های آبی در سطوح محلی، ملی و بین‌المللی منجر خواهد شد. این عدم تعادل، علاوه بر محدودیت‌های طبیعی ناشی از چرخه هیدرولوژیکی، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند برداشت بی‌رویه، آلودگی منابع آب و توسعه غیرمنطقی کشاورزی و صنعت تشدید می‌شود (Dehghanpir et al., 2024; Ercin and Hoekstra, 2014). بررسی داده‌های آماری نشان می‌دهد که مصرف جهانی آب طی قرن گذشته حدود شش برابر افزایش یافته است. در حال حاضر، میزان مصرف سالانه آب در جهان حدود ۴۵۰۰ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود و پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که این مقدار تا سال ۲۰۳۰ به ۶۹۰۰ میلیارد مترمکعب خواهد رسید، که حدود ۷۰ درصد آن به بخش کشاورزی اختصاص دارد (Ercin and Hoekstra, 2014; UNESCO WWP, 2023).

در ایران، بخش کشاورزی با مصرف حدود ۹۰ درصد منابع آبی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در بین بخش‌های اقتصادی محسوب می‌شود. با میانگین بارندگی ۲۴۶ میلی‌متر در سال و سرانه آب کمتر از ۵۰۰ مترمکعب در سال، ایران در دسته کشورهای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Khorsandi et al., 2023; Ghoddusi and Davari, 2016).

یکی از مفاهیم کلیدی در مدیریت منابع آب، آب مجازی است که نخستین بار توسط تونی آلن در اوایل دهه ۱۹۹۰ معرفی شد (Allan, 1998). آب مجازی به حجم واقعی آبی اطلاق می‌شود که برای تولید کالاها و محصولات کشاورزی مصرف شده است (Chouchane et al., 2017; Hoekstra, 2017). این مفهوم نشان می‌دهد که برای تولید هر محصول، چه میزان آب به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مصرف شده است. از طریق محاسبه شاخص آب مجازی، می‌توان بهره‌وری آب در تولید محصولات مختلف را ارزیابی کرده و راهکارهای بهینه برای مدیریت مصرف آب ارائه داد. تجزیه و تحلیل این شاخص، چارچوبی ارزشمند برای ارزیابی برداشت از منابع آب شیرین و ارائه راهکارهای مؤثر در مدیریت منابع آبی فراهم می‌کند (Mubako and Lant, 2013). همچنین، تغییر الگوی مصرف آب بر اساس مفهوم آب مجازی، می‌تواند به حفظ ذخایر آب شیرین در سطح ملی و جهانی کمک کند.

در مباحث نظری مرتبط با آب مجازی، اصطلاح ردپای آب نیز مطرح شده است. این شاخص، میزان مصرف آب را به تفکیک منابع مختلف آن، شامل آب‌های سطحی، زیرزمینی و باران، مشخص می‌کند و امکان تحلیل دقیق‌تر اثرات مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی و صنعتی را فراهم می‌آورد (Dehghanpir et al., 2024; Hoekstra, 2019; Arabi Yazdi et al., 2015). ردپای آب نشان‌دهنده مقدار مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب شیرین در فرآیند تولید یک محصول است و میزان برداشت از منابع آب شیرین را برای تولید محصولات کشاورزی تعیین می‌کند؛ این شاخص باید متناسب با شرایط جغرافیایی و اقلیمی هر منطقه، به‌صورت مجزا برای هر محصول محاسبه شود (Rodriguez et al., 2015). در واقع، مفهوم آب مجازی و ردپای آب ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند؛ آب مجازی نشان می‌دهد که برای تولید یک محصول چه مقدار آب مصرف شده است، در حالی که ردپای آب منابع تأمین این آب را مشخص می‌کند.

مصرف آب در تولید محصولات مختلف به‌طور قابل توجهی متفاوت است. به‌عنوان مثال، برای تولید ۱ کیلوگرم غلات بین ۱۲۰۰ تا ۲۴۰۰ لیتر آب نیاز است، درحالی‌که برای تولید محصولات دامی، میزان آب مصرفی به‌ازای هر کیلوگرم محصول به‌مراتب بیشتر است. به‌عنوان نمونه، تولید ۱ کیلوگرم پنیر حدود ۵۰۰۰ تا ۵۵۰۰ لیتر و ۱ کیلوگرم گوشت گاو به‌طور میانگین ۱۵۴۰۰ لیتر آب مصرف می‌کند (FAO, 2023). بر اساس تعاریف موجود: آب آبی، به آب روان سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها) و آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها، چشمه‌ها) که در تولید محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد گفته شده و آب سبز: به آب باران ذخیره‌شده در خاک و جذب‌شده توسط گیاهان و همچنین آب خاکستری: آب لازم برای رقیق‌سازی آلاینده‌های ناشی از تولید، اطلاق می‌گردد (Lamastra et al., 2017). با توجه به محدودیت منابع آب و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، توجه به مدیریت مصرف آب و استفاده از شاخص‌های آب مجازی و ردپای آب برای برنامه‌ریزی‌های کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاکنون در خصوص آب مجازی در سطح داخلی و خارجی تحقیقات زیادی انجام شده است در ذیل تحقیقاتی در رابطه به آب مجازی و میزان مصرفی آب محصولات کشاورزی آورده شده است: Tian et al. (۲۰۱۸) ردپای آب و آب مجازی محصولات کشاورزی چین بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ بررسی شد. نتایج نشان داد سهم چین از ردپای جهانی آب از ۲/۱۱ درصد به ۶/۱۳ درصد افزایش یافته و این کشور واردکننده آب مجازی از آمریکا، هند و برزیل و صادرکننده به ژاپن و آلمان است. Fu et al. (۲۰۱۸) میانگین مصرف آب مجازی برای تولید غلات در چین را ۲۹۳/۱ متر مکعب بر کیلوگرم برآورد کردند. همچنین، میزان صادرات آب مجازی محصولات کشاورزی در دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ برابر با ۵/۳۱ میلیارد مترمکعب محاسبه شد. Lamastra et al. (۲۰۱۷) نیز جریان آب مجازی بین ایتالیا و چین بررسی کردند و مشخص شد که ۹۱ درصد از واردات آب مجازی ایتالیا از چین مربوط به محصولات کشاورزی است، درحالی‌که صادرات آب مجازی ایتالیا به چین شامل محصولات حیوانی است. Antonelli et al. (۲۰۱۷) به بررسی جریان آب مجازی محصولات کشاورزی در اتحادیه اروپا پرداختند و نتایج نشان داد که ۶۵ درصد از واردات آب مجازی مربوط به منابع آب

شیرین است و کشورهای ایتالیا و اسپانیا صادرکنندگان اصلی این نوع آب هستند. کیانی (۱۳۹۷) تجارت آب مجازی را در سطح ملی و بین استان‌های ایران برای سال ۱۳۸۵ بررسی کرد. نتایج نشان داد که ۱۸۶۶۶ میلیون مترمکعب آب مجازی از طریق مبادله محصولات کشاورزی بین استان‌ها جابه‌جا شده است. فارس بزرگ‌ترین صادرکننده و تهران بزرگ‌ترین واردکننده آب مجازی بوده‌اند. امیدی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از نرم‌افزار کراپوات نیاز آبی خالص و آب مجازی تولید چغندر قند و نیشکر را در سطح ملی محاسبه کرده و ردپای آب صادرات و واردات این محصولات را در دوره ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ بررسی کردند. نتایج نشان داد که در صورت واردات شکر به جای تولید داخلی، حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب آب صرفه‌جویی می‌شد. علی‌قلی‌نیا و همکاران (۱۳۹۶) شاخص ردپای آب محصولات کشاورزی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که ۷۵ درصد از آب مصرفی آبی و ۲۵ درصد سبز است و میانگین مصرف آب برای تولید هر تن محصول زراعی ۳۵۴۷/۸۳ مترمکعب می‌باشد. صالح‌نیا و باستانی (۱۳۹۶) راهبرد تجارت آب مجازی محصولات زراعی و باغی ایران را در سال ۱۳۹۳ بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان ذخیره منابع ملی آب با استفاده از تجارت آب مجازی میزان ۷۱۹/۹ میلیارد مترمکعب می‌باشد و نشان دادند می‌توان از این آب ذخیره شده در بخش صنعت برای ارزآوری بیشتر استفاده کنند. این پژوهش با هدف محاسبه نیاز آبی محصولات کشاورزی و بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی شهرستان سراوان انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان سراوان است که در ۶۲ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۷ درجه و ۲۲ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۱۶۵ متر است. شهرستان سراوان با مساحت ۱۶۰۹۶ کیلومتر مربع دارای ۸ دهستان بنام‌های گشت، حومه، ناهوک، جالق، کلپگان، کوهک و اسفندیک، کشتگان، بمپشت می‌باشد (شکل ۱). آب و هوای شهرستان سراوان بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گرم و خشک است. کوه‌های کوه سفید گشت، کوه سرخ در بزم پشت، از مرتفع‌ترین کوه‌های این شهرستان محسوب می‌شوند. رشته کوه‌سیاهان طولانی‌ترین رشته کوه در این شهرستان می‌باشد که از نزدیکی‌های تفتان شروع و تا ناهوک در محدوده پاکستان ادامه دارد. منابع آبی شهرستان سراوان که تامین‌کننده آب مورد نیاز بخش کشاورزی است نیز شامل رودخانه‌های ماشکید، سیمش و روتک می‌باشد. از نظر بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی دشت سراوان در منطقه ممنوعه بحرانی قرار دارد و از نظر کمیت و کیفیت دسترسی به منابع آب با چالش جدی مواجه است. بنابراین بررسی حجم آب واقعی که جهت تولیدات محصولات کشاورزی در این منطقه به‌کارگرفته شده است ضروری می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش کار

داده‌های تحقیق از منابع مختلف شامل سایت اطلاعات فائو، بانک آمار سازمان جهاد کشاورزی، سازمان هواشناسی استان، مرکز تحقیقات کشاورزی استان، مدیریت آب و خاک و مدیریت زراعت سازمان جهاد کشاورزی استان، جمع‌آوری گردید. همچنین از نرم‌افزارهای EXCEL و CROPWAT و فرمول‌های مرتبط استفاده شد برای انجام پژوهش حاضر، داده‌های جامع و کامل کشاورزی شامل محصولات و مساحت زیرکشت هر محصول از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان سراوان و همچنین اطلاعات هواشناسی برای سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۸۹ دریافت شدند.

برای محاسبه آب مجازی، ابتدا باید نیاز آبی گیاه^۱ بر اساس شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی منطقه تعیین شود. یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز برای برآورد نیاز آبی گیاه، زمان‌بندی آبیاری و طراحی شبکه‌های آبیاری، تبخیر و تعرق مرجع^۲ است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۲). این مقدار با استفاده از داده‌های اقلیمی اندازه‌گیری می‌شود. در این پژوهش، تبخیر و تعرق مرجع با بهره‌گیری از معادله فائو-پنمن-مونتیث (رابطه ۱) محاسبه شده است (Allan, 1997; Tian et al., 2018).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

تبخیر-تعرق مرجع (ET₀) بر حسب میلی‌متر در روز، به عوامل مختلفی وابسته است، از جمله تابش خالص خورشید در سطح پوشش گیاهی (R_n) بر حسب مگاژول بر مترمربع در روز، جریان حرارت خاک (G) بر حسب مگاژول بر مترمربع در روز، میانگین دمای روزانه هوا (T) بر حسب درجه سانتی‌گراد، سرعت باد در ارتفاع دو متری (U₂) بر حسب متر بر ثانیه، فشار بخار اشباع (e_s) و فشار بخار واقعی هوا (e_a) هر دو بر حسب کیلوپاسکال، کسری فشار بخار اشباع (e_s - e_a) بر حسب کیلوپاسکال، شیب منحنی فشار بخار (Δ) بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد و ضریب رطوبتی (γ) بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد.

پس از محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، مقدار تبخیر-تعرق محصول^۳ با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌شود (Allan, 1997).

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله، K_c ضریب گیاهی است که بر اساس شرایط اقلیمی، تاریخ کاشت و طول دوره رشد گیاه تعیین می‌شود. در این پژوهش، مقادیر استاندارد فائو برای ضریب گیاهی محصولات زراعی منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. پس از آن، مقدار بارش مؤثر با استفاده از معادلات حفاظت خاک آمریکا و از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$P_{eff} = \frac{p \times (125 - 0.2 \times 3 \times p)}{125} \quad \text{for } P \leq \frac{250}{3} \text{ mm} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق، P_{eff} نشان‌دهنده میزان بارندگی مؤثر و P بیانگر کل بارندگی است. پس از تعیین مقدار تبخیر-تعرق و بارندگی مؤثر، نیاز آبی گیاه^۴ با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Hoekstra, 2003).

$$CWR = ET_c \times A \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این معادله، A سطح زیر کشت را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، تفکیک مؤلفه‌های آب سبز، آبی و خاکستری بر اساس روش‌شناسی استاندارد Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011) و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT انجام شده است. آب سبز برابر با بارش مؤثر (P_{eff}) در دوره رشد است، آب آبی برابر با نیاز خالص آبیاری (ET_c - P_{eff}) و آب خاکستری بر اساس حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی نیتروژن کودهای شیمیایی محاسبه شده‌اند. برای اجرای مدل CROPWAT و برآورد نیاز آبی گیاه، داده‌های مورد نیاز شامل حداقل و حداکثر دمای ماهانه، بارندگی ماهانه، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی روزانه و سرعت باد از سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان برای سال‌های زراعی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ گردآوری شد. اطلاعات مربوط به محصولات زراعی، سطح زیرکشت و عملکرد از بانک آمار سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و مدیریت زراعت و مدیریت آب و خاک استخراج گردید. مقادیر ضریب گیاهی^۵ و مراحل رشد گیاه از منابع و دستورالعمل‌های منتشرشده توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۶ برداشت شد. تمام محاسبات مربوط به تبخیر-تعرق مرجع، تبخیر-تعرق گیاه، بارش مؤثر و نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT نسخه ۸ و تحلیل‌های تکمیلی در محیط Microsoft Excel انجام گرفت.

۲-۱-۲- محاسبه آب مجازی

برای تعیین میزان مصرف آب آبی^۷ و مصرف آب سبز^۸ بر حسب متر مکعب بر هکتار، از روابط زیر استفاده می‌شود (آبایی و رضانی اعتدالی، ۱۳۹۵) (رابطه‌های ۵ و ۶).

$$CWU_{Blue} = IR_{Irr} = 10 \times IE_{Irr} \times GI_{Irr} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$CWU_{Green} = 10 \times P_{eff} = 10 \times (ET_c - IR_{Irr}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

در معادله (۵) و (۶)، IR_{Irr} نیاز خالص آبیاری^۹ (میلی‌متر)، IE_{Irr} راندمان آبیاری^{۱۰} (میلی‌متر)، GI_{Irr} نیاز ناخالص آبیاری^{۱۱} (میلی‌متر)، جمع میزان بارندگی مؤثر^{۱۲} در طول دوره‌ی رشد گیاه (میلی‌متر)، که از اختلاف بین جمع تبخیر و تعرق واقعی محصول (ET_c) و نیاز خالص آبیاری محاسبه می‌شود. عدد ۱۰ به جهت تبدیل واحد میلی‌متر به متر مکعب در هکتار می‌باشد (آبایی و رضانی اعتدالی، ۱۳۹۵).

1. Crop Water Requirement (CWR)
2. Reference Evapotranspiration (ET₀)
3. Crop Evapotranspiration (ET_c)
4. Crop Water Requirement (CWR)
5. Crop Coefficient (K_c)
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

7. Blue Water Consumption (CWU Blue)
8. Green Water Consumption (CWU Green)
9. Net Irrigation Requirements
10. Irrigation Efficiency
11. Gross Irrigation Requirements
12. Effective Precipitation

برای محاسبه ردپای آب سبز (WF_{Green}) و ردپای آب آبی (WF_{Blue}) بر حسب (m^3/kg) مقدار آب مصرفی آبی و مقدار آب مصرفی سبز بر میزان تولید محصول (Y) (kg/h) معادله (۷) و (۸) تقسیم خواهد شد (Hoekstra et al., 2011; Hoekstra, 2017):

$$WF_{Green} = \frac{CWU_{Green}}{Y} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$WF_{Blue} = \frac{CWU_{Blue}}{Y} \quad \text{رابطه (۸)}$$

به منظور اندازه‌گیری محتوای آب مجازی محصول (مترمکعب آب به ازای کیلوگرم) از معادله (۹) استفاده می‌شود (Hoekstra, 2003):

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در معادله (۹) CWR نیاز آبی محصول (مترمکعب آب به ازای هر هکتار) و Y متوسط عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) است. اگر محتوای آب مجازی یک محصول، بزرگ‌تر از ۱ باشد، آن محصول از نظر میزان مصرف آب جزو محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کمتر از ۱ مترمکعب بر کیلوگرم باشد، جزو محصولات کم‌مصرف قرار دارد و این نکته برای تمامی محصولات زراعی و باغی صادق است (Hoekstra, 2017).

۲-۲-۲- محاسبه بهره‌وری مصرف آب

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها جهت تجزیه و تحلیل میزان استفاده از آب، بهره‌وری مصرف آب^۱ است. شاخص بهره‌وری مصرف آب کشاورزی (کیلوگرم بر مترمکعب) میزان محصول تولید شده به ازای هر واحد از مصرف آب را نشان می‌دهد. این شاخص از نسبت بین مقدار محصول تولید شده (Y) بر تقاضای آب گیاه (CWR) به دست می‌آید. به منظور محاسبه بهره‌وری مصرف آب از رابطه زیر استفاده خواهد شد (Hoekstra, 2017):

$$CWP = \frac{Y}{CWR} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

۳- نتایج

۳-۱- متوسط نیاز آبی محصولات کشاورزی

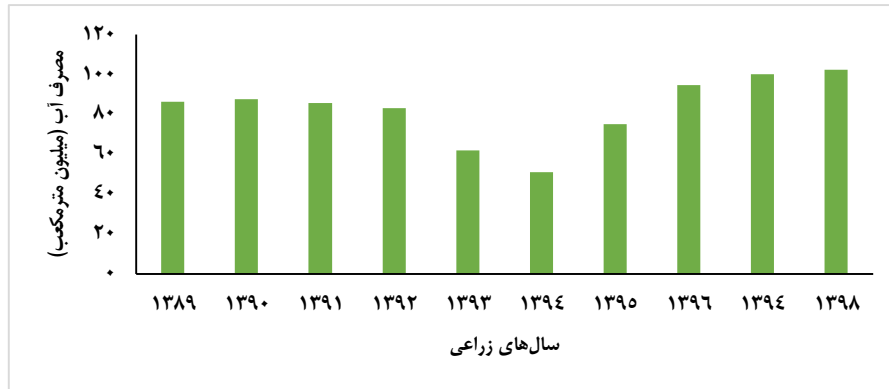
نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد متوسط نیاز آبی محصولات کشاورزی شهرستان سراوان طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برابر با ۶۳۱۶ مترمکعب بر هکتار بوده است (جدول ۱). این مقدار به ترکیب محصولات کشت شده در منطقه بستگی دارد. در سراوان، خرما به‌عنوان محصولی گرمسیری، بیشترین سهم را در سطح زیر کشت و مصرف آب دارد و نیاز آبی آن ۱۷۹۷۱ مترمکعب بر هکتار محاسبه شده است. در مقابل، کمترین نیاز آبی مربوط به محصولات پیاز و بادمجان است. مطالعات حکمت‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) نشان می‌دهد که متوسط نیاز آبی خرما در استان سیستان و بلوچستان ۲۱۹۷۵ مترمکعب بر هکتار بوده که بیانگر تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر نیاز آبی این محصول است.

جدول (۱): متوسط نیاز آبی محصولات زراعی شهرستان سراوان

نام محصول	Irr_{Req} (m^3/ha)
گندم	۵۹۳۵
جو	۵۳۱۸
برنج	۸۱۴۶
ذرت دانه‌ای	۵۹۶۶
حبوبات	۴۶۴۱
پیاز	۳۷۹۱
گوچه فرنگی	۸۴۱۰
بادمجان	۳۷۹۱
خریزه و طالبی	۵۳۳۶
هندوانه	۴۳۶۶
یونجه	۱۲۵۸۳
سورگوم	۵۴۱۱
خرما	۱۷۹۷۱
انگور	۹۰۰۶
فلفل	۶۱۶۶
متوسط	۶۳۱۶

در شکل (۲)، میزان مصرف آب محصولات کشاورزی در شهرستان سراوان نمایش داده شده است. مجموع مصرف آب محصولات کشاورزی این شهرستان طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برابر با ۸۲۷/۰۶۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است که به‌طور میانگین سالانه ۸۲/۲۷۰ میلیون مترمکعب مصرف داشته است. روند مصرف آب از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ کاهش یافته بود که بررسی منابع نشان می‌دهد این کاهش به دلیل افت تولید خرما در این بازه زمانی رخ داده است. خرما بخش قابل توجهی از تولیدات کشاورزی منطقه را تشکیل می‌دهد. از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸، با افزایش تولید خرما، میزان

مصرف آب نیز روند صعودی پیدا کرده است. مصرف آب در این منطقه وابسته به سطح زیر کشت و نوع محصولات تولیدی است. با توجه به محدودیت منابع آبی شهرستان سراوان، تأمین نیاز آبی محصولات کشاورزی از طریق آبیاری صورت می‌گیرد. میزان کل مصرف آب عمده محصولات زراعی شهرستان سراوان در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ برابر با ۸۸/۵۷۸ میلیون مترمکعب بوده است. نتایج این پژوهش با یافته‌های حکمت‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.



شکل (۲): کل مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان سراوان

در جدول (۲)، میزان مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان سراوان طی دوره ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ ارائه شده است. بیشترین مصرف آب به خرما اختصاص دارد که سالانه به‌طور میانگین ۶۶/۹۶۱ میلیون مترمکعب آب مصرف کرده است. پس از آن، یونجه (۵/۵۲۵ میلیون مترمکعب)، گندم (۲/۸۹۰ میلیون مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای (۲/۴۲۰ میلیون مترمکعب) بیشترین مصرف آب را داشته‌اند. کمترین میزان مصرف آب مربوط به حبوبات، گوجه‌فرنگی و بادمجان بوده است.

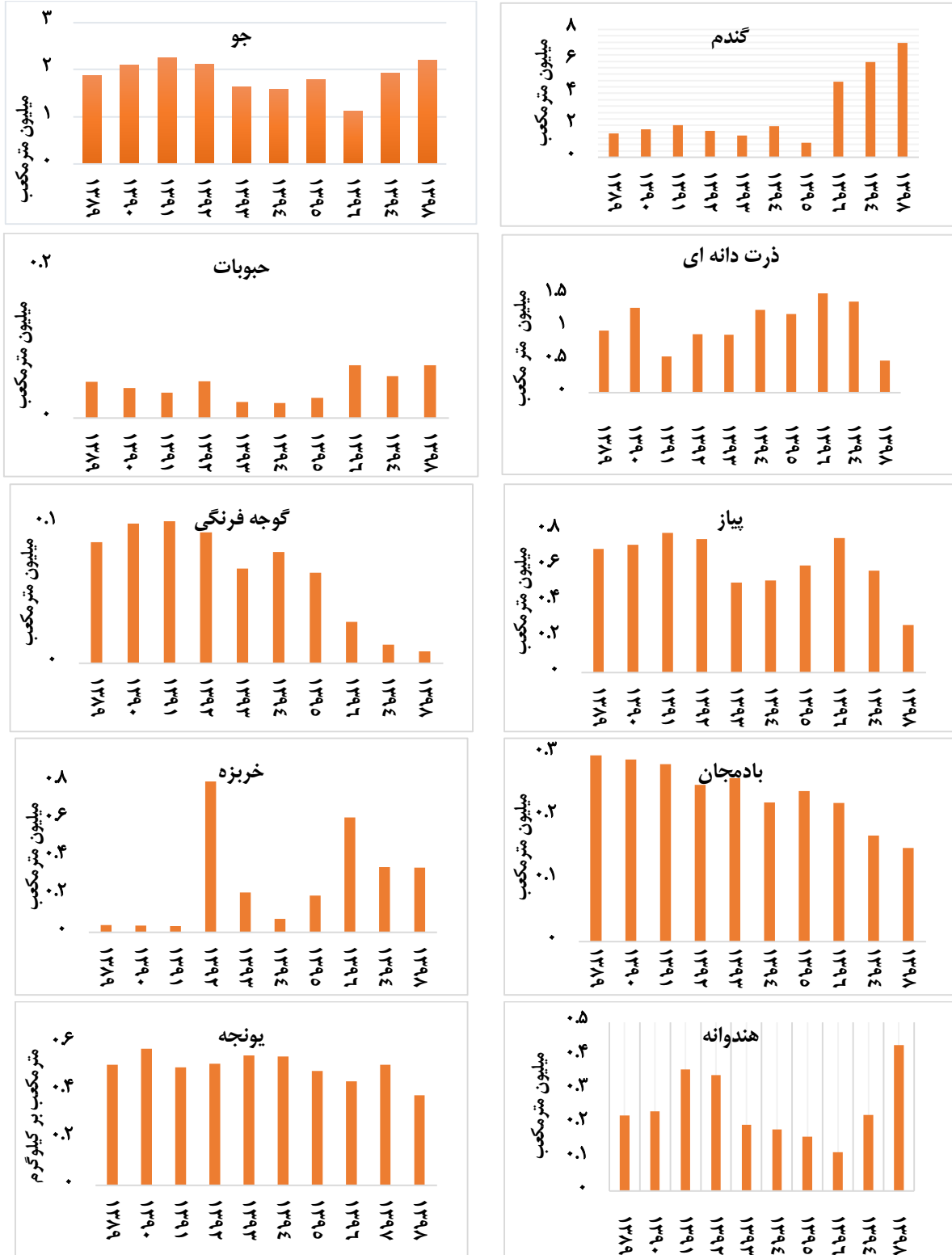
جدول (۲۱): متوسط مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان سراوان (میلیون مترمکعب)

محصولات	متوسط
گندم	۲/۸۹۰
جو	۱/۸۶۱
ذرت دانه‌ای	۱/۰۴۳
حبوبات	۰/۰۴۲
پیاز	۰/۶۱۷
گوجه‌فرنگی	۰/۰۷۶
بادمجان	۰/۲۳۸
خریزه	۰/۳۲۴
هندوانه	۰/۲۴۶
یونجه	۵/۵۲۵
ذرت	۲/۴۲۰
سورگوم	۰/۳۴۰
خرما	۶۶/۹۶۱
انگور	۰/۲۵۴

به دلیل شرایط آب‌وهوایی مناسب، شهرستان سراوان یکی از مناطق مستعد کشت خرما در استان سیستان و بلوچستان است. این محصول بیشترین سطح زیر کشت را دارد و سهم عمده‌ای از مصرف آب کشاورزی منطقه را به خود اختصاص داده است. بر اساس گزارش FAO (2007)، میزان مصرف سالانه آب برای کشت خرما در کشورهای مختلف بین ۱۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ مترمکعب بر هکتار متغیر است. این مقایسه نشان می‌دهد که کشت خرما به‌طور کلی نیاز آبی بالایی دارد و این موضوع محدود به سراوان نیست. نتایج این مطالعه با یافته‌های FAO (۲۰۰۷) همخوانی دارد.

نتایج مربوط به شکل (۳) میزان مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان سراوان طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ متغیر بوده است. بیشترین میزان مصرف آب مربوط به خرما است که سالانه به‌طور میانگین ۶۶/۹۶۱ میلیون مترمکعب آب مصرف کرده و در سال ۱۳۹۸ به اوج خود (۸۳/۷۰۰ میلیون مترمکعب) رسیده است. پس از خرما، یونجه (۵/۵۲۹ میلیون مترمکعب در سال)، ذرت علوفه‌ای (۲/۴۲۰ میلیون مترمکعب در سال) و گندم (۲/۸۹۰ میلیون مترمکعب در سال) بیشترین مصرف آب را داشته‌اند. برخی محصولات مانند گندم، جو و ذرت دانه‌ای تغییرات مصرفی متناوبی را تجربه کرده‌اند. برای مثال، مصرف آب گندم تا سال ۱۳۹۵ تقریباً ثابت بوده و سپس با افزایش تولید، میزان مصرف آن نیز رشد کرده است. جو در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۱ بیشترین مصرف را داشته، در حالی که در سال ۱۳۹۶ به کمترین مقدار خود رسیده است. مصرف آب ذرت دانه‌ای نیز در سال ۱۳۹۶ به اوج خود (۱/۵۲۶ میلیون مترمکعب) و در سال ۱۳۹۸ به کمترین میزان (۰/۴۸۹ میلیون مترمکعب) رسیده است. برخی محصولات با سطح کشت

کمتر، میزان مصرف آب کمتری داشته‌اند. برای مثال، متوسط مصرف آب حیوانات (۰/۴۲۰ میلیون مترمکعب در سال)، گوجه‌فرنگی (۰/۰۷۶ میلیون مترمکعب در سال) و بادمجان (۰/۳۳۸ میلیون مترمکعب در سال) پایین‌تر از سایر محصولات بوده است. محصولاتمانند پیاز، خربزه، هندوانه، سورگوم و انگور نیز هرکدام مصرف آب متفاوتی داشته‌اند. بیشترین میزان مصرف آب برای خربزه در سال ۱۳۹۲ (۱/۵۵۴ میلیون مترمکعب) و برای یونجه در سال ۱۳۹۲ (۶/۴۳۷ میلیون مترمکعب) ثبت شده است (غلامحسین‌پور جعفری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).





شکل (۳): مصرف آب محصولات کشاورزی در دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۸

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که میزان مصرف آب در شهرستان سراوان تحت تأثیر نوع محصول، سطح زیر کشت و شرایط اقلیمی متغیر بوده است. محصولاتمانند خرما، یونجه و ذرت علوفه‌ای سهم عمده‌ای از منابع آبی را به خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که برخی محصولات زراعی مانند حبوبات و گوجه‌فرنگی مصرف آب کمتری داشته‌اند.

۳-۲- محتوای آب مجازی

نتایج محاسبه محتوای آب مجازی نشان‌دهنده میزان مصرف آب در طول فرآیند رشد یک محصول است. اگر مقدار آن بیش از ۱ باشد، محصول پرمصرف و در غیر این صورت کم‌مصرف محسوب می‌شود. بررسی محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی شهرستان سراوان در بازه ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که مقدار متوسط آن ۱/۲۶۵ مترمکعب بر کیلوگرم است، بنابراین محصولات این منطقه از نظر مصرف آب در دسته پرمصرف قرار می‌گیرند (جدول ۳). بیشترین محتوای آب مجازی مربوط به جو (۳/۴۷۰)، حبوبات (۳/۰۸۸) و گندم (۳/۰۲۲) مترمکعب بر کیلوگرم است، درحالی‌که کمترین مقدار به پیاز (۰/۱۰۶)، بادمجان (۰/۱۲۹) و گوجه‌فرنگی (۰/۱۳۱) مترمکعب بر کیلوگرم اختصاص دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که میزان محتوای آب مجازی یک محصول بسته به شرایط اقلیمی، سیستم‌های تولید، روش‌های آبیاری و انتقال آب متفاوت است. به‌عنوان مثال، متوسط آب مجازی جو در ایران ۳/۴۸۰ مترمکعب بر کیلوگرم و در سطح جهانی ۲/۵۷۵ مترمکعب بر کیلوگرم گزارش شده است. همچنین محتوای آب مجازی گندم در عراق بین ۱/۰۷۶ تا ۵/۴۷۷ مترمکعب بر کیلوگرم متغیر است، در حالی‌که میانگین جهانی آن ۱/۸۳۰ مترمکعب بر کیلوگرم برآورد شده است. مقایسه نتایج این مطالعه با تحقیق حکمت‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) نشان می‌دهد که محتوای آب مجازی گوجه‌فرنگی و پیاز در سراوان کمتر از میانگین استانی است و از جایگاه مناسبی برخوردار است، اما جو و گندم در این شهرستان محتوای آب مجازی بالاتری نسبت به میانگین استان سیستان و بلوچستان دارند.

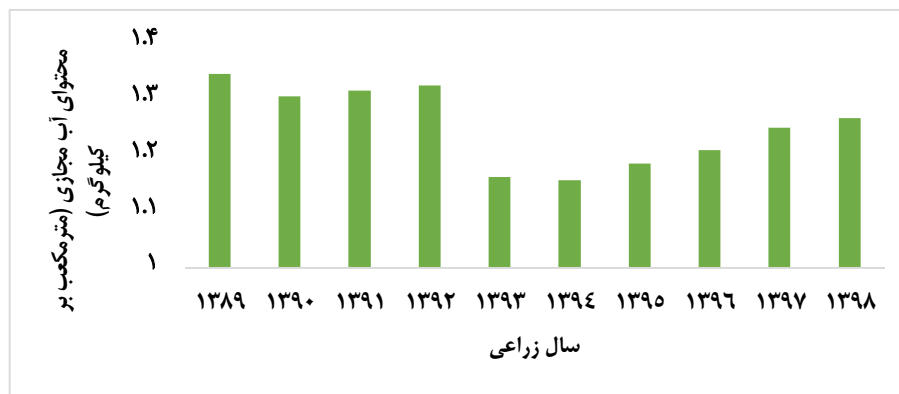
شکل (۴) روند تغییرات محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی شهرستان سراوان را در بازه زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. در سال ۱۳۸۹، به‌طور میانگین ۱/۳۴۴ مترمکعب آب برای تولید هر کیلوگرم محصول کشاورزی مصرف می‌شد، درحالی‌که این مقدار در سال ۱۳۹۸ به ۱/۲۶۵ مترمکعب کاهش یافته است. بررسی این دوره ۱۰ ساله حاکی از آن است که تغییرات قابل‌توجهی در میانگین آب مجازی محصولات کشاورزی این منطقه رخ نداده است. این امر بیانگر آن است که طی سال‌های اخیر، تحول چشمگیری در روش‌های تولید، سیستم‌های آبیاری، فناوری‌های کشاورزی و برنامه‌های ترویجی در شهرستان سراوان صورت نگرفته است.

بررسی تغییرات زمانی محتوای آب مجازی محصولات کشاورزی در شهرستان سراوان طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که به‌طور کلی تغییر قابل‌توجهی در میزان مصرف آب برای تولید محصولات مختلف رخ نداده است (شکل ۵). در سال ۱۳۸۹، متوسط مصرف آب برای تولید یک کیلوگرم محصول کشاورزی ۱/۳۴۴ مترمکعب بود که در سال ۱۳۹۸ به ۱/۲۶۵ مترمکعب کاهش یافته است. این روند بیانگر عدم تغییر در روش‌های تولید، سیستم‌های آبیاری و فناوری‌های کشاورزی در این منطقه است. محصولات استراتژیکی مانند گندم و جو همچنان جزو محصولات پرمصرف از نظر آب باقی مانده‌اند. میانگین مصرف آب برای تولید گندم ۰/۱۹ مترمکعب بر کیلوگرم بوده که بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۹۸ (۳/۶۱۳) مترمکعب و کمترین در سال ۱۳۸۹ (۲/۴۳۶) مترمکعب ثبت شده است. محصول جو نیز با میانگین ۳/۴۷۰ مترمکعب بر کیلوگرم، بیشترین میزان

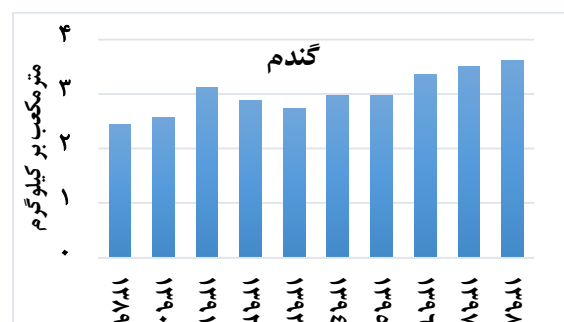
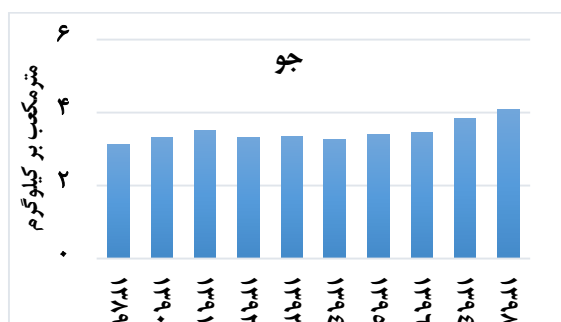
مصرف آب را در سال ۱۳۹۸ (۴/۰۹۰ مترمکعب) و کمترین را در سال ۱۳۸۹ (۳/۱۲۸ مترمکعب) داشته است. محصولاتی مانند ذرت دانه‌ای و حبوبات نیز در دسته محصولات با مصرف آب بالا قرار دارند، در حالی که میزان مصرف آب مجازی محصولات صیفی مانند گوجه‌فرنگی، پیاز و بادمجان کمتر است

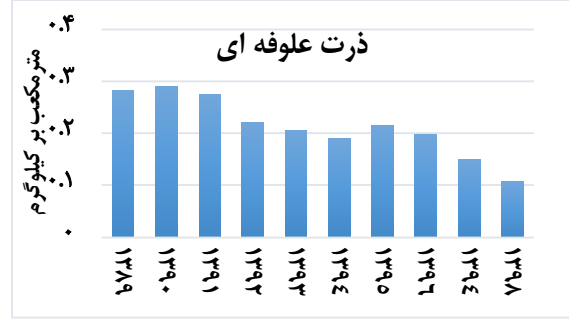
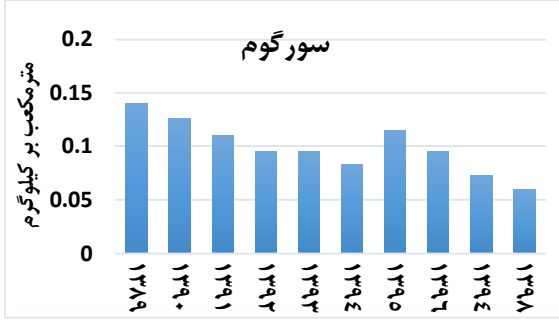
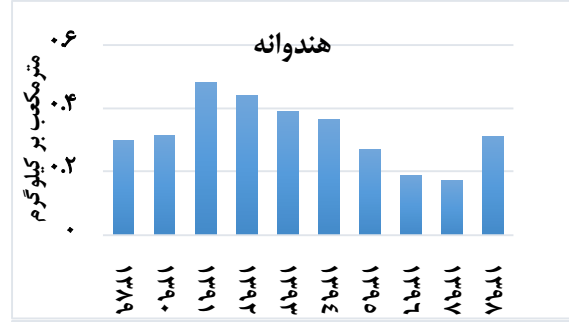
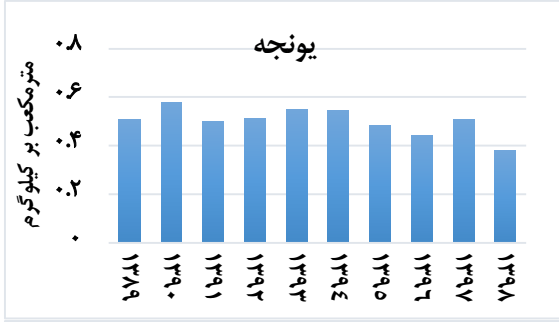
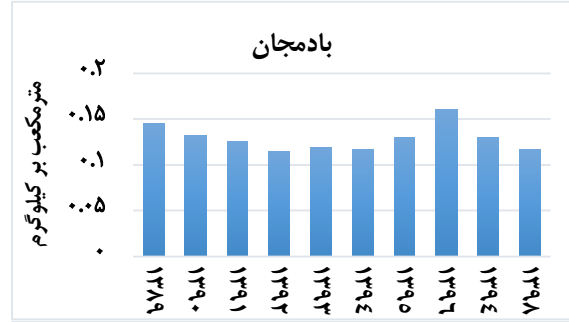
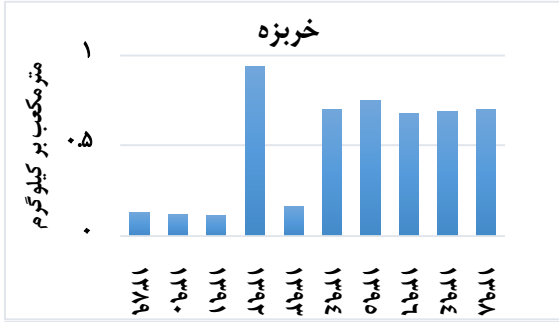
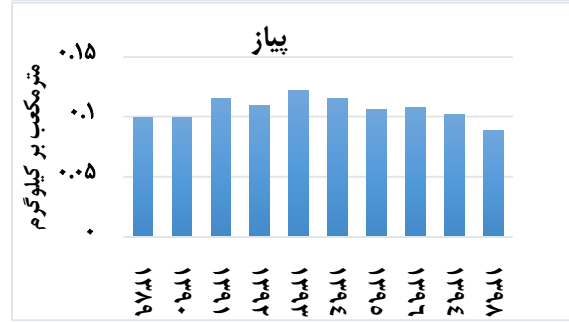
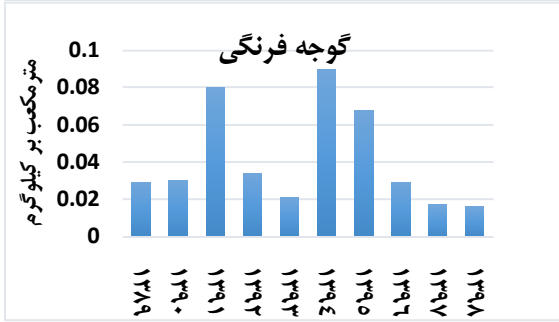
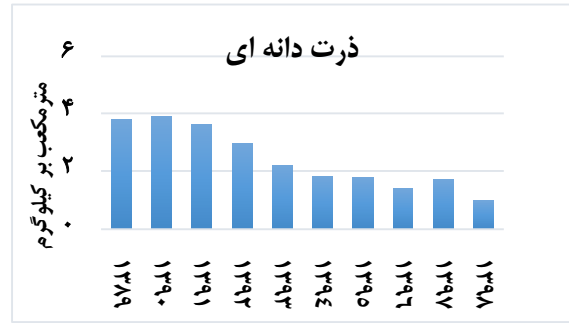
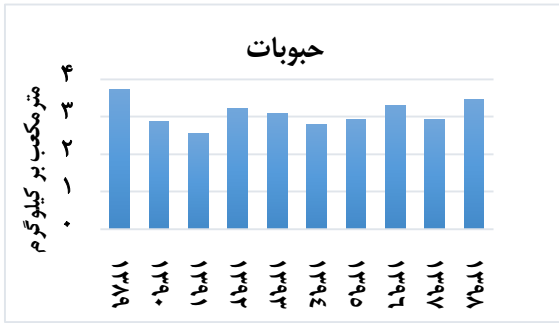
جدول (۳): متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی شهرستان سراوان

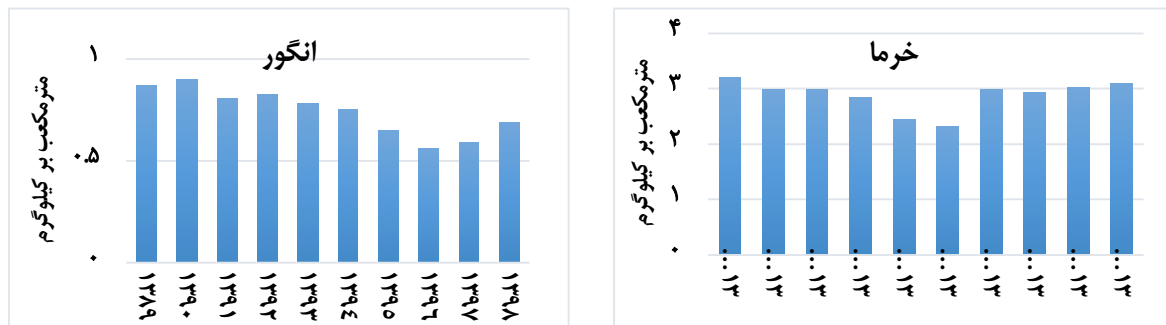
محصولات	متوسط (مترمکعب بر کیلوگرم)
گندم	۳/۰۲۲
جو	۳/۴۷۰
ذرت دانه‌ای	۲/۲۷۵
حبوبات	۳/۰۸۸
پیاز	۰/۱۰۶
گوجه‌فرنگی	۰/۰۴۱
بادمجان	۰/۱۲۹
خرنزه طالبی	۰/۴۹۸
هندوانه	۰/۳۲۳
یونجه	۰/۵۰۱
ذرت علوفه‌ای	۰/۲۱۳
سورگوم	۰/۱۸۹
خرما	۲/۸۸۴
انگور	۰/۷۴۲



شکل (۴): تغییرات زمانی آب مجازی کل محصولات کشاورزی شهرستان سراوان







شکل (۵): تغییرات زمانی آب مجازی محصولات کشاورزی در دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۸

در میان محصولات باغی، خرما و انگور دارای مصرف آب قابل توجهی هستند. خرما با متوسط ۲/۸۸۴ مترمکعب بر کیلوگرم بیشترین میزان مصرف را در سال ۱۳۸۹ (۳/۲۱۵ مترمکعب) داشته است. در مقابل، انگور با میانگین ۰/۷۴۲ مترمکعب بر کیلوگرم، در برخی سال‌ها کاهش مصرف آب را نشان داده است. همچنین، محصولات علوفه‌ای مانند ذرت علوفه‌ای، سورگوم و یونجه مصرف آب کمتری نسبت به محصولات دیگر داشته‌اند. مقایسه تغییرات زمانی مصرف آب مجازی نشان می‌دهد که محصولات استراتژیک همچنان پرمصرف باقی مانده‌اند، در حالی که میزان مصرف آب در برخی محصولات صیفی کاهش یافته است. این روند حاکی از آن است که در طی یک دهه گذشته تغییر چندانی در بهره‌وری آب کشاورزی در سراوان رخ نداده و نیاز به بهبود روش‌های آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب در این منطقه احساس می‌شود.

۳-۳- ردپای آب

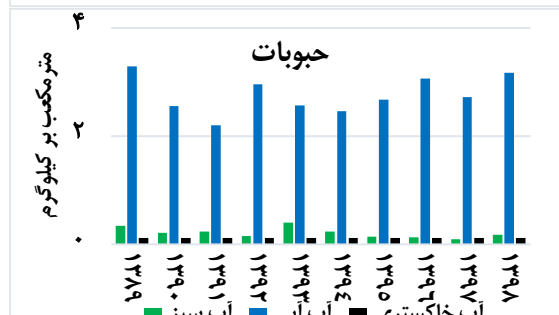
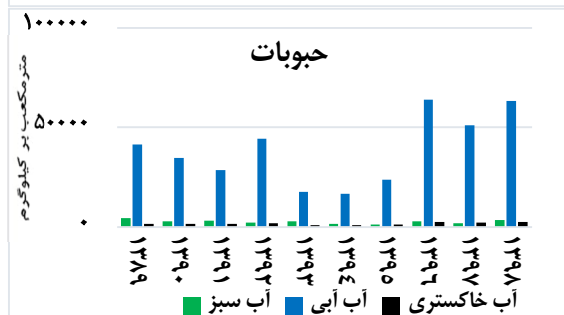
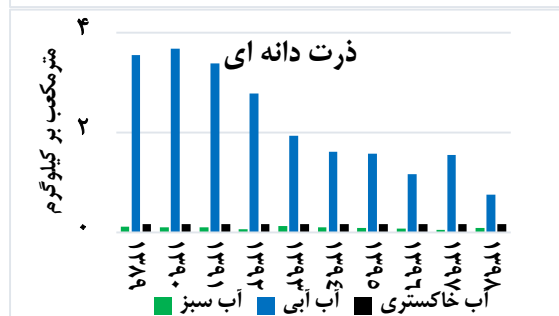
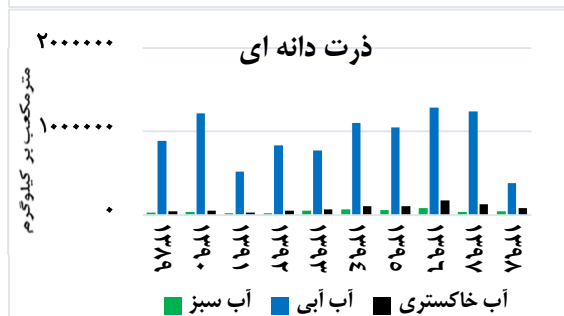
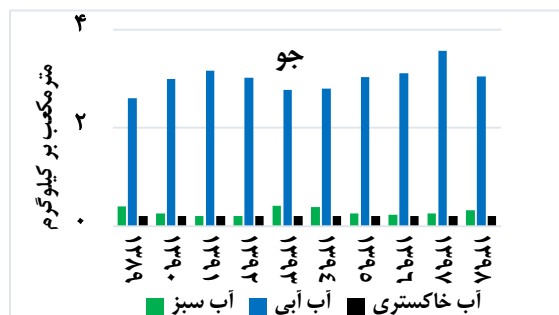
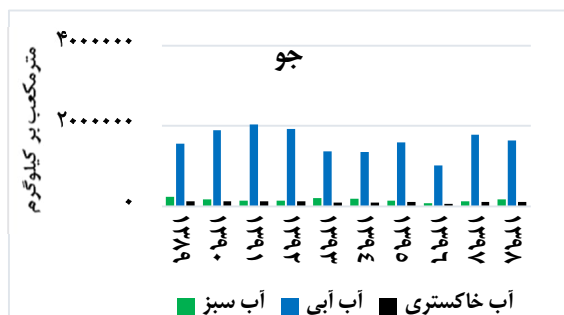
ردپای آب بیانگر میزان مصرف آب از منابع مختلف برای تولید محصولات کشاورزی است. نتایج بررسی ردپای آب در شهرستان سراوان، ارائه شده در جدول (۴)، نشان می‌دهد که آب آبی سهم عمده‌ای در تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی این منطقه دارد، به طوری که ۸۸/۹۳ درصد از مصرف آب کشاورزی از طریق آبیاری و برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. در مقابل، به دلیل شرایط اقلیمی خشک شهرستان سراوان، سهم آب سبز (آب حاصل از بارندگی ذخیره شده در خاک) در تأمین آب کشاورزی تنها ۶ درصد است. همچنین، ۵/۰۷ درصد از مصرف آب کشاورزی در این منطقه به آب خاکستری، که به آب‌های شیرین مصرف شده برای رقیق‌سازی آلاینده‌هایی مانند کودهای شیمیایی اشاره دارد، اختصاص یافته است. مقایسه این نتایج با پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، وابستگی شدیدی به آب آبی برای تأمین نیازهای کشاورزی وجود دارد. برای مثال منتصری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی ردپای آب محصولات کشاورزی در حوضه آبریز ارومیه نشان داد که ۲۵ درصد از تقاضای آبی از طریق آب سبز و ۷۵ درصد از طریق آب آبی تأمین می‌شود. این تفاوت به شرایط اقلیمی متفاوت ارومیه، که در شمال ایران واقع شده و از بارندگی بیشتری نسبت به شهرستان سراوان برخوردار است، مرتبط است. در همین راستا، رحیمی‌پور انارکی و همکاران (۱۴۰۱) متوسط ردپای آب سبز در مناطق خشک را حدود ۱ درصد برآورد کرده و تأکید کرده‌اند که در این مناطق، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی به طور عمده وابسته به آب آبی است. علاوه بر این، مطالعه حکمت‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که در استان سیستان و بلوچستان، سهم آب سبز در تولید محصولات زراعی و باغی ۸/۱۵ درصد و سهم آب آبی ۹۱/۸۵ درصد است. این تحقیق اشاره‌ای به میزان آب خاکستری نکرده است. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، کشاورزی عمدتاً متکی بر آب آبی بوده و نقش بارندگی در تأمین نیازهای آبی این بخش ناچیز است. در مقابل، در مناطق مرطوب‌تر مانند حوضه آبریز ارومیه، به دلیل بارندگی بیشتر، سهم آب سبز در تأمین آب کشاورزی بالاتر است. بنابراین، یافته‌های این مطالعه با نتایج تحقیقات حکمت‌نیا و همکاران (۱۳۹۹)، منتصری و همکاران (۱۳۹۵) و رحیمی‌پور انارکی و همکاران (۱۴۰۱) همخوانی دارد و بر نقش غالب آب آبی در مناطق خشک تأکید می‌کند.

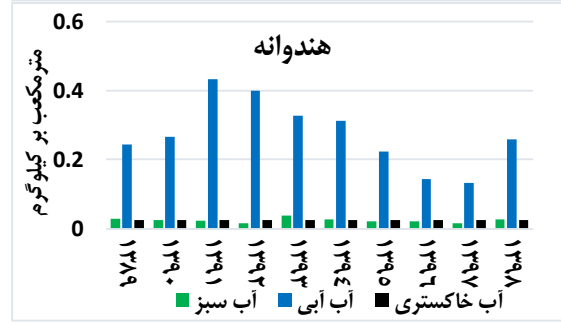
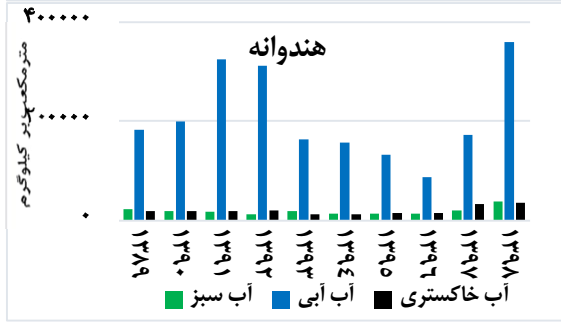
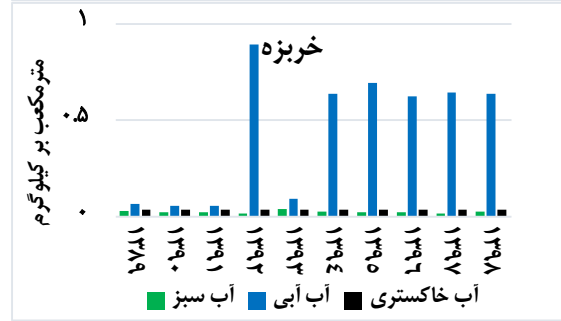
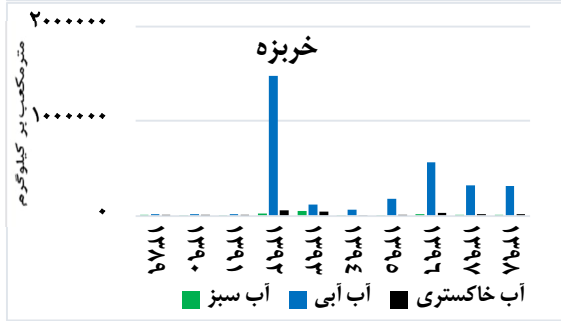
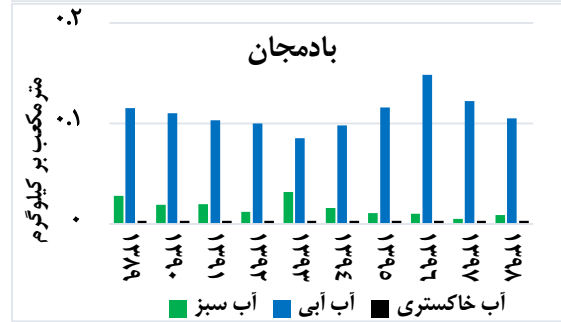
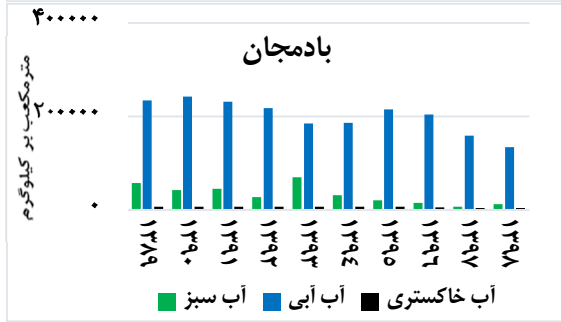
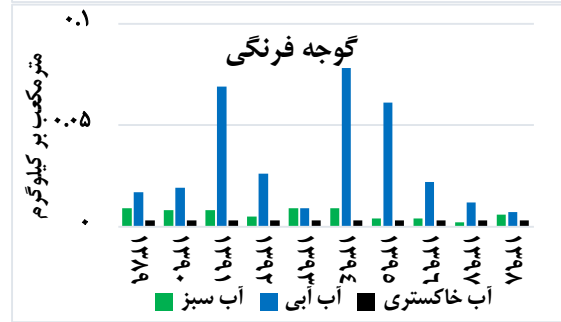
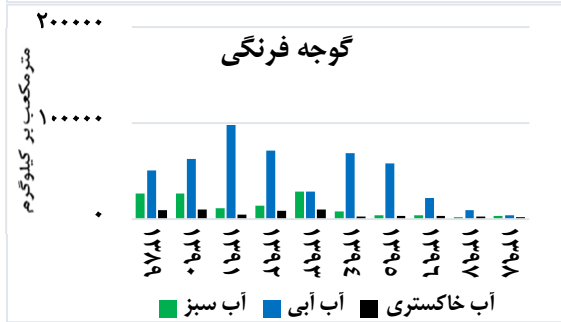
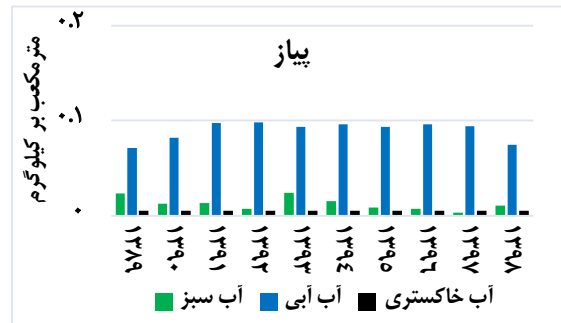
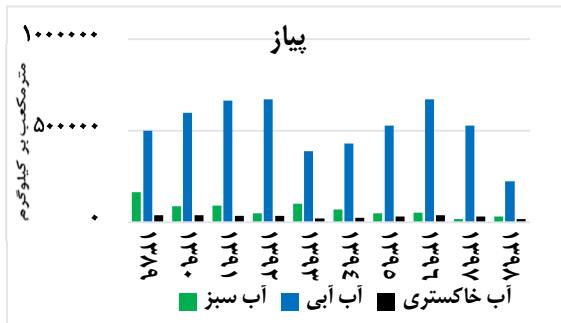
بررسی تغییرات ردپای آب مصرفی و تولیدی محصولات کشاورزی در شهرستان سراوان طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۸ نشان می‌دهد که آب آبی سهم اصلی را در تأمین نیاز آبی محصولات کشاورزی ایفا می‌کند، در حالی که سهم آب سبز و خاکستری نسبتاً محدود است (شکل ۶). برای محصولاتی چون گندم، جو، و ذرت دانه‌ای، ردپای آب به طور قابل توجهی بالا بوده و به ترتیب ۳/۰۱۹، ۳/۴۷۹ و ۲/۲۷۵ مترمکعب بر کیلوگرم است. این محصولات عمدتاً متکی به آب آبی هستند، که نقش غالب را در تأمین نیاز آبی آن‌ها دارد. در مقابل، محصولاتی چون پیاز، گوجه‌فرنگی و بادمجان ردپای آب کمتری دارند، به طوری که ردپای آب پیاز ۰/۱۰۶، گوجه‌فرنگی ۰/۰۴۱ و بادمجان ۰/۱۲۹ مترمکعب بر کیلوگرم است. محصولات باغی مانند خرما و انگور نیز به دلیل نیاز آبی بالا، ردپای آب بالایی دارند. خرما با ردپای ۲/۸۸۴ مترمکعب بر کیلوگرم و انگور با ۰/۷۴۲ مترمکعب بر کیلوگرم نشان می‌دهند که تأمین آب آن‌ها نیز عمدتاً از طریق منابع آبی صورت می‌گیرد. به طور کلی، نتایج این بررسی نشان می‌دهد که کشاورزی در شهرستان سراوان به شدت وابسته به آب آبی است و نقش آب سبز، به دلیل محدودیت‌های اقلیمی، کم‌رنگ است. همچنین، میزان آب خاکستری به کار رفته برای تولید محصولات کشاورزی در این منطقه نیز محدود است. این یافته‌ها همسو با نتایج مطالعات انجام شده در سایر مناطق

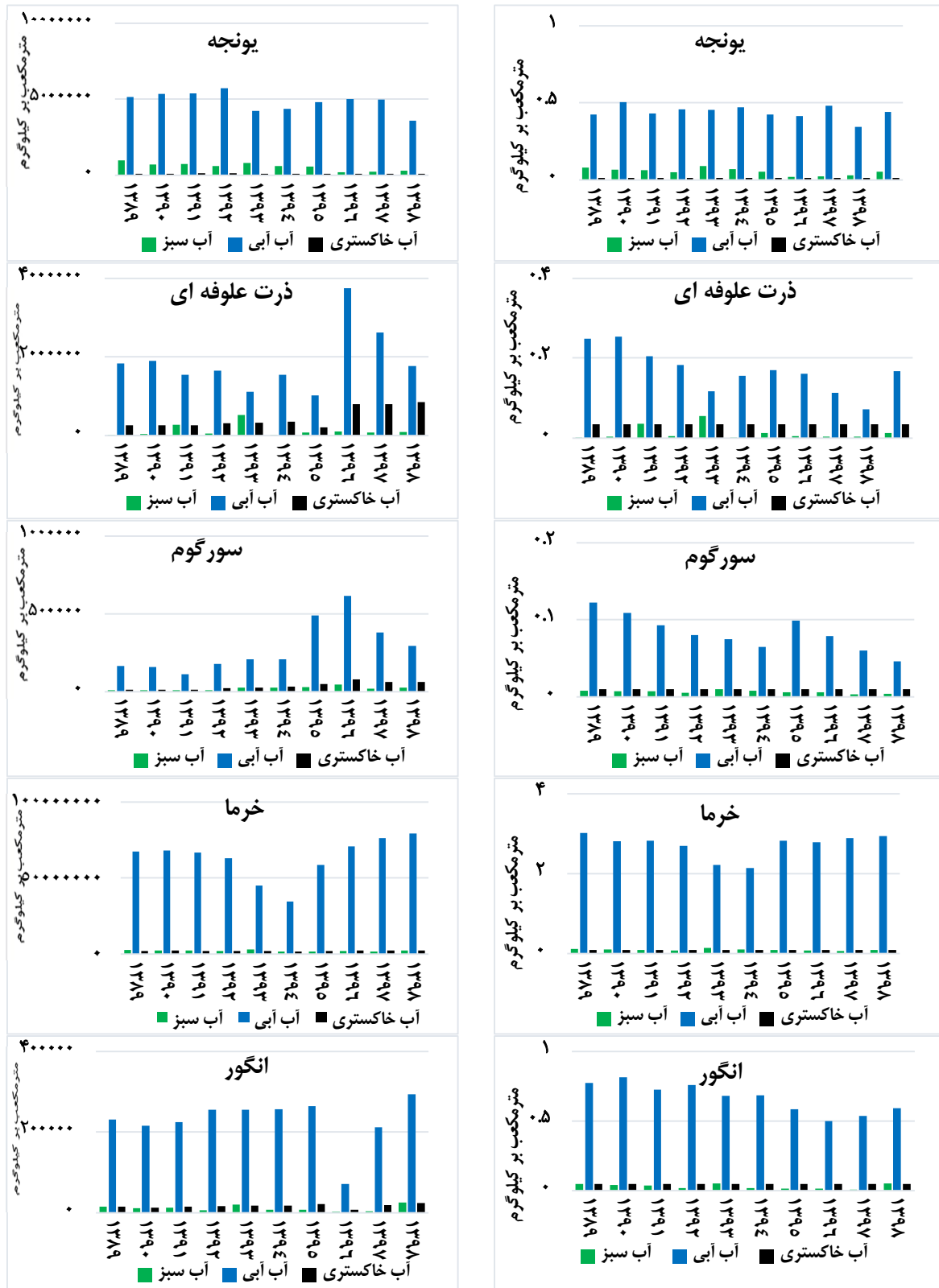
خشک و نیمه خشک کشور است که نشان می دهد تأمین آب کشاورزی عمدتاً به منابع آبی متکی بوده و بارش های طبیعی نقش کمتری در تأمین نیاز آبی محصولات دارند.

جدول (۴): متوسط ردپای آب سبز، آبی و خاکستری محصولات کشاورزی در شهرستان سراوان ۱۳۸۹-۱۳۹۸

محصول	ردپای آب سبز (m ³ /kg)	ردپای آب آبی (m ³ /kg)	ردپای آب خاکستری (m ³ /kg)
گندم	۰/۲۱۸	۲/۶۱۲	۰/۱۸۹
جو	۰/۲۴۰	۳/۰۴۰	۰/۱۹۰
ذرت دانه ای	۰/۰۸۲	۲/۱۹۳	۰/۱۵۳
حبوبات	۰/۲۰۹	۲/۷۶۱	۰/۱۱۸
پیاز	۰/۰۱۲	۰/۰۸۹	۰/۰۰۵
گوجه فرنگی	۰/۰۱۶	۰/۱۰۸	۰/۰۰۷
بادمجان	۰/۰۱۶	۰/۱۱۰	۰/۰۰۳
خریزه طالی	۰/۰۲۴	۰/۴۳۹	۰/۰۳۵
هندوانه	۰/۰۲۴	۰/۲۷۴	۰/۰۲۵
یونجه	۰/۰۱۲	۰/۴۷۴	۰/۰۱۵
ذرت علوفه ای	۰/۰۱۱	۰/۱۶۷	۰/۰۳۴
سورگوم	۰/۰۰۶	۰/۱۷۳	۰/۰۱۰
خرما	۰/۰۸۹	۲/۷۱۰	۰/۰۸۵
انگور	۰/۰۴۷	۰/۶۶۵	۰/۰۳۰
متوسط	۰/۰۷۶	۱/۱۲۵	۰/۰۶۴
سهام	% ۶	% ۸۸/۹۳	% ۵/۰۷







شکل (۶): تغییرات زمانی ردپای آب تولید و مصرف محصولات کشاورزی در دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۸

۳-۴- بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری مصرف آب نشان دهنده میزان محصول تولید شده به ازای مصرف ۱ مترمکعب آب است. هرچه میزان محصول تولید شده به ازای مصرف ۱ مترمکعب آب بیشتر باشد، نشان‌دهنده بهره‌وری مصرف آب بالاتر است. نتایج محاسبات نشان می‌دهد متوسط بهره‌وری مصرف آب محصولات کشاورزی در شهرستان سراوان ۳/۲۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. بدین معنی که به ازای مصرف یک مترمکعب آب، ۳/۲۱۰ کیلوگرم محصول

کشاورزی در شهرستان سراوان تولید می‌شود (جدول ۵). بیشترین میزان بهره‌وری در مصرف آب مربوط به محصول پیاز و کمترین میزان بهره‌وری مربوط به محصول جو است. بهره‌وری پایین محصول جو نشان دهنده هدر رفت آب در آبیاری این محصول می‌باشد.

جدول (۵): متوسط بهره‌وری مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان سراوان

محصول	بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3)
گندم	۰/۳۳۱
جو	۰/۲۸۸
ذرت دانه‌ای	۰/۴۱۱
حبوبات	۰/۳۲۳
پیاز	۹/۴۳۴
گوجه‌فرنگی	۷/۶۳۳
بادمجان	۷/۷۵۱
خرنزه طالبی	۲/۰۰۸
هندوانه	۳/۰۹۵
یونجه	۱/۹۹۶
ذرت علوفه‌ای	۴/۶۹۴
سورگوم	۵/۲۹۱
خرما	۰/۳۴۶
انگور	۱/۳۴۷
متوسط	۳/۲۱۰

۴- بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که بخش کشاورزی در شهرستان سراوان به شدت به منابع آب آبی وابسته است و فشار زیادی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی وارد می‌کند. میانگین نیاز آبی محصولات کشاورزی منطقه نسبتاً بالا بوده و تفاوت قابل توجهی بین محصولات مختلف مشاهده می‌شود؛ برای مثال، محصولات پر آب مانند خرما و یونجه، سهم بالایی از مصرف آب را دارند، در حالی که محصولاتی مانند پیاز، بادمجان و گوجه‌فرنگی به منابع آب کمتری نیاز دارند. این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی محصولات، طول دوره رشد، و شرایط اقلیمی منطقه است. بررسی شاخص آب مجازی نشان می‌دهد که تولید بسیاری از محصولات کشاورزی شهرستان در دسته پرمصرف قرار دارد، به‌ویژه غلات و حبوبات، در حالی که برخی محصولات با نیاز آبی کمتر، بهره‌وری بهتری از نظر مصرف آب دارند. تحلیل ردپای آب نیز نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد از آب مصرفی بخش کشاورزی از منابع آبی سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود و سهم آب سبز (بارندگی) تنها حدود ۶ درصد است، که اهمیت مدیریت منابع آب آبی را بیشتر می‌کند. با توجه به یافته‌ها، بهره‌وری آب در محصولات مختلف متفاوت است؛ محصولاتی مانند پیاز نسبت به مصرف آب بازده بالایی دارند، در حالی که محصولاتی مانند جو و گندم نیاز به مدیریت بهینه‌تری دارند. این وضعیت، به‌ویژه در شرایط خشک منطقه، نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های نوین آبیاری و انتخاب محصولات کم‌مصرف از نظر آب، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر پایداری منابع آب داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که برای مدیریت پایدار آب در کشاورزی شهرستان سراوان، الگوی کشت به سمت محصولات با نیاز آبی کمتر و بهره‌وری بالاتر تغییر کند، روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی جایگزین روش‌های سنتی شوند تا هدررفت آب کاهش یابد و برنامه‌ریزی جامع منابع آب، شامل ترکیب بهینه استفاده از آب سطحی، زیرزمینی و آب سبز، اجرا شود. در نهایت، بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی می‌تواند هم به کاهش فشار بر منابع آبی کمک کند و هم امنیت غذایی و توسعه پایدار منطقه را تضمین نماید.

منابع

- امیدی، ط، باقری، ع، و حیدری، ن. (۱۳۹۸). تحلیل ردپای آب تولید، صادرات و واردات شکر در ایران برای دوره ۱۳۹۳-۱۳۸۴. تحقیقات منابع آب ایران، (۳)، ۱۵-۹۰، ۷۸-۹۰.
- آبابایی، ب، و رضانی اعتدالی، ه. (۱۳۹۵). برآورد اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور. آب و خاک، (۶)، ۲۹۶-۱۴۶۸-۱۴۵۸.
- رحیمی‌پور انارکی، م، محمدی، ع، رفیعیان، م، ارجمندی، ر، و کریمی، س. (۱۴۰۱). ارزیابی آب مجازی و ردپای آب محصولات کشاورزی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان قلعه‌گنج). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، (۴۱)، ۹۲-۷۷.
- سلطانی، ا، میرلطیفی، س. م، و دهقانی، س. (۱۳۹۲). برآورد تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف. آب و خاک، (۱)، ۳۶-۱۴۹-۱۳۹.
- صالح‌نیا، ن، و باستانی، م. (۱۳۹۶). بررسی راهبرد تجارت آب مجازی محصولات زراعی و باغی در ایران. آبیاری و زهکشی ایران، (۵)، ۷۵۰-۷۶۲.
- علیقلی‌نیا، ت، رضایی، ح، بهمنش، ج، و منتظری، م. (۱۳۹۶). مطالعه شاخص ردپای آب برای محصولات غالب مورد کشت در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ارتباط آن با مدیریت آبیاری. دانش آب و خاک، (۴)، ۳۷-۴۸.
- غلامحسین‌پور جعفری‌نژاد، ا، علی‌زاده، ا، و نشاط، ع. (۱۳۹۲). بررسی ردپای اکولوژیک آب و شاخص‌های آب مجازی در محصولات پسته و خرما در استان کرمان. مهندسی آبیاری و آب ایران، (۴)، ۱۳-۸۹.
- کیانی، غ. (۱۳۹۷). بررسی وضعیت تجارت داخلی و بین‌المللی آب مجازی در ایران. علوم آب و خاک، (۱)، ۱۱۵-۱۲۵.
- منتصری، م، رسولی‌مجدد، ن، بهمنش، ج، و رضایی، ح. (۱۳۹۵). ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با اعمال اثر تغییر اقلیم. آب و خاک، (۴)، ۳۰-۱۰۷۵-۱۰۸۹.

- حکمت‌نیا، م.، حسینی، س. م.، و صفدری، م. (۱۳۹۹). مدیریت منابع آب کشاورزی استان سیستان و بلوچستان از دیدگاه آب مجازی. آبیاری و آب ایران، ۱۱(۱)، ۱۳۷-۱۴۹.
- منتصری، م.، رسولی مجد، ن.، بهمنش، ج.، و رضایی، ح. (۱۳۹۵). ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با اعمال اثر تغییر اقلیم. آب و خاک، ۳۰(۴)، ۱۰۷۵-۱۰۸۹.
- Allan, J.A. (1997). 'Virtual water': a long term solution for water short Middle Eastern economies? (Vol. 5145). London, UK: School of Oriental and African Studies, University of London.
- Allan, J.A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Ground water*, 36(4), 545-547.
- Antonelli, M., Tamea, S., and Yang, H. (2017). Intra-EU agricultural trade, virtual water flows and policy implications. *Science of the Total Environment*, 587, 439-448.
- Arabi, Y.A., NIK, N.N., Majidi, N., and Emami, H. (2015). Water Security Assessment in Arid Climates Based on Water Footprint Concept (case study; south khorasan province).
- Chouchane, H., Krol, M.S., and Hoekstra, A.Y. (2018). Virtual water trade patterns in relation to environmental and socioeconomic factors: A case study for Tunisia. *Science of the total environment*, 613, 287-297.
- Dalin, C., and Konar, M. (2018). Virtual Water Trade Among World Countries Associated With Food Trade.
- Dehghanpir, S., Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Holisaz, A., and Collins, B. (2024). Water scarcity assessment in Iran's agricultural sector using the water footprint concept. *Environment, Development and Sustainability*, 26(11), 28995-29020.
- Ercin, A.E., and Hoekstra, A.Y. (2014). Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment international*, 64, 71-82.
- FAO. (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Yearbook of International Environmental Law*, 34(1), p.yvae031.
- FAO.(2007). FAOSTAT Online Statistical Service. Available from: <http://faostat.fao.org> (accessed October 2007). United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Rome .
- Fu, X., Wang, T., Wang, S., Zhang, L., Cai, S., Xing, J., and Hao, J. (2018). Anthropogenic emissions of hydrogen chloride and fine particulate chloride in China. *Environmental science and technology*, 52(3), 1644-1654.
- Ghoddusi, H., and Davari, H. (2016). Critically analysis of virtual water from the perspective of policy-making. *Journal of Water and Sustainable Development*, 3(1), 47-58.
- Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In Proc. the International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12, Delft, 2003.
- Hoekstra, A.Y. (2017). Water footprint assessment: evolvment of a new research field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061-3081.
- Hoekstra, A.Y. (2019). *The water footprint of modern consumer society*. Routledge.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., and Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment. Manual Setting the Global Standard*; EarthScan: Washington, DC, USA.
- Khorsandi, M., Omid, T., and van Oel, P. (2023). Water-related limits to growth for agriculture in Iran. *Heliyon*, 9(5).
- Lamastra, L., Miglietta, P.P., Toma, P., De Leo, F., and Massari, S. (2017). Virtual water trade of agri-food products: Evidence from Italian-Chinese relations. *Science of the Total Environment*, 599, 474-482.
- Mubako, S.T., and Lant, C.L. (2013). Agricultural virtual water trade and water footprint of US states. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 385-396.
- Negm, A.M., Omran, E.S.E., Bouderbala, A., Chenchouni, H., and Barcelo, D. (2020). Introduction to "Water Resources in Algeria: Water Quality, Treatment, Protection and Development". In *Water Resources in Algeria-Part II: Water Quality, Treatment, Protection and Development* (pp. 1-10). Cham: Springer International Publishing.
- Rodriguez, C.I., de Galarreta, V.R., and Kruse, E.E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 90, 91-96.
- Tian, X., Sarkis, J., Geng, Y., Qian, Y., Gao, C., Bleischwitz, R., and Xu, Y. (2018). Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment. *Environment international*, 121, 178-188.
- UNESCO World Water Assessment Programme. (UNESCO WWAP). (September, 2023). Retrieved from <https://www.unesco.org/en/wwap>.

Comprehensive Analysis of Water Consumption in Agricultural Production: A Case Study of Saravan County

Mohsen Farahi^{*1}, Hossein Jahantigh²



Research Article

1. Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Environmental Sciences and Sustainable Development, Saravan University, Saravan, Iran.

m.farahi@saravan.ac.ir

* Corresponding author

2. Associate Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Environmental Sciences and Sustainable Development, Saravan University, Saravan, Iran.

hjahantigh5@gmail.com

Article Code: 2059-1119
Continus Pagation: 946-962

Received: 21 September 2025
Accepted: 09 November 2025
Online: 18 November 2025
Review speed: 50 days

Citation:

Farahi, M., and jahantigh, H. (2025). Comprehensive Analysis of Water Consumption in Agricultural Production: A Case Study of Saravan County. *Management of Natural Ecosystems*, 4(4), 43-59.

Abstract

Water scarcity is a defining characteristic of arid and semi-arid regions, which affects food production. Given the limitations of water resources in arid regions and the lack of fertile land for expanding cultivation, the increasing demand for food must be met through sustainable agricultural production. This issue increases pressure on water resources; therefore, the management of agricultural water consumption in arid regions is essential. This study aims to calculate the volume of water consumed in the agricultural production in Saravan County through the virtual water and water footprint indicators. To achieve this, the irrigation requirements of agricultural crops in Saravan County were first estimated using the CROPWAT software. Subsequently, the virtual water content, water footprint, and water use efficiency were calculated. The results showed that the total volume of water consumed for agricultural production in Saravan County amounts to 827.066 million cubic meters. The highest water consumption is belonged to date palms (80.96%), alfalfa (6.68%), and wheat (3.49%). The average virtual water content of agricultural products is 1.265 cubic meters per kilogram. Of the water used for irrigating agricultural crops in Saravan County, 88.93% comes from blue water, 6% from green water, and 5.07% from grey water. The results of water use efficiency indicate that 3.210 kilograms of agricultural products are produced per cubic meter of water consumed. To manage water resources in Saravan County, it is recommended to promote the cultivation of onions, tomatoes, and eggplants while reducing the cultivation area of alfalfa and wheat.

Key Words:

Crop Water Requirement, CROPWAT, Date Palm, Virtual Water.