نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۷۸-۱۶۷

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 167-178

مقاله پژوهشی

ارزیابی ردپای آب مجازی محصولات زراعی، دامی و نهاده‌های مصرفی کشاورزی (مطالعه موردی: استان قم)

طیبه خلیلی[۱]- مهدی سرائی تبریزی[۲*]- حسین بابازاده[۳]- هادی رمضانی اعتدالی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

چکیده

مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌خصوص در بخش کشاورزی بسیار مهم می‌باشد. مطابق بیلان آب استان قم در حدود ۹۰ درصد از منابع آب در این منطقه در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد. در این مطالعه ردپای آب مجازی محصولات زراعی، دامی و نهاده‌های مصرفی در بخش کشاورزی به‌منظور کاهش فشار و حفظ منابع آبی موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در بخش زراعی با استفاده از نرم‌افزار NETWAT نیاز آبی گیاهان محاسبه و با استفاده از فرمول مکانن و هوکسترا که در سال ۲۰۱۰ ارائه شده‌است، ردپای آب مجازی محصولات زراعی در میانگین ده ساله محاسبه شد. نتایج نشان داد که به دلیل پایین بودن راندمان سامانه آبیاری حجم ردپای آب سفید که به تلفات آبیاری اشاره دارد در محصولات استان بسیار بالا تخمین زده شد، سهم ردپای آب سفید در محصولات جو، گندم، یونجه، پیاز، گوجه فرنگی، خربزه و ذرت به‌ترتیب برابر ۵۵ درصد، ۴۹ درصد، ۴۸ درصد، ۵۱ درصد، ۴۶ درصد، ۵۴ درصد و ۳۷/۵ درصد از سهم کل ردپای آب محاسبه شده است. همچنین ردپای آب سبز به دلیل کمبود میزان بارش در استان قم بسیار ناچیز برآورد شد. ردپای آب سبز در محصولات جو و گندم نسبت به سایر محصولات بیشتر بود که علت این امر همپوشانی فصل کشت و بارندگی بوده است، سهم ردپای آب سبز در محصول جو ۱۲ درصد و در گندم برابر ۱۱ درصد از سهم کل ردپای آب بود. در بخش دامی، ردپای آب در مشتقات دام و طیور با استفاده از روش هوکسترا و مکانن، ۲۰۱۰ محاسبه و با متوسط ردپای آب در کشورهای مختلف مقایسه شد. نتایج در بخش دامی نشان داد که ردپای آب مجازی در تولید گوشت قرمز و شیر به‌ترتیب ۳۹ متر مکعب بر کیلوگرم و ۲/۴۲ متر مکعب بر لیتر تخمین زده شد. همچنین ردپای آب مجازی در گوشت مرغ و تخم‌مرغ به‌ترتیب ۷/۴ و ۴/۳۴ متر مکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. در بخش نهاده‌های مصرفی، ردپای آب در کود (ازته، فسفاته، پتاسه و سایر کودها) برای اولین بار مورد توجه قرار گرفت. در بخش نهاده‌های مصرفی، ردپای آب مجازی در کود تولیدی برخی از محصولات با استفاده از اطلاعات پرسشنامه محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که مجموع ردپای آب مجازی کود مصرفی برای تولید محصولات گندم، جو، پنبه و یونجه به‌ترتیب ۲/۶۲، ۱/۱۹، ۱/۰۷ و ۲/۵۴ متر مکعب بر کیلوگرم تخمین زده شد. سهم کودهای ازته در تولید محصول گندم، یونجه، پنبه و جو به‌ترتیب ۵۴، ۵۹، ۶۸ و ۶۰ درصد از سهم ردپای آب کل در کود مصرفی را تشکیل می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، ردپای آب سبز، مدیریت منابع آب

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و به‌تبع آن افزایش نیاز به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که بشر امروز با آن مواجه است و همین موضوع لزوم استفاده از راهکارها و ابزارهای مدیریتی در بخش منابع آب را ضروری می‌سازد (۱۶). مطالعات نشان می‌دهد که در سال ۱۹۵۰، ۱۲ کشور در جهان با جمعیتی در حدود ۲۰ میلیون نفر با کمبود آب مواجه بوده‌اند. با گذشت ۴۰ سال این رقم به ۲۶ کشور با جمعیتی در حدود ۳۰۰ میلیون نفر افزایش پیدا کرد و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ تعداد ۶۵ کشور با جمعیتی بیش از ۷ میلیارد نفر با کمبود آب مواجه گردند. در حال حاضر جمعیتی در حدود ۸۴۰ میلیون نفر در جهان در شرایط کمبود غذایی به سر می‌برند که عمده‌ی این جمعیت

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته منابع آب، استادیار و استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.sarai@srbiau.ac.ir)

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2021.14826.0

یعنی رقمی در حدود ۸۰۰ میلیون نفر در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند (۷). مفهوم آب مجازی[1] برای اولین بار در سال ۱۱۹۰ توسط آلن مطرح شد، مقدار آبی که یک محصول از لحظه شروع فرآیند تولید تا پایان آن مصرف می‌نماید (۲). تجارت آب‌مجازی طی دو دهه اخیر در جهان توسعه معنی‌داری داشته و به همراه خود مسئله امنیت غذایی را از محدوده کشورها به عرصه‌های بین‌المللی گسترش داده است. تولید انبوه و ارزان‌تر کالاهای اساسی در مناطق مستعد با استفاده از آب سبز و تولید محصولات گران‌تر برای صادرات با آب آبی و سبز از جمله خصوصیاتی است که تجارت آب‌مجازی با خود به همراه دارد. کشورهای خاورمیانه و شمال افریقا به دلیل شرایط اقلیمی نامساعد ظرف ۲۵ سال منتهی به سال ۲۰۱۰ به طور متوسط سالانه ۱۶۶/۵ کیلومتر مکعب (۱۷ درصد از منابع آبی جهان) واردات آب‌مجازی داشته‌اند که ۹۰ درصد از آن از منابع آب سبز و فقط ۱۰ درصد از آن از منابع آب آبی تولید گردیده است (۳). محصولات گوشتی و لبنی آب بیشتری نسبت به محصولات گیاهی مصرف می‌کنند که دلیل آن میزان تغذیه، شرب و خدمات آبی مورد نیاز حیوانات است (۵). مکانن و هوکسترا (۱۰) نشان دادند که در حدود ۹۶ درصد ردپای آب بشر به مسائلی همچون تولیدات محصولات دامی، زراعی و باغی مرتبط است و تنها ۴ درصد ردپای آب بشر شامل آب استفاده شده در خانه است. این بدان معنی است که برای کاهش ردپای آب، تغییر الگوی مصرف و رژیم غذایی از اولویت بیشتری در مقابل راهکارهای کاهش مصرف آب در آشپزخانه، حمام و ... برخوردار می‌باشد. ردپای آب[2] شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم برای تولید یک کالا مصرف می‌گردد. این شاخص شامل کل آب مصرف‌شده در فرآیند تولید محصول می‌باشد.

در یک پژوهش، آبابائی و رمضانی اعتدالی میانگین مجموع ردپای محصول گندم در ایران را طی یک دوره ۵ ساله ۳۰۸۸ و ۳۰۷۱ به‌ترتیب برای گندم آبی و دیم برآورد کردند (۱). در پژوهشی دیگر، اسچینز و همکاران حجم ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی کشور اردن را برای ردپای آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب معادل ۴۹۳، ۴۰۶ و ۵۴/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد کردند، ایشان میزان آب سطحی و زیرزمینی در ردپای آب آبی در بخش کشاورزی را به‌ترتیب ۱۴۳ و ۲۶۳ میلیون مترمکعب گزارش کردند (۱۵). پژوهش‌های زیادی در خصوص تعیین ردپای آب در سطح استانی نیز گزارش شده‌است که از جمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده کشت شده در حوضه پایاب رودان استان هرمزگان اشاره کرد، که با توجه به نتایج به‌دست آمده، کشت صیفی جات در این منطقه پیشنهاد شده‌است (۴). آبابایی و همکاران، ردپای آب در تولید محصول جو را در ۱۵ استان منتخب که بیشترین تولید جو کشور را به خود اختصاص داده‌بودند را بررسی کردند، در بین ۱۵ استان منتخب مجموع ردپای آب جو در اراضی فاریاب ۳۲۰۹ میلیون مترمکعب بر تن است که سهم آب‌های سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب معادل ۲۰، ۲۶، ۱۸، ۳۶ درصد از مجموع ردپای آب در این اراضی است (۱). مطالعات صورت گرفته در مورد آب‌مجازی در محصولات کشاورزی از گستردگی و عمق نسبتاً مناسبی برخوردار است و شامل همه سطوح بین‌المللی، ملی و منطقه‌ای می‌باشد اما در بخش دام و طیور با وجود آن‌که ردپای آب مصرف شده بیشتر از بخش کشاورزی است مطالعات کم‌تری صورت گرفته است. هوکسترا در سال ۲۰۱۲ بیان کرد مصرف محصولات دامی بیش از یک چهارم از ردپای آب در زندگی انسان‌ها را شامل می شود. آب مورد نیاز برای تولید غذا یکی از فاکتورهای مهم ردپای آب محصولات دامی است، بر این اساس بررسی ترکیبات مختلف غذایی و مواد خوراکی برای یافتن راه‌هایی برای کاهش آب مصرفی در گوشت و لبنیات ضروری است (۶). متوسط مصرف آب در جهان برای محصولات دام و طیور عبارتند از: ۴۳۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشت مرغ، ۵۵۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشت بز، ۱۰۴۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشت گوسفند و ۱۵۴۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشت گاو. دلیل این امر وجود تفاوت در حجم و نوع تغذیه دام و طیور است (۱۱). بیشترین حجم ردپای آب مصرفی در حیوانات مربوط به تغذیه‌ی آن‌ها و معادل ۹۸ درصد می باشد در حالی‌که ۱/۱ درصد مربوط به آشامیدن دام، ۰/۸ در صد مربوط به سرویس‌ها و تنها ۰/۱ در صد برای میکس غذایی دام می‌باشد (۶).

مطابق بیلان آب استان قم، حدود ۹۰ در صد از منابع آبی استان در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد و به‌همین دلیل مفهوم ردپای آب در بخش کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد، بررسی ردپای آب در بخش کشاورزی کمک شایانی به درک بهتر از شرایط کنونی و بهبود وضعیت منابع آبی موجود به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد (۸). هدف از مطالعه حاضر، برآورد ردپای آب در بخش زراعی، دامی و نهاده‌های مصرفی از جمله کود در استان قم می‌باشد. علاوه‌بر بخش زراعی و دامی، در پژوهش حاضر برای اولین بار محاسبه ردپای آب نهاده‌های مصرفی مثل کود در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان قم در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور واقع شده و دارای آب و هوای گرم و خشک است. قسمت‌های جنوب و غرب استان پوشیده از کوه‌های مرتفع است که با آب و هوای معتدل جایگاه

1- Virtual water

2- Water footprint

مناسبی را برای کشاورزی استان فراهم آورده است. مطابق بیلان آب دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای استان قم و با توجه به اینکه حدود ۹۰ در صد از منابع آبی استان در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مفهوم ردپای آب مجازی در کشاورزی حائز اهمیت است. بررسی اجزاء مختلف ردپای آب مجازی و تعیین سهم هریک اجزا در بخش کشاورزی، کمک شایانی به درک بهتر از شرایط کنونی و بهبود منابع آبی موجود به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (۸).

داده‌های مورد نیاز این تحقیق در بخش زراعی شامل سطح زیر کشت، تولید و عملکرد محصولات زراعی استان قم در بازه‌ی زمانی (۱۳۹۵-۱۳۸۵) که از آمارنامه جهاد کشاورزی قابل استخراج می‌باشد. داده‌های مورد نیاز در بخش دامی شامل تعداد دام و طیور، مقادیر تولیدات گوشت قرمز، سفید، شیر و تخم‌مرغ، جیره غذائی دام و طیور می‌باشد که در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شده است. در بخش نهاده‌های مصرفی، اطلاعاتی در خصوص مقدار کودهای ازته، فسفاته و پتاسه که به‌ازای تولید هر تن محصول زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، همچنین استفاده از پرسشنامه در کارخانه‌های تولید کود در رابطه با میزان آب مصرفی برای تولید هر تن کود که در نهایت برای تعیین ردپای آب کود استفاده شد.

بخش زراعی

ردپای آب آبی، همان نیاز خالص یا حجم آبی که به‌طور مستقیم در تولید محصول استفاده می‌شود اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی مرتبط است. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب که برای رقیق کردن کودهای مورد نیاز محصول طی فرآیند تولید اشاره دارد (۹). مفهوم ردپای آب سفید، توسط آبابایی و رمضانی اعتدالی به‌عنوان حجم آبی که تلفات آبیاری را مشخص می‌کند ارائه گردیده است (۱). اجزاء ردپای آب محصولات زراعی استان قم با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه شد:

$$WF_{Green} = \frac{P \times 10}{Y} \quad (۱)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(Et\text{-}p)}{Y} \quad (۲)$$

$$WF_{Gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_m - C_n} \times \frac{1}{Y} \quad (۳)$$

$$WF_{White} = \frac{10 \times (D-(ET-P))}{Y} \quad (۴)$$

در روابط فوق، WF_{Green} ردپای آب سبز، WF_{Blue} ردپای آب آبی، WF_{Gray} ردپای آب خاکستری و WF_{White} ردپای آب سفید بر حسب m^3/ton می‌باشد. P_e بارندگی موثردر طول دوره رشد گیاه (mm)، ET_c تبخیر و تعرق هر گیاه در طول دوره رشد (mm)، Y عملکرد هر محصول (ton/ha)، α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR نرخ مصرف کود برای هر گیاه (kg/ha)، C_m غلظت بحرانی نیتروژن (kg/m^3)، C_n غلظت واقعی نیتروژن (kg/m^3)، D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول دوره رشد (mm) و ۱۰ فاکتور تبدیل از mm به m^3/ha می‌باشد. مقادیر بارش و تبخیر و تعرق با استفاده از مدل NETWAT محاسبه شد. همچنین مقادیر α در شرایط دیم و فاریاب به‌ترتیب ۵ و ۱۰ درصد در نظر گرفته‌شد (۹). در این مطالعه ردپای آب خاکستری فقط برای کودهای نیترون به‌کار گرفته شد. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت کننده بر اساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ mg/lit است. مقدار غلظت واقعی نیتروژن برابر صفر در نظر گرفته‌شد (۹).

بخش دامی

برای محاسبه ردپای آب در مشتقات دام و طیور لازم است ابتدا ردپای آب در دام و طیور زنده محاسبه گردد. هر حیوان زنده سه مولفه‌ی ردپای آب‌مجازی دارد که عبارتند از: مقدار آب مورد نیاز برای رشد و مصرف غذا، سرویس و نظافت، نوشیدن و آماده کردن غذای حیوان. رابطه ۵ برای محاسبه ردپای آب مجازی در حیوان زنده ارائه شده است (۱۱):

$$VWC_a = VWC_{feed} + VWC_{drink} + VWC_{service} \quad (۵)$$

در رابطه بالا، VWC_a، نشان دهنده‌ی محتوای آب‌مجازی در واحد مترمکعب/حیوان زنده است. مقدار ردپای آب‌مجازی از مصرف خوراک VWC_{feed} شامل دو بخش است. نخست، مقدار آبی است که برای مخلوط کردن خوراک استفاده می‌شود. دوم، ردپای آب‌مجازی مواد مختلف غذایی است که حیوان مصرف می‌کند. VWC_{drink} ردپای آب‌مجازی در نوشیدن و $VWC_{service}$ ردپای آب‌مجازی برای سرویس و نظافت است. در جدول زیر مصرف مواد غذائی مختلف توسط دام و طیور بر حسب کیلوگرم در سال ارائه شده است. مصرف مواد غذائی مختلف توسط دام و طیور بر حسب کیلوگرم ارائه شده است. مصرف مواد غذائی مختلف توسط دام و طیور بر حسب کیلوگرم ارائه شده‌است.

ردپای آب‌مجازی گوشت در بخش نوشیدن، مقدار آب آشامیدنی در تمام طول عمر یک راس دام و طیور است که برای هر کیلوگرم حیوان زنده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۱).

$$VWC_{drink} = \frac{\int_{brith}^{slaughter} q_{drink}\, dt}{w_a} \quad (۶)$$

در رابطه‌ی بالا q_{drink} آب آشامیدن مورد نیاز حیوان بر حسب لیتر در روز است و w_a وزن حیوان زنده در پایان زندگی حیوان بر حسب کیلوگرم می‌باشد. مقدار آب لازم برای تمیز کردن حیوان و شست و

شوی محل نگهداری دام و طیور از رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$VWC_{service} = \frac{\int_{brith}^{slaughter} q_{service} dt}{w_a} \quad (۷)$$

در این رابطه $q_{service}$ آب م صرف شده برای نظافت دام و طیور و مکان نگهداری ا ست و w_a وزن حیوان زنده در پایان حیات بر ح سب کیلوگرم ا ست (۱۱). در جدول ۲ میزان تولیدات دام و طیور ارائه شده است.

جدول ۱- میزان مواد غذائی مصرفی دام و طیور (کیلوگرم در سال)

Table 1- The amount of food consumed by livestock and poultry (kg in year)

نوع علوفه Forage type	دام سنگین Heavy trape	دام سبک Light trape	مرغ گوشتی Meat chicken	مرغ تخم‌گذار Laying hens
جو Barley	1010	210	0.8	0.6
ذرت علوفه‌ای Forage corn	3845	3720	5	4
ذرت دانه‌ای Maize	110	32		
کنجاله سویا و تخم پنبه Meal	450	62	4	2
گندم Wheat			3	2
یونجه Alfalfa	1000	298	2	1.5
کاه Straw	190	1135		
اوره Urea	0.75	10		
علوفه مراتع Rangeland forage	190	60		
مکمل Complement	85	8		

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قم

Source: Qom Agricultural Jihad Organization

جدول ۲- میزان تولید سالانه مشتقات دام و طیور

Table 2- Annual production of livestock and brely

نوع دام و طیور Type	تعداد دام و طیور Number	تولید (تن) Production(ton)
دام سنگین Heavy trap	160320	34490
دام سبک Light trap	83600	145494
مرغ گوشتی Meat chicken	5704780	36541
مرغ تخم‌گذار Laying hens	8219630	68501

مأخذ: آمارنامه جهاد کشاورزی استان قم

Source: Statistics of Qom Agricultural Jihad Organization

جدول ۳- میزان کود مصرفی (کیلوگرم در هکتار)

Table 3- The amount of fertilizer used

محصول Product	مقدار کود ازته Nitrogen kg/ha	مقدار کود فسفاته Phosphate kg/ha	مقدار کود پتاسه Potassium kg/ha	سایر کودها Other kg/ ha	جمع Plurals kg/ha
گندم Wheat	497.38	197.08	220.43	7.29	923.63
جو Barely	250.78	133.97	36.33	1.16	422.48
پنبه Cotton	255.55	122.22	0	0	377.77
یونجه Alfalfa	522.65	216.86	115.2	42.93	851.71

مأخذ: جهاد کشاورزی استان قم

Source: Qom Agricultural Jihad Organization

بخش نهاده‌های مصرفی (کود)

در بخش ردپای آب محصولات زراعی، آب خاکستری تا حدودی بحث ردپای آب را در بخش کودهای نیتروژن‌دار مورد توجه قرار داد. اما با توجه به کودهای مصرفی استان که شامل فسفاته، پتاسه و ازته می‌باشد و گاهی سایر کودها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، لازم است تا حدودی مفصل‌تر به این مقوله پرداخت و با توجه‌به اینکه موضوع ردپای آب در کود تا به‌حال مورد توجه قرار نگرفته است موضوع جدیدی در رابطه با محاسبات ردپا محسوب می‌گردد. کود کامل در واقع ترکیبی از کودهای فسفاته، ازته و پتاسه با واحدهای یکسان می‌باشد. برای محاسبه ردپای آب در کود از پرسشنامه استفاده شد و با استفاده از اطلاعات حاصل از پرسشنامه میزان آب مصرفی برای تولید یک واحد کود استخراج شد. در جدول زیر میزان کود مصرفی برای ۴ محصول مهم زراعی استان قم نشان داده شده است.

نتایج و بحث

ردپای آب در بخش زراعی

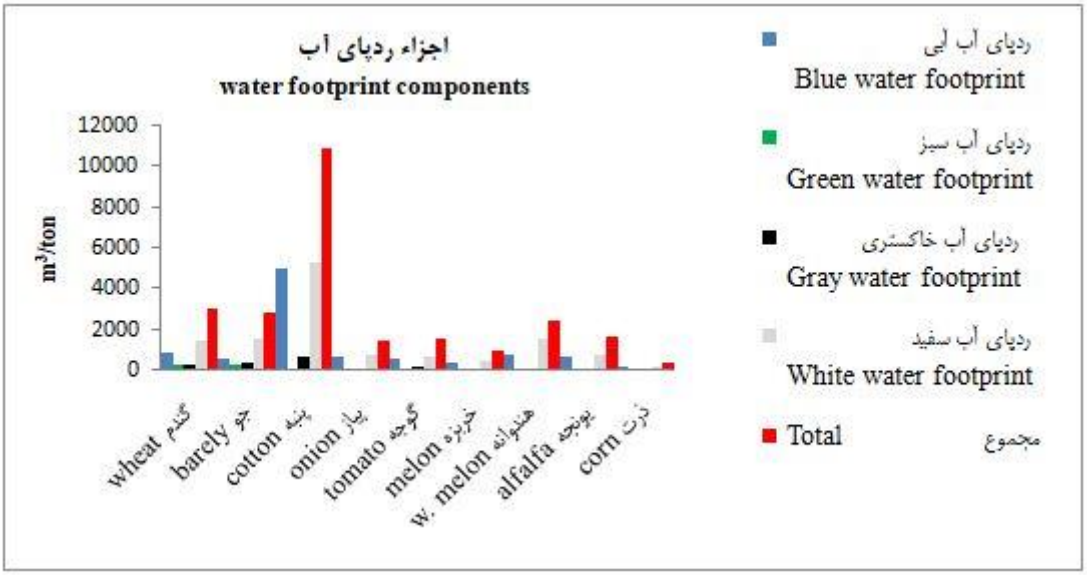
در جدول ۴ میانگین ۱۰ ساله اجزاء ردپای فیزیکی آب در تولید محصولات زراعی استان قم برآورد شد. با توجه به جدول، گندم و جو دارای سهم ردپای آب سبز بالاتری نسبت به سایر محصولات می باشند که علت این امر تقارن فصل کشت با فصل بارندگی منطقه می‌باشد که سبب بالا بودن میزان ردپای آب سبز محصولات مذکور نسبت به سایر محصولات شد. مقدار کل ردپای آب در گندم و جو به ترتیب ۳۰۱۸ و ۲۸۸۲ متر مکعب بر تن برآورد شد، سهم ردپای آب سفید در این دو محصول ۱۴۶۱ و ۱۵۸۰ متر مکعب بر تن است که حدود ۴۹ درصد و ۵۵ درصد از سهم کل ردپای آب می‌باشد که خود گواه بر یکسان بودن مدیریت آب در مزرعه می‌باشد، همچنین سهم ردپای آب خاکستری در دو محصول به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد نسبت به میانگین کل ردپا محاسبه شد. به‌دلیل بالاتر بودن نیاز خالص آبی گندم نسبت به جو سهم ردپای آب آبی گندم بالاتر از جو برآورد شد. دو محصول گندم و جو از نظر سهم هر یک از اجزای ردپای آب تفاوت چندانی باهم ندارند که علت این امر را می‌توان برابر بودن میزان تقریبی مقادیر کود، باران مؤثر، عمق آبیاری، تبخیر و تعرق دانست. پنبه دارای بیشترین سهم ردپای آب سفید در بین سایر محصولات زراعی می‌باشد که علت آن را می‌توان با توجه به پایین بودن راندمان سامانه آبیاری و تلفات بسیار بالا توجیه نمود. بالا بودن سهم ردپای آب آبی پنبه مربوط به نیاز آبی خالص بسیار بالای این محصول می‌باشد. سهم ردپای خاکستری و سفید در محصولات پیاز (۲۴، ۷۴۱)، گوجه فرنگی (۱۹۷، ۷۱۰)، خربزه (۶۳، ۵۱۷) و یونجه (۱۴، ۸۱۴) تقریبا یکسان می‌باشد که علت این امر یکسان بودن راندمان و مصرف کود در مزرعه می‌باشد. مقادیر سهم ردپای آب سبز در محصولات مذکور به شدت پایین می‌باشد که علت این امر کمبود شدید میزان بارش در فصل رشد محصولات (بهار تا اوایل پاییز) می باشد. بعد از پنبه هندوانه دارای بالاترین میزان ردپای آب سفید در میان محصولات می‌باشد، همچنین سهم ردپای آب آبی در این محصول معادل ۳۲ درصد از سهم کل ردپا می‌باشد، مقدار ردپای آب سبز در هندوانه نیز به‌دلیل پایین بودن مقادیر بارش ناچیز می‌باشد. ذرت دارای پایین‌ترین مقدار ردپای آب در میان محصولات می‌باشد، سهم ردپای آب سفید در این محصول از سایر محصولات پایین‌تر و حدود ۳۸ درصد از سهم کل ردپا را به خود اختصاص داد، سهم ردپای آب آبی ۴۹ درصد و سهم ردپای آب خاکستری ۱۳ درصد مقدار کل ردپا را شامل شد. با توجه به میزان پایین بارندگی در استان قم و همچنین سطح زیر کشت بسیار ناچیز دیم، از برآورد اجزاء ردپای آب در محصولات دیم صرفنظر شد. با توجه به جدول ۴ سهم هریک از اجزاء ردپای آب نشان می‌دهد که سهم آب سبز در تولید محصولات استان بسیار ناچیز و کم‌تر از سایر اجزا می‌باشد، که علت این موضوع کم بودن متوسط بارش در استان است (۸). شکل ۱ سهم هریک از اجزاء ردپای آب را در تولید محصولات زراعی استان قم نشان می‌دهد، با توجه به شکل ۱ با صرفنظر از ردپای آب خاکستری، سهم ردپای آب سبز در تولید محصولات زراعی استان قم ۱۳ درصد می‌باشد که

نشان‌دهنده ناچیز بودن بارش در فصل رشد محصولات می‌باشد که این مسئله خود گواه بر فشار بیشتر به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه برای آبیاری محصولات کشاورزی است. سهم ردپای آب آبی ۳۲ درصد از سهم کل ردپا و سهم ردپای آب سفید ۵۵ درصد از سهم کل ردپای آب در تولیدات استان قم را شامل شد. با توجه به شکل ۱ حدود ۹۷ در صد از سهم ردپای آب در تولیدات استان با دو جزء سفید و آبی تامین می‌گردد و با توجه به سیاست کاهش سهم آب کشاورزی از منابع آب سطحی، آب مورد نیاز در این بخش از منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌گردد که نهایتا سبب برداشت بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی و کاهش سطح آب زیرزمینی می‌گردد.

جدول ٤- میانگین ۱۰ ساله ردپای محصولات زراعی

Table 4- The average ten-years of footprint in crops

محصول Product	کود Fertilizer	عمق D_t	تبخیر ET_c	بارش P_e	ردپای –سبز Gray f.	ردپای آبی Blue f.	ردپای خاکستری Gray f.	ردپای سفید White f.
	kg/ha	mm					m^3/ton	
گندم Wheat	200	745	334	133	321	916	320	1461
جو Barely	230	650	234	119	340	544	418	1580
پنبه Cotton	280	2050	955	27	20	4989	684	5267
پیاز Onion	60	1800	884	23	18	680	24	741
گوجه Tomato	380	1600	750	37	38	580	197	710
خربزه Melon	223	1550	672	37	21	359	63	517
هندوانه W.meln	220	1550	752	39	29	790	85	1600
یونجه Alfalfa	25	1750	1074	149	135	720	14	814
ذرت Corn	420	1100	719	6	0	202	58	156



شکل ۱- میانگین ۱۰ ساله سهم اجزاء ردپای آب در محصولات زراعی استان قم

Figure 1- The average ten-years of footprint components in agricultural crops

ردپای آب در بخش دام

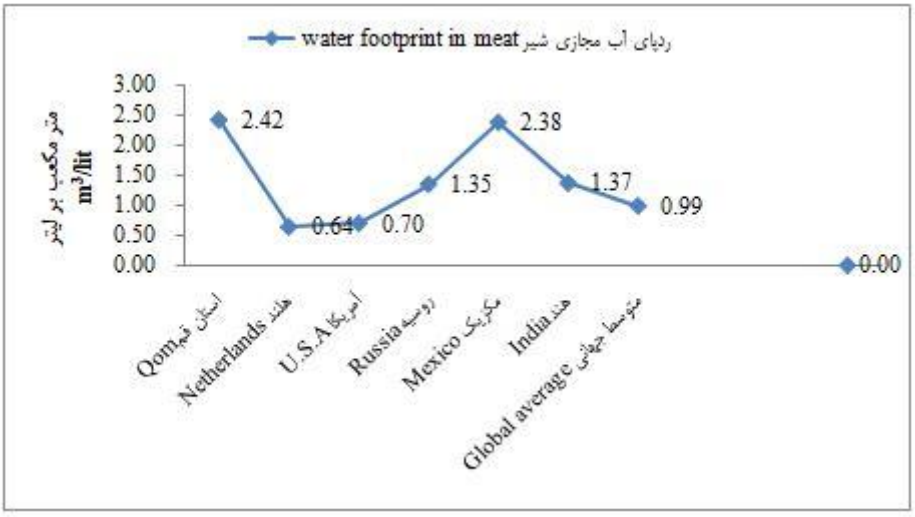
برای محاسبه ردپای آب در مشتقات دام ابتدا ردپای آب در بخش خوراک و سپس در بخش شرب و سرویس و نظافت دام محاسبه شد. برای محاسبه ردپای آب شرب در دام، میزان آب مصرفی در طول دوره حیات تا زمان کشتار مدنظر است، در مورد دام شیری، مقدار آب آشامیدنی از شروع شیردهی یک رأس دام در طول یک دوره یکساله (۹) و نتایج محاسبات نشان داد که حدود ۹۸ درصد از سهم ردپای آب مربوط به تغذیه دام می‌باشد و این خود گواه بر تحقیقات قبلی می باشد (۱۳). آب مجازی هر واحد از خوراک نقش بسیار مهمی در تعیین ردپای آب حیوانات و مشتقات آن‌ها محسوب می‌گردد (۱۱).

ردپای آب در تولید شیر در استان قم برابر با ۲/۴۲ متر مکعب بر لیتر بود. طی پژوهشی ردپای آب در شیر در سه استان تهران، البرز و قزوین به‌ترتیب ۲/۲۴، ۲/۲۵ و ۲/۴۳ محاسبه شد (۱۳). ردپای آب مجازی در دام برای تولید گوشت گاو در استان قم برابر ۳۹ متر مکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. این مقدار در سه استان تهران، البرز و قزوین به‌ترتیب ۴۴/۴۹، ۴۵/۱۸ و ۴۵/۵۱ محاسبه شد (۱۳). علت پایین‌تر بودن ردپای آب گوشت در استان قم نسبت به سایر استان‌های مورد مطالعه، مدرن و صنعتی‌تر بودن سیستم دامداری‌های می‌باشد، استان قم یکی از قطب‌های مهم دامپروری در کشور می‌باشد. ردپای آب در تولید شیر در استان قم برابر با ۲/۴۲ متر مکعب بر لیتر بود.

شکل ۲ و ۳ برای درک بهتر و مقایسه متوسط ردپای آب مجازی شیر و گوشت گاو در استان قم و متوسط جهانی ارائه شده‌است. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که متوسط ردپای آب مجازی شیر و گوشت در استان قم، نسبت به سایر مناطق مطالعه شده بالاتر است و تقریبا مشابه کشور مکزیک می‌باشد.

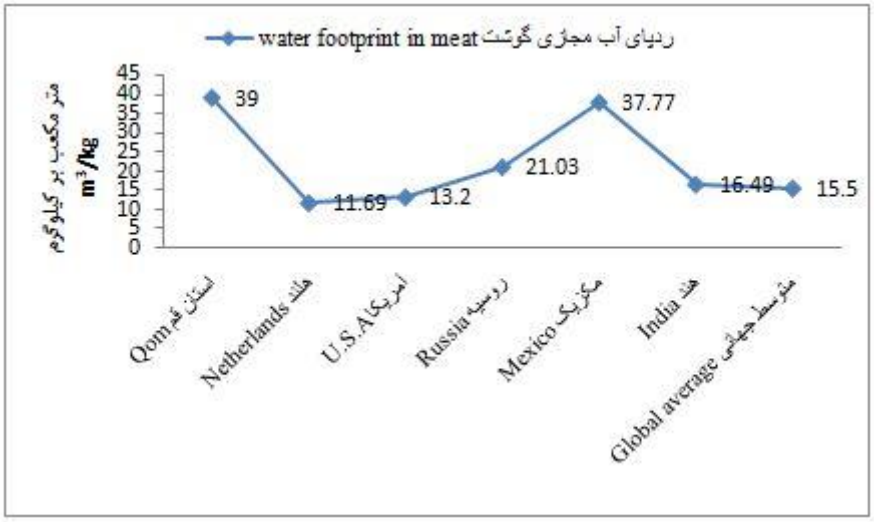
ردپای آب در بخش طیور

برای محاسبه ردپای آب در مشتقات طیور، ابتدا ردپای آب خوراک و سپس نوشیدن، سرویس و نظافت محاسبه شد. در قسمت ردپای نوشیدن، این مقدار نیز از زمان شروع تخم‌گذاری تا پایان یک دوره یکساله مد نظر می‌باشد و در مورد مرغ گوشتی از بدو تولد تا پایان کشتار مورد نظر است (۱۱). محاسبات نشان داد که مانند بخش دام، بیشترین ردپای آب در بخش تولیدات طیور، مربوط به ردپای خوراک بود. ردپای آب در تولید تخم‌مرغ ۴/۳۴ متر مکعب بر کیلوگرم و در گوشت مرغ برابر ۷/۴ متر مکعب بر کیلوگرم بود. محققان طی پژوهشی در سه استان تهران، البرز و قزوین ردپای آب برای تخم‌مرغ را به‌ترتیب ۴/۲۶، ۴/۶۶ و ۴/۲۲ تخمین زدند. ردپای آب گوشت مرغ در سه استان تهران، البرز و قزوین به‌ترتیب ۵/۸، ۵/۸۱ و ۶/۰۶ محاسبه شد. شکل ۴ و ۵ برای مقایسه و درک بهتر تفاوت مقادیر ردپای آب در تولید تخم‌مرغ و گوشت در استان قم با متوسط جهانی و سایر مناطق مورد مطالعه ارائه شده‌است. همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد متوسط ردپای آب مجازی برای تولید گوشت مرغ در استان قم ۷/۴ متر مکعب بر کیلوگرم می‌باشد این مقدار در جهان، آمریکا، هند، روسیه، مکزیک و هلند به ترتیب برابر با ۳/۹۲، ۲/۳۹، ۷/۷۴، ۵/۷۶، ۵/۰۱ و ۲/۲۲ متر مکعب بر کیلوگرم است.



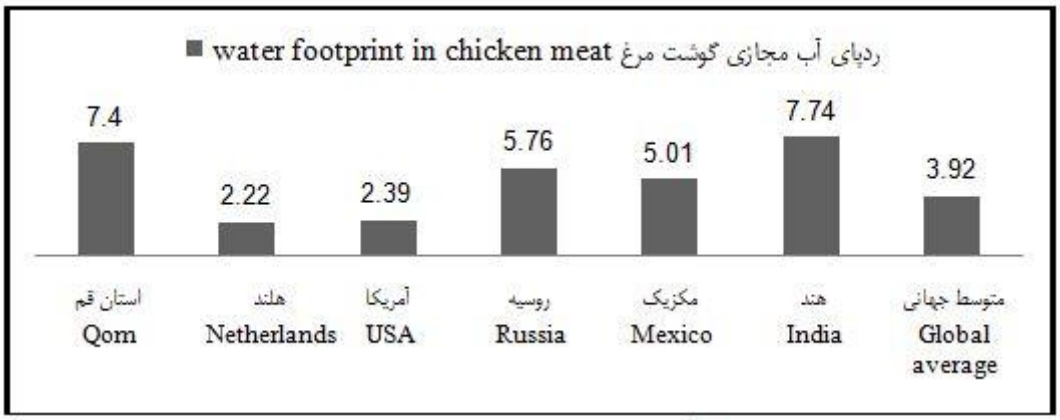
شکل ۲- مقایسه ردپای آب مجازی شیر در منطقه مورد مطالعه و نقاط مختلف دنیا

Figure 2- Comparison of milk virtual water footprint in Qom and other parts of the world



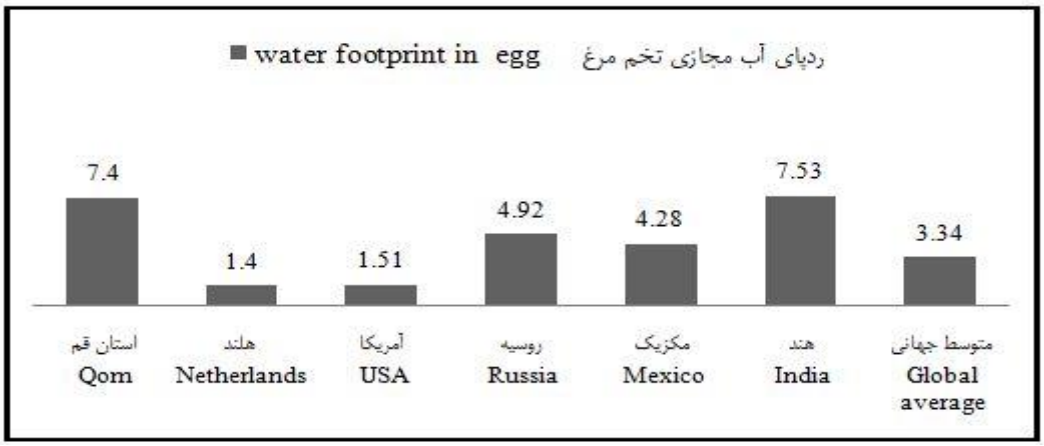
شکل ۳- مقایسه ردپای آب مجازی گوشت در منطقه مورد مطالعه و نقاط مختلف دنیا

Figure 3- Comparison of meat virtual water footprint in Qom and other parts of the world



شکل ٤- مقایسه ردپای آب مجازی گوشت مرغ در منطقه مورد مطالعه و سایر نقاط دنیا

Figure 4- Comparison of chicken meat virtual water footprint in Qom and other parts of the world



شکل ۵- مقایسه ردپای آب مجازی تخم‌مرغ در منطقه مورد مطالعه و سایر نقاط دنیا

Figure 5- Comparison of egg virtual water footprint in Qom and other parts of the world

جدول ۵- میزان ردپای آب در کود مصرفی محصولات زراعی

Table 5- The amount of water footprint in the fertilizer used in agricultural products

محصول Product	ردپای کود ازته W.F nitrogen m^3/kg	ردپای کود فسفات W.F phosphate m^3/kg	ردپای کود پتاسه W.F pottas m^3/kg	سایر کودها W.F Other m^3/kg	جمع ردپای آب کود Total m^3/kg
Wheat گندم آبی	1.42	0.56	0.62	0.02	**2.62**
Barely جو آبی	0.71	0.38	0.10	0.003	**1.19**
Cotton پنبه آبی	0.73	0.34	0.00	0.00	**1.07**
Alfalfa یونجه آبی	1.49	0.61	0.32	0.12	**2.54**

در هلند آب کمتری نسبت به سایر کشورها در کشاورزی مصرف می شود. در این ک شور، ردپای آب مجازی در گو شت مرغ در بهترین جایگاه قرار دارد. هند با مصرف ۷/۷۴ متر مکعب بر کیلوگرم بیشترین آب مصرفی را در پرورش مرغ دارا می‌باشد. متوسط ردپای آب مجازی در ایران برای تولید تخم‌مرغ ۴/۳۴ مترمکعب بر کیلوگرم اســت، حال آنکه متوســط ردپای آب‌مجازی برای تولید تخم‌مرغ در جهان، هند، مکزیک، روســیه، آمریکا و هلند به ترتیب برابر با ۳/۳۴، ۷/۵۳، ۴/۲۸، ۴/۹۲، ۱/۵۱ و ۱/۴ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشد. کشور هند با مقدار ۷/۵۳ متر مکعب بر کیلوگرم در تولید تخم‌مرغ مانند گوشــت مرغ بیشترین آب را مصرف می‌کند و کمترین مصرف را نیز کشور هلند با م صرف ۱/۴ متر مکعب بر کیلوگرم دارا ست (۱۱). هرچقدر ردپای آب در مشتقات دام و طیور کم‌تر و مشابه متوسط جهانی باشد، نشان‌دهنده مدرن‌تر بودن سیستم پرورش دام و طیور در منطقه می‌باشد.

ردپای آب در کود

در جدول ۵ میزان ردپای آب کودهای ازته، فســفاته و پتاســه و مجموع آن برای ۴ محصول زراعی مهم استان قم ارائه شده است.

م طابق جدول بیشــترین میزان رد پای آب در کود مربوط به محصــول گندم و پس از آن یونجه می‌باشــد. مقدار مصــرف کودهای ازته در تولید محصولات زراعی بیشترین مقدار را دارد و سهم بیشتری از ردپای آب در کود مربوط به کودهای ازته می‌باشــد. ســهم کودهای ازته در محصــول گندم و یونجه به‌ترتیب ۵۴ و ۵۹ درصــد از ســهم ردپای آب کل در کود را تشکیل می‌دهد. سهم ردپای آب کود ازته در پنبه و جو نیز به‌ترتیب معادل ۶۸ و ۶۰ درصــد می‌باشــد. ســهم کود فســفاته در محصــولات گندم، جو، پنبه و یونجه به‌ترتیب معادل ۲۱، ۳۲، ۳۲ و ۲۴ درصــد از ســهم کل ردپا می‌باشــد، همچنین ســهم کودپتاسه در محصولات مذکور به‌ترتیب ۲۴، ۸، ۰ و ۱۳ درصد از سهم کل ردپا می‌باشد. شکل برای درک بهتر از ردپای آب در کود ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ردپای آب مجازی در محصــولات زراعی (گندم، جو، پنبه، پیاز، گو جه فرنگی، خربزه، هندوا نه، یونجه و ذرت)، دامی (گوشت قرمز، شیر، گوشت مرغ و تخم‌مرغ) و کود مصرفی محصولات (ازته، ف سفاته، پتا سه و سایر کودها) در ا ستان قم انجام شد. مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات عمده هر منطقه، سبب کاهش فشــار وارده و مدیریت هرچه بهتر منابع آب می‌گردد. نتایج تحقیق در بخش زراعی ن شان می‌دهد که ا ستان قم دارای پتان سیل ب سیار کمی در استفاده از آب سبز بود، که این امر خود گواه بر کمبود بارش در این منطقه می‌با شد، در مقابل ردپای آب سفید در مح صولات آبی ب سیار بالا و حدود ۵۰ در صد از حجم ردپای آب را به خود اخت صاص داد. در کشــت فاریاب می‌توان برای کاهش هدررفت آب و اختصــاص ندادن م قدار دیگری از آب برای رقیق‌ســازی کود های نیتروژن‌دار رد پای خاکستری را نادیده و مصرف کودهای ازته را با ردپای آب سفید انجام داد. در بخش دامی، متوســط ردپای آب مجازی برای تولید گوشــت قرمز، شــیر، گوشــت مرغ و تخم‌مرغ به‌ترتیب ۳۹، ۲/۴۲، ۴/۳۴ و ۷/۴ تخمین زده شد. مقای سه ارقام به‌د ست آمده با متو سط جهانی، گواه بر بالا بودن رد پای آب م جازی مشــتقات دام و طیور در منطقه مورد مطالعه نسـبت به متوسـط جهانی می‌باشـد. بیشـترین علت بالا بودن سهم ردپای آب در تولبدات دام و طیور (گو شت قرمز، شیر، گو شت سقید و تخم‌مرغ) مربوط به تغذیه می‌باشد، صنعتی کردن هرچه بیشتر مر غداری ها به کاهش رد پای آب م جازی در تولیدات طیور ک مک می‌کند. در بخش نهاده‌های م صرفی، ردپای آب در کودهای م صرفی برای تولید مح صولات ک شاورزی مورد توجه قرار گرفت و به‌ترتیب در محصولات گندم، جو، پنبه و یونجه معادل ۲/۶۲، ۱/۱۹، ۱/۰۷ و ۲/۵۴ مترمکعب بر کیلوگرم محا سبه شد. انجام این پژوهش در سطح کشور و در تمام اســتان‌هایی که از لحاظ منابع آب محدود هســتند می‌تواند کمک شــایان و قابل‌توجهی را در جهت کنترل و مدیریت پایدار منابع آبی و دستیابی به الگوی کشت بهینه صورت دهد.

منابع

1- Ababaei B., and Ramezani Etedali H. 2014. Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. Journal of Environment Process 1: 193-205. (In Persian with English abstract)
2- Allan J.A. 1997. Virtual Water-the Water, Food, and Trade Nexus: Useful Concept or Misleading Metaphor. Water International 28(1): 106-113.
3- Antonelli M., and Tamea S. 2015. Food-water security and virtual water trade in the Middle East and North Africa. International Journal of Water Resources Development 31(3): 326-342.
4- Dehghanpir Sh., Bazrafshan O.B., and Helisaz A. 2016. Estimation and Evaluation of Blue and Green Water Footprints of major Crops in Roudan in Hormozgan. Iranian Water and Wastewater Sconce and Engineering Congress. University of Tehran. (In Persian)
5- Hoekstra A.Y., and Hung P.Q. 2002.Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series, 11:166.
6- Hoekstra A.Y. 2012. The hidden water resource use behind meat and dairy. Animal Frontiers 2(2): 3-8.
7- IWMI. 2000. World water and climate Atlas, http://www.iwmi.org.
8- Khalili T., Sarai Tabrizi M., Babazadeh H., and Ramezani Etedali H. 2020. Water resources management of Qom Province by using the concept of water Footprint. Journal of Ecohydrology 6(4): 1109-1119. (In Persian)
9- Mekonnen M.M., and Hoekstra A.Y. 2010. A Global and High-Resolution Assessment of the Green, Blue and Gray Water Footprint of Wheat. Hydrology and Earth System Scinces14: 1259-1276.
10- Mekonnen M., and Hoekstra A.Y. 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption.
11- Mekonnen M.M,. and Hoekstra A.Y. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems 15(3): 401-415.
12- Ministry of Energy, Qom Regional Water Company. Face to Face Talks, 2020. (In Persian)
13- Movahhed nejad E., Rmezani Etedali H., and Shokoohi A.R. 2019. Using the concept of virtual water footprint in livestock production to protect water resources. Jornal of Water and Soil Conservation 8(3): 134-143. (In Persian with English abstract)
14- Ramezani Etedali H., and Ababaei B. 2016. Estimation of Water Footprint Components in Provincial and National Scale Barely Production. Journal of Water Research in Agricultural 30(3): 431-443. (In Persian)
15- Schyns J.F., Hamaideh A., Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., and Schyns M. 2015. Mitigating the Risk of Extreme Water Scarcity and Dependency: the Case of Jordan. Water 7: 5705-5730.
16- Yatheendrdasan R.K., Arathy J., Rubasree M., Shimola C.M., and Rajeswari R. 2020. Evaluation of a Traveller Sprinkler System with Various Nozzles. Water Productivity Journal (WPJ) 1(1): 21-30.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 167-178

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۷۸-۱۶۷

Evaluation of Virtual Water Footprint in Crop, Livestock and Agricultural Consumption Inputs (Case Study: Gom, Province)

T. Khalili[1]- M. Sarai Tabrizi[2*]- H. Babazadeh[3]- H. Ramezani Etedali[4]

Received: 21-07-2020
Accepted: 23-01-2021

Introduction: Water resources management in arid and semi-arid regions is very important specially, in agricultural sector. The major share of water use is daily consumption by humans for drinking, washing and cooking. Furthermore, population growth increases agricultural production demand, and this highlights the role of water resources management in the agricultural sector. The 1950's studies showed 12 countries with a population of 20 million experienced water shortage. Virtual water is the volume of water which is consumed for a production from the beginning stage to the end. Scientists have shown that 96% of water footprints are related to crops, livestock and horticultural productions and only 4% it consumed as domestic water. Water balance data in Qom province shows that 90% of water resources are using in the agricultural sector. Investigation of water footprints in the agricultural sector is highly beneficial to improve water resources management in arid and semi-arid regions such as Qom.

Materials and Methods: The research was conducted to find out the production and cultivation water needs in the agricultural sector for 10 years, via calculating the gray, blue and green water footprints using Mekonnen and Hoekstra models. In the livestock sector, water footprint's information such as the number of livestock and poultry, production of red meat, chicken meat, egg and milk were also determined using the Mekonnen and Hoekstra. The water footprint in fertilizer was calculated using a questionnaire survey. Excel and SAS apps were used to analyze the collected data for all three study sections.

Results and Discussion: The results showed that the water footprint in wheat, barley, cotton, onion, tomato, melon, watermelon, alfalfa, and corn were 3018, 2882, 10960, 1463, 1525, 960, 2504, 1683 and 416 m^3/ton, respectively. The low irrigation efficiency led to a very high amount of white water footprint in the productions. Green water footprint was very low due to the lack of rainfall. In the livestock sector, the water footprint in red meat and milk were 39 m^3/kg and 2.42 m^3/lit, respectively which were much more than the global average. In the poultry sector, the water footprint in chicken meat and egg were 7.4 and 4.34 m^3/kg, respectively, that were very high compared to the global average. The water footprint in fertilizer for wheat, barley, cotton and alfalfa productions were 2.62, 1.19, 1.07 and 2.54 m^3/kg and this amount was higher under nitrogen fertilizer. The average virtual water footprint for chicken meat production in Qom province was 7.4 m^3/kg. This amount in the world, USA, India, Russia, Mexico and the Netherlands is equal to 3.92, 2.39, 7.74, 5.76, 5.01 and 2.22 m^3/kg respectively. In Netherlands, less water is in use in the agricultural sector than the other countries. In this country, the virtual water footprint in chicken meat is in the best position. India has the highest water consumption in poultry breeding with a consumption of 7.74 m^3/kg. The average virtual water footprint in Iran for egg production is 4.34 m^3/kg , while the average virtual water footprint for egg production in the world, USA, India, Russia, Mexico and the Netherlands is 3.34, 1.51, 7.53, 4.92, 4.28, and 1.4 m^3/kg, respectively. India consumes the most water in the production of eggs such as chicken with a quantity of 7.53 m^3/kg and the Netherlands has the least consumption with a value of 1.4 m^3/kg .

Conclusion: The concept of virtual water footprint in each region reduces the pressure on water resources. For better management in agricultural regions, it is possible to prevent the cultivation of high water demand crops. The most common cause of high water footprint in livestock and poultry is nutrition, so, internationally food import can be a good solution. Industrialization of poultry can also reduce water footprint. The implementation of this

1, 2 and 3- M.Sc. of Water Resources, Assistant Professor and Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.sarai@srbiau.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Imam Khomeini International University of Qazvin, Qazvin, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2021.14826.0

research can be a useful clue to the sustainable control and management of water resources and achieving an optimal cultivation pattern in our country and all provinces facing limited water resources.

Keywords: Green water footprint, Virtual water,Water resources management