نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۲، ۱۳۹۹، صفحات ۴۸۱-۴۹۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 2, 2020, Pages 481-491
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.123085.1534

بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات عمده زراعی در حوضه تلوار استان کردستان

عطا امینی[*1]، جهانگیر پرهمت[2] و محمد حسین سدری[3]

[1] دانشیار، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران، [2] استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [3] استادیار، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۸

چکیده

مفاهیم آب مجازی و بهره‌وری آب به‌عنوان ابزارهای مدیریتی مؤثر در تحلیل مسائل مرتبط با مدیریت منابع آب مطرح هستند. این پژوهش، به‌منظور استفاده از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مدیریت منابع آب در حوضه تلوار استان کردستان انجام شد. در این راستا، داده‌های هواشناسی و اقلیم، منابع آب، کشاورزی، آبیاری و مدیریتی حوزه آبخیز جمع‌آوری شد. سطح زیرکشت محصولات آبی در حوضه شناسایی و درصد کشت آن‌ها مشخص شد. اطلاعات مربوط به رشد این محصولات، تولید ماده خشک و میزان آب مصرفی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT و اندازه‌گیری‌های میدانی محاسبه شد. با استفاده از نتایج تحلیل این داده‌ها، شاخص‌های مدیریتی از جمله بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی محصولات محاسبه شد. نتایج نشان داد که پنج محصول گندم، سیب‌زمینی، جو، یونجه و شبدر بیش از ۹۳ درصد سطح اراضی آبی حوضه را تشکیل می‌دهند. محصول سیب‌زمینی دارای بهره‌وری فیزیکی بالا به میزان ۳/۴۶ و محصول گندم کمترین بهره‌وری فیزیکی به میزان ۰/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب را دارا است. با وجود عملکرد فیزیکی پایین گندم، بخش زیادی از آب مصرفی در محصول گندم، آب سبز است. حال آن‌که سیب‌زمینی کمترین مقدار آب سبز را مصرف می‌کند. همچنین، از لحاظ بهره‌وری اقتصادی محصولات گندم، جو و سیب‌زمینی بیشترین سود خالص اقتصادی را دارند و میزان سطح اراضی تحت کشت تطابق مناسبی با بهره‌وری اقتصادی دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیریت صحیح و متناسب با منابع آب موجود در حوضه منجر شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آب مجازی، کشاورزی، منابع آب، مدیریت حوضه

مقدمه

به‌دلایل اقلیمی و مدیریتی، میزان آب مصرفی و به‌تبع آن بهره‌وری آب[1] در تولید محصولات در کشورها و مناطق مختلف جهان متفاوت است. لذا، کشورهای کم آب می‌توانند با دخیل کردن آب مجازی و بهره‌وری آب در سیاست‌های مدیریت منابع آبی

[*] مسئول مکاتبات: a.amini@areeo.ac.ir

[1] Water productivity

علاوه بر این‌که میزان دسترسی خود به منابع آب تجدیدپذیر را افزایش دهند، از افزایش فشار بر منابع محدود خود نیز بکاهند. خشکسالی و کم آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، این مشکل در سال‌های آینده حادتر نیز خواهد شد.

حجم منابع آب تجدیدپذیر حدود ۱۰۰ میلیارد متر مکعب است که بیش از ۷۰ درصد آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Nasseri و همکاران، ۲۰۱۷). از این‌رو، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی در کشور حائز اهمیت است. یکی از مؤثرترین و کاربردی‌ترین راه‌ها برای سازگاری با وضعیت اقلیمی، برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های ارزیابی مصرف بهینه آب است (Abbasi و همکاران، ۲۰۱۷). معمولاً بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، با هم در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهره‌وری فیزیکی مقدار محصول تولید شده به ازای یک متر مکعب آب ($kg\ m^{-3}$) و بهره‌وری اقتصاد میزان ارزش محصول تولید شده به ازای یک متر مکعب آب است (Abbasi و همکاران، ۲۰۱۷). Javan و Fal-Soleiman (۲۰۰۸) با مطالعه بهره‌وری آب کشاورزی در دشت بیرجند نتیجه گرفتند که کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین مانند چغندرقند و یونجه باید از الگوی کشت منطقه حذف شوند. آن‌ها پیشنهاد دادند که به‌جای این محصولات، کشت‌هایی نظیر ذرت علوفه‌ای در تناوب با گندم و ارزن که هم موجب کاهش استحصال آب و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان باشد، جایگزین شود.

Vazifeh-Doust و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در مقیاس مزرعه در منطقه برخوار اصفهان در سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ نشان دادند که متوسط بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات چغندرقند، آفتاب‌گردان، ذرت علوفه‌ای و گندم به‌ترتیب ۰/۸۷، ۳/۰۳، ۴۱/۲۹ و ۰/۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. Verdinejad و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبخیز زاینده‌رود نتیجه گرفتند که متوسط بهره‌وری مصرف آب برای دو سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ و ۱۳۸۷-۱۳۸۶ به‌ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب است. همچنین، آن‌ها متوسط بهره‌وری محصول پایه گندم در دو سال زراعی مورد مطالعه را به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آوردند.

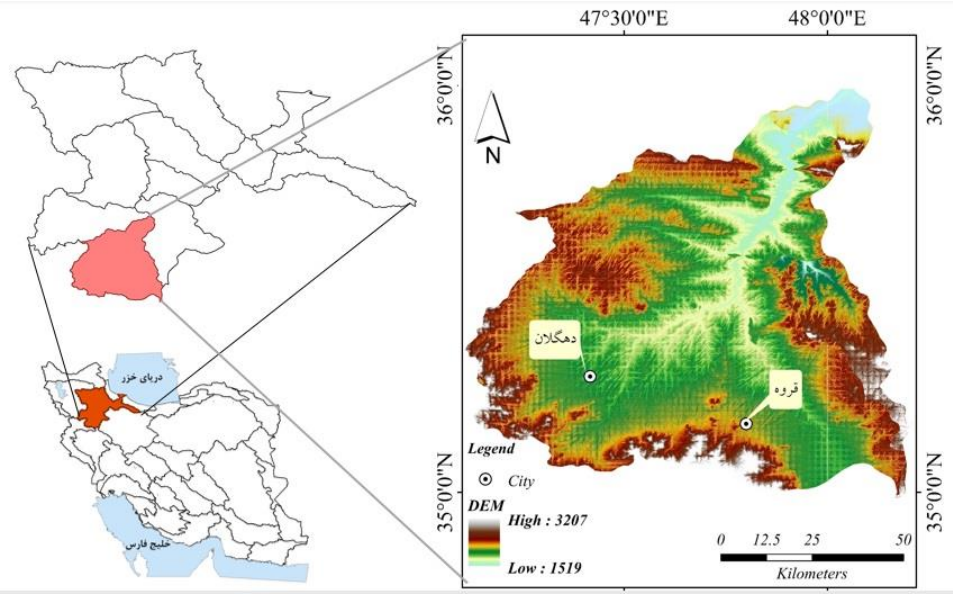
Karimi و Jolaini (۲۰۱۷) با بررسی بهره‌وری آب کشاورزی محصولات مهم زراعی در دشت مشهد، به این نتیجه رسیدند که کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پائین مانند یونجه باید از الگوی کشت حذف شود. این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی است.

Dehghanisanij و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که بهبود شیوه‌های مدیریتی آب و خاک در سال‌های اخیر سبب افزایش مقادیر بهره‌وری آب شده است. کاربرد روش‌های جدید آبیاری از جمله آبیاری بارانی و قطره‌ای، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه، بهره‌وری آب را افزایش داده است. در ترکیه، متوسط دامنه تغییرات بهره‌وری آب ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده، بیشترین مقدار بهره‌وری آب مربوط به تیمارهای کم آبیاری بوده است. مطالعات فوق نشان می‌دهد که با وجود نقش تعیین کننده منافع اقتصادی در تعیین الگو کشت یک حوضه، به‌دلیل عدم بررسی بهره‌وری اقتصادی، بعضاً در یک حوضه بین منافع اقتصادی کشاورزان و نوع محصولات کشت شده مغایرت‌هایی وجود داشته باشد. ضمن این‌که امروزه بهره‌وری فیزیکی آب نیز عملاً مورد توجه ویژه کارشناسان و بهره‌برداران قرار دارد. از سویی، افت آب‌های زیرزمینی حوضه تلوار کردستان از نظر بسیاری از کارشناسان، علاوه بر افزایش سطح زیرکشت، به نوع محصولات کشت شده نیز مرتبط است (Amini و Hesami، ۲۰۱۷). از این‌رو، در این پژوهش، با تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌های میدانی، شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، برای محصولات عمده زراعی در حوضه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: دشت قروه-دهگلان در استان کردستان، در شرق شهر سنندج و در حوضه تلوار-

مهرآباد بین طول جغرافیایی ″۲۶ ′۷ °۴۷ و ″۴۷ ′۱۴ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ″۲۵ ′۵۱ °۳۵ و ″۳۱ ′۱ °۳۵ شمالی واقع شده است. وسعت کل حوضه ۷۲۸۴ کیلومتر مربع است که ۵۷۰۹ کیلومتر مربع از آن را ارتفاعات و ۱۵۷۵ کیلومتر مربع از آن را دشت تشکیل می‌دهد. آبخوان آبرفتی دشت قروه-دهگلان که از نوع آزاد و با مساحت ۱۲۴۵ کیلومتر مربع است، ۷۹ درصد از کل وسعت دشت‌های منطقه را در بر می‌گیرد (Amini و Hesami، ۲۰۱۷). کشاورزی اصلی‌ترین رکن اقتصادی در این محدوده به شمار می‌آید. منابع آب به‌علت برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی و گازدار شدن چاه‌ها با مشکلات جدی مواجه است. کاربری‌های موجود در این حوضه شامل ۸۵/۶ درصد کشاورزی، ۱۱/۶ درصد مرتع، ۲/۵ درصد باغات و ۰/۳ درصد مناطق مسکونی است (Amini و همکاران، ۲۰۱۵). روش مرسوم آبیاری اراضی در این حوضه سامانه آبیاری تحت فشار از نوع کلاسیک نیمه متحرک است. بیش از سه هزار حلقه چاه کم عمق، نیمه عمیق و عمیق در حوضه وجود دارد. بررسی داده های هواشناسی و اقلیمی، میزان بارندگی حوضه را در سال پایه آماری برابر ۳۶۵ میلی‌متر نشان داد. موقعیت این حوضه در تقسیمات کشوری و در حوضه سفیدرود در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه تلوار در ایران و در محدوده حوضه سفیدرود

انتخاب محصول و تعیین الگوی کشت: الگوی کشت آبی حوضه تلوار (شهرستان‌های قروه و دهگلان) با استفاده از آمار پنج سال زراعی (۱۳۸۶-۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۰) در آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی تعیین و در جدول ۱ ارائه شده است. کل مساحت اراضی آبی حوضه تلوار که در دو شهرستان قروه و دهگلان واقع شده‌اند، معادل ۴۵۶۶۰ هکتار است. از این مقدار مساحت اراضی آبی شهرستان دهگلان ۱۸۷۷۳ هکتار و مساحت اراضی آبی شهرستان قروه ۲۶۸۸۷ هکتار است. حوضه تلوار که منتهی به خروجی ایستگاه مهرآباد بوده، در این دو شهرستان واقع شده است. در جدول ۱ مشاهده می‌شود که بیشترین سطح زیرکشت به گندم، سیب‌زمینی، یونجه، شبدر و جو اختصاص دارد. بنابراین، محاسبات نیاز آبی و بهره‌وری آب برای این محصول‌ها، به‌عنوان محصولات غالب حوضه، انجام شد.

آب مصرفی: آب مصرفی گیاه از دو بخش آب سبز و آب آبی تأمین می‌شود. آب سبز، میزان آبی است که از بارندگی در طول فصل رشد گیاه تامین و آب آبی معادل نیاز آبیاری گیاه است (Allen و همکاران، ۱۹۹۸). جداسازی آب سبز و آب آبی در محاسبه آب مجازی و بهره‌وری آب حائز اهمیت است. زیرا آب سبز

از عوامل ایجاد کننده پایداری در کشاورزی، ولی آب آبی نیازمند صرف انرژی برای انتقال و توزیع در سامانه آبیاری است. آب مجازی سبز و آب مجازی آبی به‌ترتیب از نسبت آب سبز مصرفی (یا بارندگی مؤثر) و آب آبی مصرفی (آب آبیاری) به عملکرد محصول به‌دست می‌آیند. معادلات (۱) تا (۳) به‌ترتیب بیانگر آب مصرفی، آب سبز و آب آبی هستند.

$$W_c = W_{gc} + W_{bc} \quad (۱)$$

$$W_{gc} = p_e \quad (۲)$$

$$W_{bc} = Ir_c \quad (۳)$$

که در آن‌ها، W_c آب مصرفی گیاه، W_{gc} آب سبز، W_{bc} آب آبی، p_e بارندگی مؤثر گیاه در منطقه c و در طول فصل رشد گیاه و Irc نیاز آبیاری گیاه c در منطقه مورد مطالعه، است. در این پژوهش، میزان آب مصرفی آبی با اندازه‌گیری میدانی از طریق کنتورهای حجمی اندازه‌گیری شد. یک عدد باران‌سنج اتوماتیک در داخل حوضه و در محل ایستگاه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان نصب و از این داده‌ها نیز به همراه دیگر داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده شد.

جدول ۱- میانگین درصد سطح زیرکشت محصولات زراعی حوضه تلوار به تفکیک شهرستان

غلات		حبوبات			صنعتی		جالیز		سبزیجات			علوفه		سایر	
گندم	جو	نخود	لوبیا	عدس	کلزا	خیار	هندوانه	سیب‌زمینی	پیاز	گوجه‌فرنگی	یونجه	شبدر	سایر
شهرستان دهگلان													
۳۵/۶	۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۶	۱/۲	۰/۱	۲۹/۵	۱	۰/۳	۲۴/۳	۴	۰
۳۸/۶		۰/۴		۰/۶		۱/۳		۳۰/۸			۲۸/۳	۰	
شهرستان قروه													
۴۴/۵	۳/۹	۰/۳	۰/۷	۰	۰/۸	۴	۲	۲۴/۶	۰/۳	۰/۶	۱۴/۸	۳/۲	۰/۳
۴۸/۴		۱		۰/۸		۶		۲۵/۵			۱۸	۰/۳	

نیاز آبی محصول: نیاز آبی گیاه (CWR) با استفاده از برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه (ETc) ($mm\ day^{-1}$) در طی دوره رشد کامل گیاه محاسبه می‌شود. مقدار ETc از حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) در ضریب گیاهی Kc به‌دست می‌آید (Allen و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (۴)$$

ضریب گیاهی (K_C) اثر خصوصیات گیاه را در نیاز آبی لحاظ نموده و با مشخص نمودن آن نیاز آبی گیاه تعیین می‌شود. عوامل متعددی در نیاز آبی گیاهان مؤثرند که مهمترین آن‌ها شامل شرایط اقلیمی، مشخصات خاک، گونه گیاه و عملیات زراعی است. میزان نیاز آبی، بارش مؤثر و نیاز خالص آبیاری، تبخیر و تعرق به تفکیک محصولات غالب حوضه با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT محاسبه شد. جزئیات بیشتر محاسبه نیاز آبی محصولات در تحقیقات Amini و Hesami (۲۰۱۷) ارائه شده است. برای محاسبه مقدار آب مصرفی محصولات کشاورزی لازم است، مقدار آب آبیاری محصولات با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شود.

$$W_c = ET_c/e \quad (۵)$$

که در آن، e بازده یا راندمان آبیاری است (Baghestani و Mehrabi Bashr-Abadi، ۲۰۰۷). راندمان آبیاری نقش مهمی در میزان آب مصرفی دارد. از این‌رو، در این پژوهش با استفاده از داده‌های دفتر تأمین آب وزارت جهاد کشاورزی و تحقیقات انجام شده در سطح استان در مورد راندمان‌های آبیاری، نیاز آبیاری محصولات محاسبه شد. Abasi و همکاران (۲۰۱۶) با جمع‌بندی مطالعات انجام شده در خصوص راندمان‌های آبیاری در استان‌های مختلف، راندمان آبیاری را در استان کردستان به‌طور متوسط ۴۲ درصد تخمین می‌زنند. این عدد برای آبیاری تحت فشار

بیشتر منظور می‌شود. از این‌رو در این پژوهش، میزان راندمان آبیاری در سامانه تحت‌فشار معادل ۴۶ درصد منظور شد. این مقدار با نتایج Faryabi و همکاران (۲۰۱۱) در خصوص ارزیابی راندمان آبیاری در دشت دهگلان همخوانی دارد.

داده‌های خاک: برای محاسبه باران مؤثر، بافت خاک منطقه حائز اهمیت است. بنابراین، نقشه منابع و قابلیت اراضی استان تهیه شده در موسسه خاک و آب کشور، برای استخراج بافت خاک منطقه مورد استفاده قرار گرفت. در این نقشه برای خاک‌های این منطقه چهار دسته کلی شامل بافت لومی رسی، بافت رسی شنی، بافت لوم و بافت لومی شنی قابل تشخیص است. به‌منظور تدقیق این نقشه و ارزیابی آن، بررسی میدانی و نمونه‌گیری از خاک زراعی در ۱۱ نقطه در سطح حوضه انجام شد. نوع و بافت خاک نمونه‌های برداشت شده در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس جنس خاک غالب منطقه به‌صورت لومی شنی مد نظر قرار گرفت.

جدول ۲- بافت خاک در منطقه مورد مطالعه

ردیف	روستا	شهر	X	Y	شن	سیلت	رس	بافت خاک
۱	کانی گنجی	قروه	۷۶۴۰۰۵	۳۸۸۶۰۲۷	۴۰	۴۵	۱۵	لوم
۲	کاشگران	قروه	۷۳۵۲۴۸	۳۹۰۰۴۲۱	۵۴	۳۰	۱۶	لوم ماسه‌ای
۳	قروچای	دهگلان	۷۰۶۴۹۱	۳۹۱۴۸۱۴	۲۱	۴۲	۳۷	لوم رسی
۴	تازه‌آباد چراغ‌آباد	دهگلان	۷۱۲۸۳۷	۳۹۰۲۲۸۵	۳۲	۴۱	۲۷	لوم
۵	قلعه	قروه	۷۵۶۰۶۰	۳۸۹۰۶۵۴	۶۶	۲۰	۱۴	لوم شنی-سبک
۶	دلبران	قروه	۷۷۰۴۴۶	۳۹۰۴۶۶۵	۷۳	۱۹	۸	لوم شنی-سبک
۷	کردمیران علیا	دهگلان	۷۱۵۳۹۸	۳۸۸۷۳۱۸	۴۰	۴۷	۱۳	لوم
۸	مظفرآباد	قروه	۷۵۳۷۸۱	۳۹۰۱۳۴۴	۴۷	۲۹	۲۴	لوم-متوسط
۹	جامه شوران	قروه	۷۲۹۱۲۰	۳۸۹۰۹۲۱	۲۹	۴۶	۲۵	لوم-متوسط
۱۰	شعبانی	دهگلان	۷۴۶۴۷۴	۳۸۹۰۲۲۷	۳۰	۴۷	۲۳	لوم
۱۱	شهابیه	قروه	۷۴۹۰۴۱	۳۸۸۸۲۶۶	۴۱	۳۴	۲۵	لوم

محاسبه آب مجازی: مقدار آب مجازی (VWC)[1] در هر محصول به‌صورت نسبتی از متوسط نیاز آبی (CWR) به متوسط عملکرد محصول در سال (CY) با استفاده از رابطه (۶) تعیین شد.

$$VWC = \frac{CWR}{CY} \qquad (۶)$$

میزان عملکرد محصول (CY) با استفاده از داده و آمار معتبر موجود برای منطقه، به‌دست آمد. در ۱۱ مزرعه میزان عملکرد محصولات به‌صورت میدانی اندازه‌گیری شد. در این روش، میزان محصول در چندین نقطه از مرزعه و در سطح یک مترمربع اندازه‌گیری و متوسط آن به‌عنوان عملکرد محصول منظور شد. ضمن این‌که محصول نهایی برداشتی نیز در چند مزرعه مورد استفاده قرار گرفت. در این محاسبات، صرفاً دانه غلات مد نظر قرار گرفت. با توجه به داده‌های آماری که بر مبنای شهرستان می‌باشند، نتایج در سطح حوضه با میانگین‌گیری وزنی عملکرد در دو شهرستان قروه و دهگلان به‌دست آمد. آب مجازی به تفکیک آب سبز مجازی و آب آبی مجازی از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$VWC = VWC_{\mathrm{g}} + VWC_{\mathrm{b}} = VWC_{\mathrm{g}}/CY + VWC_{\mathrm{b}}/CY \qquad (۷)$$

بهره‌وری آب

الف) بهره‌وری فیزیکی: بهره‌وری یا کارایی فیزیکی آب کشاورزی (WPC) برحسب کیلوگرم در متر مکعب، رابطه معکوس با میزان آب مجازی دارد.

[1] Virtual Water Content

ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزی برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب یک گیاه می‌توان به کاربرد، اندازه‌گیری سه عامل عملکرد محصول، مقدار آب آبیاری و مقدار بارش مؤثر در طی فصل است. بهره‌وری فیزیکی از رابطه (۸) محاسبه شد.

$$WPC = \frac{1}{VWC} = \frac{CY}{CWR} = \frac{CY}{Ir_c + p_{ec}} \quad (۸)$$

در این مطالعه، کارایی مصرف آب محصول نسبت به بارش طبیعی (آب سبز) و آب آبیاری (آب آبی مصرفی) به تفکیک تعیین شد. WPC نسبت به آب سبز مصرفی و آب آبی مصرفی با معادله‌های (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$WPC_g = CY/p_{ec} \quad (۹)$$

$$WPC_b = CY/Ir_c \quad (۱۰)$$

ب) بهره‌وری اقتصادی آب: بهره‌وری اقتصادی به این مفهوم اشاره دارد که به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، ارزش ماده تولیدی چقدر است. در این پژوهش، بهره‌وری اقتصادی با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه شد.

$$WP_e = I_N/CWR \quad (۱۱)$$

که در آن، Wpe (یا BPD[1]) و I_N به‌ترتیب بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر متر مکعب) و درآمد ناخالصی است که از فروش یک محصول در یک فصل رشد (به ریال) به‌دست می‌آید. از دیگر شاخص‌های بهره‌وری مورد استفاده شاخص درآمد خالص به ازای حجم آب NBPD[2] است. این شاخص یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی است و در این پژوهش به‌صورت رابطه (۱۲) محاسبه شد.

$$NBPD = (I_N - C_n)/CWR \quad (۱۲)$$

که در آن، Cn هزینه تولید هر محصول است. شاخص دیگر، بهره‌وری اقتصادی آب، ارزش هر واحد آب است که برحسب متر مکعب قیمت یک کیلو از هر محصول به‌وسیله رابطه (۱۳) محاسبه شد.

$$UWV_{cn} = CNY_{cn}/CWR \quad (۱۳)$$

که در آن، UWV_{cn}[3] ارزش اقتصادی هر واحد آب (متر مکعب ریال، قیمت یک کیلو محصول مورد نظر) و CNY_{cn} قیمت محصول C در منطقه n است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴). هزینه و درآمد محصولات مختلف بر اساس آمار رسمی ارائه شده به‌وسیله مرکز آمار کشور مورد استناد قرار گرفته است. در محاسبه میزان کاه تولیدی در محصولات زراعی (گندم و جو) بر اساس شرایط مزرعه در کشت آبی با عملکرد چهار تا شش تن در هکتار به ازای هر کیلو گندم، میزان تولید کاه معادل یک کیلوگرم مد نظر قرار گرفت. این عدد برای محصول جو معادل ۰/۹ کیلوگرم منظور شد (Bakker و همکاران، ۲۰۱۳).

نتایج و بحث

تعیین محصولات غالب منطقه: الگوی کشت محصولات کشاورزی در دو شهرستان قروه و دهگلان و کل حوضه در جدول ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش، صرفاً اراضی آبی مورد مد نظر قرار گرفته است.

جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشتر اراضی حوضه زیرکشت گندم و در مجموع ۹۳/۲۲ درصد از اراضی آبی حوضه تلوار به کشت پنج محصول عمده اختصاص دارد. کمترین سطح زیرکشت به شبدر اختصاص دارد. محصولات خیار و کلزا نیز در سطح بسیار کم در حوضه کشت می‌شود که با توجه به ناچیز بودن درصد اراضی، از احتساب آن‌ها صرف نظر شد.

محاسبه بهره‌وری آب

الف) بهره‌وری فیزیکی: در این پژوهش، رابطه (۸) برای محاسبه بهره‌وری آب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج محاسبات در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴ مقادیر نیاز آبی، بارندگی مؤثر و نیاز آبیاری به تفکیک در سطح دو دشت قروه و دهگلان که از نرم‌افزار CROPWAT برای محصولات عمده زراعی استخراج و برای یک هکتار بر حسب متر مکعب محاسبه شد، نشان داده است. نتایج در مقایسه با بهره‌وری فیزیکی محصولات در سطح حوضه، در شکل ۲ نشان داده شده است.

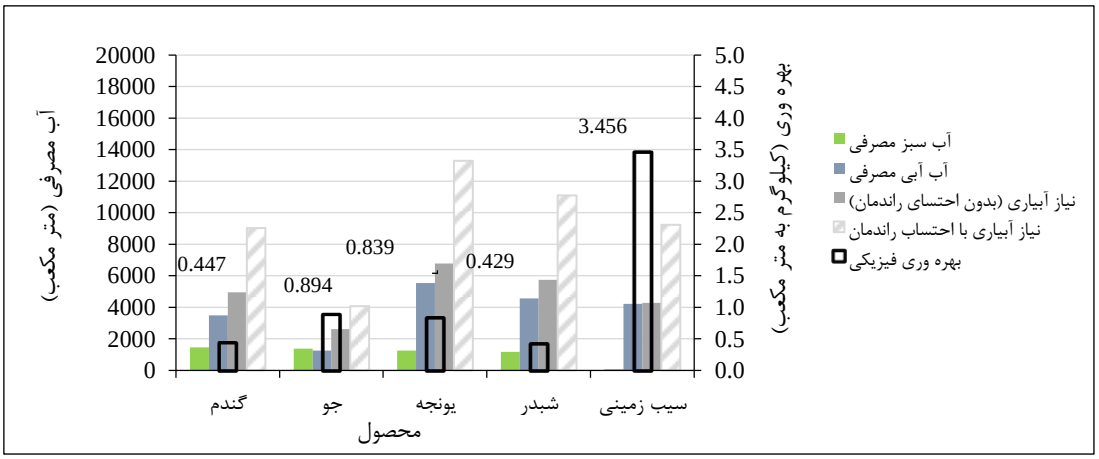
[1] Benefit Per Drop
[2] Net Benefit Per Drop
[3] Unit Water Value

جدول ۳- سطح زیرکشت محصولات عمده کشاورزی در حوضه تلوار

ردیف	نوع محصول	درصد سطح اراضی		
		قروه	دهگلان	حوضه تلوار
۱	گندم	۴۴/۵۰	۳۵/۶۰	۴۰/۸۴
۲	جو	۳/۹۰	۳/۰۰	۳/۵۳
۳	سیب‌زمینی	۲۴/۶۰	۲۹/۵۰	۲۶/۶۱
۴	یونجه	۱۴/۸۰	۲۴/۳۰	۱۸/۷۱
۵	شبدر	۳/۲۰	۴/۰۰	۳/۵۳
۶	جمع	۹۱/۰۰	۹۶/۴۰	۹۳/۲۲

جدول ۴- مقدار نیاز آبی، آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب محصولات عمده زراعی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴

محصول	عملکرد (kg)	نیاز آبی (m^3ha^{-1})			آب مصرفی (m^3ha^{-1})	بهره‌وری آب ($kg\ m^{-3}$)	
		بارندگی مؤثر	نیاز آبیاری	کل		راندمان ۴۶ درصد	بدون احتساب راندمان
دشت دهگلان							
گندم	۴۰۰۱	۳۸۱۷	۳۴۸۹	۴۹۳۸	۹۰۳۴	۰/۴۴	۰/۸۱
جو	۳۷۰۰	۳۱۸۴	۱۲۴۶	۲۶۱۰	۴۰۷۳	۰/۹۱	۱/۴۲
سیب‌زمینی	۳۱۵۱۷	۷۶	۴۲۱۳	۴۲۸۴	۹۲۳۰	۳/۴۱	۷/۳۶
یونجه	۱۱۷۰۰	۳۱۹۱	۵۵۳۹	۶۷۸۱	۱۳۲۸۳	۰/۸۸	۱/۷۳
شبدر	۴۹۹۷	۳۱۹۰	۴۵۶۲	۵۷۴۲	۱۱۰۹۷	۰/۴۵	۰/۸۷
دشت قروه							
گندم	۴۰۵۷	۳۸۱۷	۳۴۸۹	۴۹۳۸	۹۰۳۴	۰/۴۵	۰/۸۲
جو	۳۶۲۱	۳۱۸۴	۱۲۴۶	۲۶۱۰	۴۰۷۳	۰/۸۹	۱/۳۹
سیب‌زمینی	۳۲۳۰۷	۷۶	۴۲۱۳	۴۲۸۴	۹۲۳۰	۳/۵۰	۷/۵۴
یونجه	۱۰۱۶۷	۳۱۹۱	۵۵۳۹	۶۷۸۱	۱۳۲۸۳	۰/۷۷	۱/۵۰
شبدر	۴۷۲۸/	۳۱۹۰	۴۵۶۲	۵۷۴۲	۱۱۰۹۷	۰/۴۳	۰/۸۲



شکل ۲- آب مصرفی و میزان بهره‌وری فیزیکی محصولات مختلف در حوضه تلوار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴

شکل ۲، نشان می‌دهد که یونجه بیشترین و جو کمترین مقدار نیاز آبی را دارد. بیشترین بارندگی (و به تبع آن بارندگی مؤثر) در طول فصل رشد محصول یونجه و شبدر و کمترین مقدار آن در طول فصل رشد سیب‌زمینی اتفاق می‌افتد. با لحاظ کردن بازده آبیاری در نیاز آبی گیاه، مقدار آب مصرفی محصول به‌دست می‌آید. بر این اساس نیز محصول یونجه و جو به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی را دارند. شاخص بهره‌وری فیزیکی آب ($kg\ m^{-3}$) در دو حالت بدون احتساب و با احتساب راندمان آبیاری محاسبه شد. بر

اساس این شاخص سیب‌زمینی بیشترین مقدار بهره‌وری فیزیکی و گندم کمترین مقدار بهره‌وری را دارا است. بهره‌وری محصولات به تفکیک منابع آبی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- سهم منابع مختلف آب در بهره‌وری فیزیکی محصولات زراعی

محصول	بهره‌وری آب سبز ($kg\ m^{-3}$)	بهره‌وری آب آبی ($kg\ m^{-3}$)	بهره‌وری نیاز آبی ($kg\ m^{-3}$)	بهره‌وری فیزیکی آب ($kg\ m^{-3}$)	آب مجازی آبی (m^3kg^{-1})	آب مجازی (m^3kg^{-1})
گندم	۲/۷۹	۱/۱۶	۰/۸۲	۰/۴۵	۰/۸۶۲	۲/۲۴
جو	۲/۶۷	۲/۹۲	۱/۴۰	۰/۸۹	۰/۳۴۲	۱/۱۲
سیب‌زمینی	۴۴۹	۷/۵۷	۷/۴۵	۳/۴۶	۰/۱۳۲	۰/۲۹
یونجه	۸/۹۷	۲/۰۱	۱/۶۴	۰/۸۴	۰/۴۹۷	۱/۱۹
شبدر	۴/۰۳	۱/۰۴	۰/۸۳	۰/۴۳	۰/۹۶۱	۲/۳۳

جدول ۵، نشان می‌دهد که میزان بهره‌وری آب سبز در محصول سیب‌زمینی به نسبت بقیه محصولات بیشتر است. به‌عبارت دیگر، سهم آب سبز در تولید سیب‌زمینی بسیار پایین است. سیب‌زمینی محصولی بهاره است که در طول فصل رشد آن نزولات جوی دارای کمترین مقدار است. از این‌رو، با وجود عملکرد بالا با توجه به مقدار کم آب سبز مصرفی در این محصول، بیشترین نیاز آبی گیاه از منابع آب‌های زیرزمینی حوضه تأمین می‌شود. ضرایب رشد گیاهان (K_c) که بیانگر نحوه و طول رشد گیاهان هستند، بر اساس پارامترهای اقلیمی و تعدیل ضرایب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد گیاه محاسبه و در (FAO، ۲۰۱۵) قابل دسترسی می‌باشند. جدول ۵، همچنین نشان می‌دهد که گندم و شبدر بیشترین سطح آب مجازی را دارا هستند (بیشتر از ۲۵۰۰ متر مکعب در هکتار). عملکرد محصول از عوامل مهم و تأثیرگذار در محاسبه آب مجازی است و سیب‌زمینی به‌دلیل عملکرد بالا در واحد سطح، کمترین مقدار آب مجازی (VW<۱۰۰۰) را دارا است، مقدار آب مجازی دو محصول جو و یونجه در سطح متوسط (۱۰۰۰<VW<۳۰۰۰) قرار دارد. بنابراین، برای مقایسه نتایج باید بیشترین توجه را به نحوه محاسبه این پارامترها داشت. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج تعدادی از دیگر پژوهشگران با لحاظ کردن شرایط پژوهش آن‌ها کم و بیش بیان‌گر همخوانی نتایج است (Vazifeh-Doust و همکاران، ۲۰۰۸؛ Zhang و همکاران، ۲۰۰۸؛ Abbasi و همکاران، ۲۰۱۵).

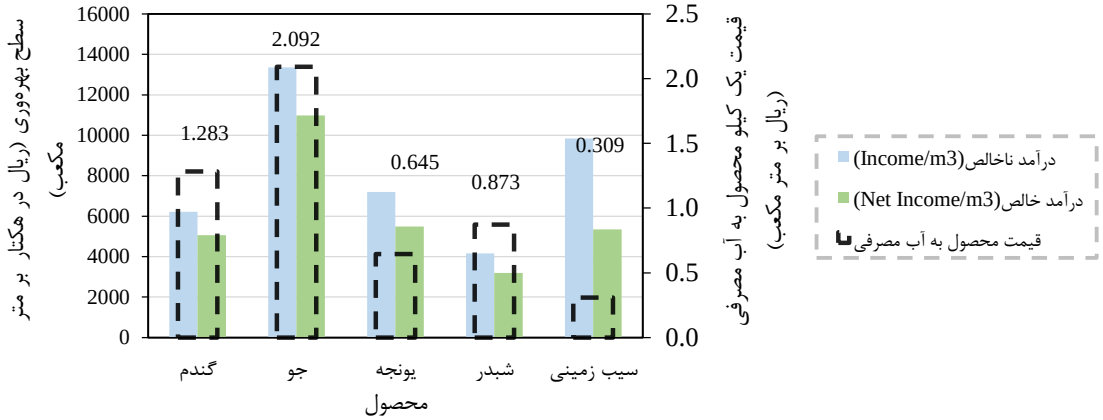
ب) شاخص‌های اقتصادی: نتایج محاسبه شاخص های اقتصادی محصولات در حوضه تلوار در جدول ۶، ارائه شده است. در محاسبه بهره‌وری اقتصادی، علاوه بر غلات، ارزش اقتصادی کاه نیز محاسبه شده است.

جدول ۶- شاخص‌های اقتصادی محصولات زراعی حوضه تلوار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴

محصول	بهره‌وری اقتصادی آب (UWV) ($Price\ m^{-3}$)	بهره‌وری ناخالص اقتصادی (BPD) ($Income\ m^{-3}$)	بهره‌وری خالص اقتصادی آب (NBPD) ($Net\text{-}Income\ m^{-3}$)
گندم	۱/۲۸۳	۶۲۱۰	۵۰۶۶
جو	۲/۰۹۲	۱۳۳۵۷	۱۰۹۸۰
سیب‌زمینی	۰/۳۱	۹۸۵۰	۵۳۴۵
یونجه	۰/۶۴۵	۷۱۹۳	۵۴۹۴
شبدر	۰/۸۷۳	۴۱۵۲	۳۱۹۰

جدول ۶، نشان می‌دهد که از لحاظ بهره‌وری اقتصادی، شاخص قیمت به حجم آب مصرفی (UWV)، گندم و جو به‌دلیل برخوردار بودن از سیاست‌های حمایتی در سطح متوسط

(۱<UWV<۳) و دیگر محصولات دارای بهره‌وری اقتصادی کمتر از واحد (UWV<۱) هستند. یافته‌های Xue و Ren (۲۰۱۶) نیز همین واقعیت را تأیید می‌کند. همچنین، بهره‌وری اقتصادی آب در دو محصول گندم و جو متناسب با نتایج به‌دست آمده از پژوهش Abbasi و همکاران (۲۰۱۵)، Cao و همکاران (۲۰۱۵) و Li و Huang (۲۰۱۰) است که بهره‌وری اقتصادی آب را به‌ترتیب ۱/۲۹، ۱/۳۱۶ و ۱/۲۹۵ در مناطق مختلف گزارش کرده‌اند. شاخص‌های اقتصادی BPD و NBPD نیز نشان می‌دهند، دو محصول جو و سیب‌زمینی بیشترین بهره‌وری و شبدر کمترین مقدار بهره‌وری را دارا می‌باشند. در مورد عملکرد بالای محصول جو توجه به این نکته ضروری است که سطح این محصول در حوضه کم و عملیات زراعی آن با دقت بیشتری انجام می‌شود. ضمن این‌که در سال پایه مورد مطالعه، میزان بارندگی مؤثر این محصول به نسبت مقدار آن در درازمدت بیشتر بوده است. شکل ۳، نشان‌دهنده شاخص‌های اقتصادی در محصولات مورد بررسی است.



شکل ۳- مقایسه شاخص‌های اقتصادی محصولات در حوضه تلوار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴

شکل ۳، نشان می‌دهد که از نظر شاخص اقتصادی درآمد ناخالص به حجم آب مصرفی، محصول جو به‌دلیل برخوردار بودن از سیاست حمایتی و پایین بودن مقدار آب مصرفی، بیشترین بهره‌وری اقتصادی را دارد. کمترین سطح بهره‌وری مربوط به محصولات شبدر و گندم است. شاخص بهره‌وری اقتصادی درآمد خالص به حجم آب مصرفی (NBPD)، یکی از بهترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی و مشابه شاخص (BPD) است. با این تفاوت که در صورت کسر، سود خالص قرار دارد و امکان مقایسه بهتر و درست‌تر را فراهم می‌کند. بر اساس این شاخص نیز بیشترین سطح بهره‌وری مربوط به محصول جو و کمترین سطح مربوط به شبدر است. این نتایج با نتایج Zamani و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

بر اساس شاخص اقتصادی قیمت به مقدار آب مصرفی (UWV)، بیشترین سطح بهره‌وری مربوط به محصول جو و کمترین سطح بهره‌وری مربوط به سیب‌زمینی است. با توجه به شکل ۳، بهره‌وری گندم و جو در سطح متوسط (۱<UWV<۳) و بهره‌وری اقتصادی سایر محصولات کمتر از واحد (UWV<۱) است. بر این اساس، کشت آن‌ها در اولویت‌های بعدی از نظر اقتصادی قرار دارند. در بررسی بهره‌وری اقتصادی محصولات عوامل زیادی مانند هزینه‌های زراعی، زمان (سال زراعی) و نوع بازار محصول در منطقه مورد مطالعه تأثیرگذار هستند. لذا، در مقایسه این پارامترها باید این عوامل را مد نظر قرار داد. نتایج بهره‌وری اقتصادی این پژوهش با نتایج دیگر محققان با لحاظ کردن شرایط پژوهش آن‌ها هم‌خوانی دارد (Karimi و Jolaini، ۲۰۱۷؛ Xue و همکاران، ۲۰۱۷). از مقایسه نتایج این پژوهش با دیگر محققین استنباط شد که سطح بهره‌وری اقتصادی محصولات در حوضه تلوار به نسبت سایر مناطق مورد بررسی، بیشتر است. این موضوع می‌تواند به‌علت تفاوت در سال‌های مورد

مطالعه، تفاوت در هزینه‌ها و درآمدها در هر هکتار باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، میزان آب مصرفی به تفکیک آب سبز و آبی در حوضه تلوار محاسبه و شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب برای محصولات عمده زراعی استخراج شد. بررسی الگو کشت حوضه نشان داد که پنج محصول، گندم، جو، سیب‌زمینی، یونجه و شبدر بیش از ۹۳ درصد از سطح زیرکشت محصولات آبی حوضه را تشکیل می‌دهند. محصول گندم با ۴۱ درصد بیشترین سطح زیرکشت را دارا است. مهمترین نتایج این پژوهش نشان داد که:

۱- نیاز خالص آبیاری در گندم ۳۴۸/۹، جو ۱۲۴/۶، یونجه ۵۵۳/۹، شبدر ۴۵۶/۲ و برای سیب‌زمینی این مقدار معادل ۴۲۱/۳ میلی‌متر در سال محاسبه شد. میزان آب مصرفی این محصولات به‌ترتیب برابر با ۴۹۳۸، ۲۶۱۰، ۶۷۸۱، ۵۷۴۲ و ۶۷۸۱ متر مکعب در سال به‌دست آمد.

۲- بیشترین بارندگی مؤثر در طول فصل رشد محصول یونجه و شبدر و کمترین مقدار آن در طول فصل رشد سیب‌زمینی اتفاق می‌افتد. از لحاظ عملکرد در واحد سطح سیب‌زمینی بیشترین مقدار و جو کمترین مقدار عملکرد را دارا می‌باشند.

۳- نتایج بهره‌وری فیزیکی محصولات نشان داد که این مقادیر برای گندم ۰/۴۵، جو ۰/۸۹، سیب‌زمینی ۳/۴۶، یونجه ۰/۸۴ و شبدر ۰/۴۳ کیلوگرم ماده خشک بر متر مکعب آب است. سیب‌زمینی بیشترین مقدار بهره‌وری (کمترین مقدار آب مجازی) و شبدر و گندم کمترین مقدار بهره‌وری (بیشترین مقدار آب مجازی) را دارا هستند.

۴- بهره‌وری اقتصادی محصولات مورد مطالعه، بر اساس میزان درآمد بر متر مکعب آب مصرفی به‌صورت: گندم ۱/۲۸۳، جو ۲/۰۹۲، سیب‌زمینی ۰/۳۱، یونجه ۰/۶۴۵ و شبدر ۰/۸۷۳ به‌دست آمد.

با وجود این‌که گندم بیشترین سطح زیرکشت و عملکرد پایینی دارد، بخش زیادی از آب مصرفی گندم آب سبز است. حال آن‌که سیب‌زمینی کمترین مقدار آب سبز را مصرف می‌کند. آنچه قابل توجه است، این است که میزان سطح اراضی تحت کشت در منطقه مورد مطالعه تطابق مناسبی با بهره‌وری اقتصادی دارد. به این مفهوم که محصولات گندم و سیب‌زمینی و یونجه دارای بیشترین بهره‌وری اقتصادی و به‌تبع آن بیشترین سطح زیرکشت در حوضه می‌باشند. به‌عبارت دیگر، کشاورزان بر اساس سود به‌دست آمده نحوه کشت را مشخص می‌کنند. از این‌رو، تغییر الگوی کشت فعلی نمی‌تواند مورد استقبال کشاورزان قرار گیرد. آن‌چه در این راستا، قابل پیشنهاد است، لزوم جایگزین کردن محصولات متفاوت با الگوی کشت فعلی در منطقه است. در این راستا، کاشت محصولاتی با ارزش اقتصادی بالاتر از جمله کلزا، زعفران و کشت ترکیبی از محصولات باغی و زراعی که بتواند جایگزین کشت فعلی شود، در صورت سازگاری با شرایط منطقه، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., A. Nasseri, F. Sohrab, J. Baghati, N. Abbasi and M. Akbari. 2015. Investigating the role of processes in improving agricultural water productivity in Iran. Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences), 31(2): 163-180 (in Persian).
2. Abbasi, F., F. Sohrab and N. Abbasi. 2017. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 17(67): 113-120.
3. Abbasi, F, N. Abbasi and A. Tavakoli. 2017. Water productivity in agriculture; challenges and perspectives. Water and Sustainable Development, 4(1): 144-141 (in Persian).
4. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smit. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper, 56 pages.
5. Amini, A. and A. Hesami. 2017. The role of land use change on the sustainability of groundwater resources in the eastern plains of Kurdistan, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 189 (6): 297-305 (in Persian).
6. Amini, A., R. Heydari and H. Faghih. 2015. The climate zoning role on net irrigation requirement determination of orchards in Kurdistan Province, Iran. Agroecology Journal, 10(1):1-13 (in Persian).

7. Baghestani, A. and H. Mehrabi Bashr-Abadi. 2007. The concept of virtual water and its application in determining the pattern of Iranian agricultural trade. The 9th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, 5-7 February Kerman, Iran.
8. Cao, X., Y. Wang, P. Wu and X. Zhao. 2015. Water productivity evaluation for grain crops in irrigated regions of China. Ecological Indicators, 55: 107–117.
9. Dehghanisanij, H., T. Oweis and A.S. Qureshi. 2006. Agricultural water use and management in arid and semi-arid areas: current situation and measures for improvement. Annals of Arid Zone, 45(3-4):355-378.
10. Faryabi, A., E. Maroufpoor and H. Ghamarnia. 2011. Investigation and evaluation of solid-set systems in Dehgolan Plain of Kurdistan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 14(54): 1-16.
11. Javan, J. and M. Fal-Soleiman. 2008. Water crisis and importance of water productivity in agriculture in dry area of Iran, case study: Birjand Plain. Geography and Development Iranian Journal, 26(11): 115-138 (in Persian).
12. Karimi, M. and M. Jolaini. 2017. Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad Plain (technical note). Water and Sustainable Development, 4(1): 133-138 (in Persian).
13. Keshavarz, A. and H. Dehghani-Sani. 2012. Water productivity index and future agricultural strategy of the country. Economic Strategic Quarterly, 1(1): 199-233.
14. Li, B. and F. Huang. 2010. Trends in China's agricultural water use during recent decade using the green and blue water approach. Advances in Water Resources, 21: 575–583.
15. Nasseri, A., F. Abbasi and M. Akbari. 2017. Estimating agriculture water consumption by analyzing water balance. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 18(67): 17-32 (in Persian).
16. Vazifeh-Doust, M., A. Alizadeh, G. Kamali and M. Feyzi. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops in Borkhar irrigation district, Isfahan. Journal of Water and Soil, 22(2): 484-495 (in Persian).
17. Verdinejad, V.R., T. Sohrabi, N. Heydari, S.H. Araghinejad and A.R Mamanpoush. 2009. Assessing irrigation water supply and demand and estimation of crop water productivity in the Zayandehrud Basin, case study: Abshar Right irrigation network. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(3): 88-99 (in Persian).
18. Xue, J. and L. Ren. 2016. Evaluation of crop water productivity under sprinkler irrigation regime using a distributed agro-hydrological model in an irrigation district of China. Agricultural Water Management, 178: 350–365.
19. Xue, J., H. Guan, Z. Huo, F. Wang, G. Huang and J. Boll. 2017. Water saving practices enhance regional efficiency of water consumption and water productivity in an arid agricultural area with shallow groundwater. Agricultural Water Management, 194: 78–89.
20. Zamani, O., A. Mortazav and H. Balali. 2015. Economical water productivity of agricultural products in Bahar Plain, Hamadan. Journal of Water Research in Agriculture, 28(1): 51-62 (in Persian).
21. Zhang, C., E.A. McBean and J.A. Huang. 2014. Virtual water assessment methodology for cropping pattern investigation. Water Resources Management, 28: 2331–2349.
22. Zhang, J., G. Li and Z. Han. 2008. Sino-US irrigation water use efficiencies of main crops. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 24(11): 46–50.