نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۰ / شماره ۳ / ۱۳۹۵
DOI: http://dx.doi.org/10.22092/jwra.2016.107161

برآورد اجزاء ردپای آب مجازی در تولید جو در مقیاس ملی و استانی

هادی رمضانی اعتدالی[۱]* و بهنام آبابایی

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)،قزوین، ایران.
ramezani@eng.ikiu.ac.ir
مؤسسه ملی تحقیقات کشاورزی (INRA-SupAgro)، مون‌پلیه، فرانسه.
behnam.ab@gmail.com

چکیده

امنیت غذا، خشکسالی، حفظ محیط زیست و توسعهٔ صنعتی، مدیریت کارآمدتر منابع آبی را ضروری کرده است. مفهوم ردپای آب مجازی از پتانسیل قابل‌توجهی برای کمک به بهبود مدیریت آب، به خصوص در بخش کشاورزی، برخوردار است. در این پژوهش، اجزاء ردپای آب در تولید جو در ۱۵ استان منتخب که بیشترین تولید جو را در کشور به خود اختصاص می‌دهند، مورد بررسی قرار گرفت. این اجزاء شامل ردپای آب سبز (بارندگی مؤثر)، آبی (نیاز خالص آبیاری)، خاکستری (برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها تا سطح حداکثر غلظت قابل قبول) و سفید (تلفات آبیاری) است. نتایج نشان می‌دهند مجموع ردپای آب در تولید محصول جو در سطح کشور برای دورهٔ ۱۳۸۵-۱۳۹۰ (۲۰۰۵-۲۰۱۱)، در حدود ۹۱۷۲ میلیون مترمکعب در سال بوده که سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب ۳۷٪، ۱۹٪، ۱۷٪و ۲۷ درصد است. در حدود ۴۴ درصد از مجموع ردپای آب در تولید جو، سهم آب خاکستری و سفید است که مقدار قابل‌توجهی محسوب می‌شود. در حدود ۸۵ درصد از مجموع ردپای آب در تولید ملی جو، مربوط به ۱۵ استان منتخب است. استان‌های خراسان، اصفهان و فارس به‌ترتیب با ۲۳۶۴، ۵۱۸ و ۴۹۸ میلیون مترمکعب در سال بیشترین ردپای آب در تولید جو در اراضی فاریاب کشور را دارا هستند. در بین ۱۵ استان منتخب، متوسط مجموع ردپای آب در اراضی فاریاب در حدود ۳۲۰۹ میلیون مترمکعب بر تن است که سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب در حدود ۲۰٪، ۲۶٪، ۱۸٪و ۳۶٪ از مجموع ردپای آب در این اراضی است. در اراضی دیم نیز متوسط مجموع ردپای آب در حدود ۲۵۹۴ میلیون مترمکعب بر تن برآورد می‌شود که سهم آب سبز و خاکستری به ترتیب ۸۹٪ و ۱۱ ٪ است.

واژه‌های کلیدی: آب خاکستری، آب سفید، **AGWAT**، نیاز آبی.

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین.
*- دریافت: آبان ۱۳۹٤ پذیرش: شهریور ۱۳۹۵

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و لزوم تامین غذا و حفظ محیط زیست، اهمیت بحران آب در سال‌های منتهی به هزارهٔ سوم و ابتدای قرن ۲۱ بیشتر شده است. کاهش منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی و از بین رفتن محیط‌زیست و اکوسیستم‌های آبی از نشانه‌های بحران آب در سطح ایران و جهان است (مکنونن و هوکسترا، ۲۰۱۰ و واپ، ۲۰۰۹). نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که از سال ۲۰۰۰ میلادی، ایران در فهرست کشورهای دارای کسری آب قرار گرفته و تا سال ۲۰۳۰ منابع آب تجدیدپذیر کشور کمتر از ۱۵۰۰ مترمکعب برای هر نفر خواهد بود (یانگ و همکاران، ۲۰۰٦). از سویی، تخصیص بیش از ۹۰ درصد از منابع آب کشور به بخش کشاورزی نشانگر اهمیت این بخش در مصرف آب است. لذا، ضروری است مصرف آب در بخش کشاورزی تا سطحی پایدار کاهش یابد (مولدن، ۲۰۰۷).

مفهوم ردپای آب مجازی (کل آب مصرفی برای تولید یک واحد کالای کشاورزی و غیرکشاورزی) در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی برای تحلیل بهره‌وری مصرف آب مورد استفاده قرار گرفته است (آلن، ۱۹۹۷). با توجه به این‌که کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ منابع آب در جهان به شمار می‌آید، لذا، تجارت محصولات کشاورزی اصلی‌ترین تجارت آب مجازی محسوب می‌شود. محصولات زراعی در حدود ٦۷ درصد از تجارت آب مجازی جهان را به خود اختصاص داده و محصولات دامی و صنعتی به ترتیب ۲۳ و ۱۰ درصد از حجم مبادلات آب مجازی را تشکیل می‌دهند (تیان، ۲۰۱۳).

براساس بازنگری در مفهوم آب مجازی، ردپای آب آبی، به حجم آب آبیاری اشاره دارد که در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد. ردپای آب سبز، به - سهم آب حاصل از بارندگی (مؤثر) مرتبط است. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای رقیق‌سازی کودها و سمومی که در فرآیند تولید محصول استفاده شده، مورد نیاز است. این حجم از آب، براساس استانداردهای کیفیت آب تعیین می‌شود (آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱٤؛ هوکسترا و چاپگین، ۲۰۰۸؛ هوکسترا و همکاران، ۲۰۰۹).

پژوهش‌های متعددی در مورد تجارت آب مجازی در ارتباط با محصولات زراعی انجام شده است (آنتونلی و سارتوری، ۲۰۱۵ و تیان، ۲۰۱۳). در مطالعه‌ای در سه ایالت نیوجرسی، مریلند و دل‌اویر که بر اساس حجم تجارت آب مجازی کالاهای تولیدی و مصرفی انجام شد، مشخص شد از طریق مدیریت تجارت آب مجازی، مصرف آب تا حدود ۳۵ درصد کاهش خواهد یافت (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج مطالعات دیگر نشان می‌دهد که مدیریت تجارت آب مجازی در سطح کشور و بهینه‌سازی سطح زیر کشت غلات با هدف استفادهٔ بهینه از منابع آب داخلی علاوه بر امنیت غذایی، حفظ منابع آبی را به‌دنبال خواهد داشت (آبابایی و همکاران، ۲۰۱٤؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۱۰).

امروزه، مدیریت تجارت آب مجازی به عنوان سیاستی در راستای تأمین غذا، حفظ و پایداری منابع آب مطرح می‌شود و از آن به عنوان راهکاری برای ذخیره‌سازی منابع آب هر کشور و دستیابی به امنیت آبی در سطح ملی یاد می‌شود (گربنزلینز و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۷ و یانگ و همکاران، ۲۰۰٦). واردات محصولات پرمصرف (از نظر منابع آب) و صادرات محصولات کم‌مصرف، از سویی منجر به ذخیره منابع آب در سطح ملی و از سوی دیگر صادرات محصولات پرمصرف می‌شود. از این رهگذر سود اقتصادی چشمگیری را برای کشورهای صاحب منابع غنی آب شیرین به ارمغان می‌آورد (مکنونن و هوکسترا، ۲۰۱۰). بنابراین، مدیریت تجارت آب مجازی تجارتی پرسود برای هر دو طرف خواهد بود.

با توجه به اهمیت گندم در سطح ملی و بین‌المللی، مطالعات گوناگونی بر روی ردپای آب مجازی در تولید این محصول صورت گرفته است (پورت‌من و

همکاران، ۲۰۰۸؛ اوکی و کانا، ۲۰۰٤؛ آلدایا و همکاران ۲۰۱۰ و آلدایا و هوکسترا، ۲۰۱۰). هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲) و (۲۰۰۵) و هوکسترا و چاپاگین (۲۰۰۷) و (۲۰۰۸) با محاسبه تبخیر و تعرق، حجم تجارت جهانی آب مجازی مرتبط با گندم را در دو بازه زمانی ۱۹۹۵–۱۹۹۹ و ۱۹۹۷–۲۰۰۱ بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد متوسط ردپای آب مجازی در تولید گندم در برخی از مهمترین کشورهای جهان در حدود ۱۳۳٤ مترمکعب بر تن است.

لیو و همکاران (۲۰۰۷) و لیو و یانگ (۲۰۱۰) نیز در سطح سطح یک شبکهٔ دو بعدی با تفکیک‌پذیری ۳۰ دقیقهٔ جغرافیایی و با استفاده از مدل GEPIC به بررسی ردپای آب آبی و سبز در تجارت آب مجازی گندم پرداخته و نشان دادند همبستگی مناسبی بین داده‌های مدل با داده‌های زمینی کشور چین و آمریکا وجود دارد. گربنزلینز و همکاران (۲۰۰۹) سهم آب آبی و آب سبز در تولید انرژی از گندم را در ۲۵ کشور عمدهٔ تولیدکننده گندم محاسبه کردند. نتایج ایشان نشان داد سهم آب سبز و آبی در تولید انرژی معادل یک لیتر اتانول، به‌ترتیب در حدود ۲۸۳۵ و ۱٦٤۱ لیتر است.

در ایران، محصول جو جزء محصولات استراتژیک قلمداد شده و از سطح زیرکشت قابل توجهی نیز برخوردار است. با این‌حال، تاکنون هیچ برآورد دقیقی از ردپای آب در تولید این محصول در سطح استانی و ملی صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت آگاهی از سهم اجزاء مختف ردپای آب مجازی در مدیریت منابع آبی و تولید محصولات غذایی در سطح کشور، در این پژوهش به برآورد اجزاء ردپای آب آبی، سبز، سفید و خاکستری در تولید جو در سطوح استانی و ملی پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

برای محاسبهٔ اجزاء ردپای آب مجازی، از چارچوب پیشنهادی آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱٤) استفاده شد. در این چارچوب، ردپای آب سبز (WF_{Green}) و آب آبی (WF_{Blue})، بر حسب میلیون متر مکعب بر تن، از تقسیم حجم آب مصرفی سبز و آبی (مترمکعب بر هکتار) بر عملکرد جو (تن بر هکتار) محاسبه می‌شود. در این پژوهش، برای برآورد حجم آب آبی و سبز، از مدل AGWAT استفاده شد. از آن‌جا که AGWAT نیاز ناخالص آبیاری را برای دوره‌های ۱۰ روزه محاسبه می‌کند، در ابتدا نیاز خالص آبیاری (IR_{Irr}) با استفاده از راندمان آبیاری (IE_{Irr}) در سطح هریک از دشت‌ها محاسبه شد. سپس، مجموع بارندگی مؤثر (P_{eff}) در طول دوره رشد به‌صورت اختلاف بین مجموع تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_c) و مجموع نیاز خالص آبیاری برآورد شد. حجم مصرف آب (CWU) آبی و سبز از روابط زیر محاسبه شد:

$$CWU_{Blue,Irr} = IR_{Irr} = 10' \; IE_{Irr}{}' \; GI_{Irr} \quad (۱)$$

$$CWU_{Green,Irr} = 10' \; P_{eff} = 10' \; (ET_c - IR_{Irr}) \quad (۲)$$

$$CWU_{Blue,RF} = 0 \quad (۳)$$

$$CWU_{Green,RF} = 10' \; P_{eff} \quad (٤)$$

که در آن‌ها:

Irr و RF به ترتیب نشان‌دهنده شرایط فاریاب و دیم و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متر به مترمکعب بر هکتار است. از آن‌جایی‌که مقدار تولید محصول در شرایط فاریاب و دیم متفاوت است، محاسبه اجزاء ردپای آب با استفاده از عملکرد محصول در شرایط فاریاب و دیم به‌صورت جداگانه صورت گرفت. مقادیر عملکرد جو از بانک اطلاعات زراعت وزارت جهاد کشاورزی برای سال‌های ۱۳۸۵–۱۳۹۰ (۲۰۰۵–۲۰۱۱) استخراج شد.

یکی دیگر از اجزاء ردپای آب در تولید جو، حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی کودهای کشاورزی هدررفته (با استفاده از رواناب یا نفوذعمقی) است. این

مفهوم، توسط هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) تحت عنوان آب خاکستری نامیده شده است. در این پژوهش، ردپای آب خاکستری (WF_{Gray}) تنها برای کودهای نیتروژن محاسبه شده است. ردپای آب خاکستری در تولید جو از روابط زیر محاسبه شد:

$$WF_{Gray,Irr} = \frac{\alpha_{Irr} \times NAR_{Irr}}{CMax - CNat} \times \frac{1}{Yield_{Irr}} \quad (۵)$$

$$WF_{Gray,RF} = \frac{\alpha_{RF} \times NAR_{RF}}{CMax - CNat} \times \frac{1}{Yield_{RF}} \quad (۶)$$

که در آن‌ها:

α (٪) درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (کیلوگرم بر هکتار) نرخ مصرف کود، CMax (مترمکعب بر هکتار) غلظت بحرانی نیتروژن، CNat (کیلوگرم بر مترمکعب) غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده و Yield (تن بر هکتار) عملکرد جو است. مقادیر α در شرایط فاریاب و دیم به ترتیب پنج و ۱۰درصد در نظر گرفته شد (چاپگین و همکاران، ۲۰۰۶). غلظت بحرانی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده نیز براساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر منظور شد. از آن-جاکه اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر (فرض معمول) در نظر گرفته شد (چاپگین و همکاران، ۲۰۰۶).

علاوه بر اجزاء سه‌گانه فوق، آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱٤) جزء دیگری از مجموع ردپای آب را تشریح نمودند که تحت عنوان آب سفید نام‌گذاری شده است. این جزء، حجم تلفات آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) را مورد توجه قرار می‌دهد و به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$WF_{White,Irr} = \frac{10 \times (GI_{Irr} - IR_{Irr})}{Yield_{Irr}} \quad (۷)$$

$$WF_{White,RF} = 0 \quad (۸)$$

علیرغم این‌که بخشی از تلفات آبیاری در پایین‌دست و یا در سال‌های بعد قابل استفادهٔ مجدد است، با توجه به این‌که در سال هدف به‌عنوان بخشی از آب مورد نیاز مصرف شده و به این ترتیب امکان استفاده (مفید) از آن در سایر فرآیندهای تولیدی وجود نداشته است، الزاماً به عنوان بخشی از ردپای آب در نظر گرفته می‌شود.

کلیهٔ محاسبات براساس اطلاعات مرتبط با ۱۵ استان که بیشترین تولید جو را در سطح مزارع آبی و دیم به خود اختصاص داده‌اند، انجام شد. با استفاده از روابط ارائه شده، اجزاء ردپای آب در تولید جو برای تمامی ۱۵ استان مورد بررسی به صورت متوسط مقادیر در سطح دشت‌های استان محاسبه شد. در نهایت، با متوسط‌گیری وزنی این مقادیر (براساس سهم تولید استان در تولید ملی)، اجزاء ردپای آب در تولید جو (مترمکعب بر تن) در سطح کشور محاسبه شد. سطح و حجم تولید جو در سطح استان‌های کشور از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد.

پس از محاسبه اجزاء ردپای آب برای هریک از ۱۵ استان منتخب، مجموع هریک از این اجزاء در سطح هر استان و در سطح کشور به‌صورت متوسط وزنی این مقادیر در شرایط فاریاب و دیم با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

$$WFV_{i,x,y} = Prod_{i,x,y} \times WF_{i,x,y} \qquad i = 1,...,15 \quad (۹)$$

$$AWF_{x,y} = \frac{\sum_i WFV_{i,x,y}}{\sum_i Prod_{i,x,y}} \quad (۱۰)$$

$$WAWF_x = \beta . AWF_{x,Irr} + (1 - \beta) AWF_{x,RF} \quad (۱۱)$$

$$NWF_x = Tot\,Prod \times WAWF_x \quad (۱۲)$$

که در آن‌ها:

i شاخص استان، x جزء ردپای آب (آبی، سبز، خاکستری یا سفید)، y شاخص نوع سامانهٔ کشت (فاریاب یا دیم)، Prod حجم تولید جو (میلیون تن)، WFV کل حجم هریک از اجزاء ردپای آب (میلیون مترمکعب در سال)، AWF متوسط هریک از اجزاء ردپای آب (مترمکعب بر تن)، β سهم تولید جو فاریاب در کل کشور، WAWF

متوسط وزنی هریک از اجزاء ردپای آب (مترمکعب بر تن)، TotProd کل تولید جو در سطح کشور (میلیون تن در سال) و NWF کل حجم هریک از اجزاء ردپای آب در سطح کشور (میلیون مترمکعب در سال) است.

نتایج و بحث

سطح زیرکشت و تولید محصول جو در ۱۵ استان منتخب که بیشترین تولید جو را دارند، در جدول (۱) نمایش داده شده است. در دوره مورد بررسی، ۸۰/۸ درصد سطح زیر کشت جو کشور (۸۵/٤ درصد از کل اراضی فاریاب و ۷۷/٦ درصد از کل اراضی دیم) در این استان‌ها واقع شده‌اند. این ۱۵ استان، ۸۷/٤ درصد از جو آبی و ۷۹/۲ درصد از جو دیم کشور (مجموعاً ۸٤/۷ درصد از حجم کل کشور) را تولید می‌کنند. بنابراین، ۱٦ استان دیگر تنها در حدود ۱۵/۳ درصد از تولید جو کشور را پوشش می‌دهند و سطح زیرکشت جو در این استان‌ها در حدود ۲۱/۲ درصد از کل سطح زیرکشت جو آبی و دیم است. در بین ۱۵ استان منتخب، خراسان بزرگ با ۱۵/۳ درصد از کل اراضی زیرکشت جو و ۱۷/۸ درصد از کل تولید کشور، بیشترین سطح زیرکشت و تولید جو کشور را به خود اختصاص داده است. همچنین، استان کرمانشاه با ۱٦/۲ درصد از کل تولید جو دیم کشور در ۱۳/۹ درصد از کل اراضی دیم، مهمترین استان در تولید جو دیم محسوب می‌شود. استان آذربایجان غربی با تولید ۲/۳ درصد از کل تولید جو در ۲/۹ درصد از کل اراضی زیرکشت جو، کمترین تولید را انجام می‌دهد. سطح اراضی دیم این استان نسبت به اراضی آبی بیشتر بوده و حدود ٦۸/٤ درصد از کل اراضی زیرکشت جو استان را شامل می‌شود.

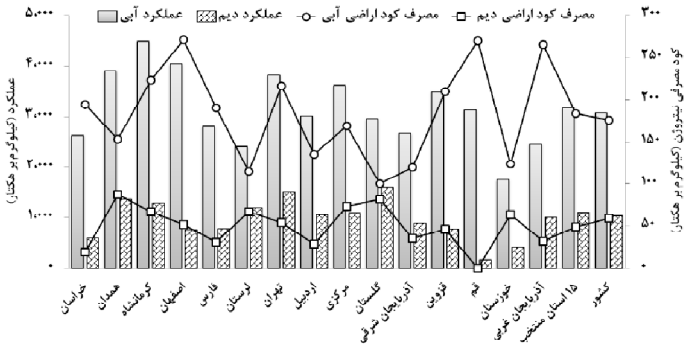
شکل (۱) عملکرد در واحد سطح در اراضی آبی و دیم و همچنین میزان مصرف کود ازته در مزارع جو ۱۵ استان منتخب و مقادیر میانگین این ۱۵ استان و کشور را نشان می‌دهد. در سطح اراضی دیم، استان کرمانشاه با ٤٤۸۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد در واحد سطح برای جو آبی و استان گلستان با ۱۵۹۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد در واحد سطح را دارد. متوسط عملکرد جو آبی در بین ۱۵ استان منتخب و کل کشور به‌ترتیب برابر با ۳۱۷۲ و ۳۰۷۵ کیلوگرم در هکتار و برای جو دیم این مقادیر برابر ۱۱۰۱ و ۱۰۳٤ کیلوگرم در هکتار بوده است. همچنین، متوسط مصرف کودهای ازته در اراضی جو آبی و دیم در کشور به‌ترتیب در حدود ۱۷٦ و ۵۹ کیلوگرم بر هکتار است. میانگین تبخیروتعرق، نیاز آبی خالص و بارندگی موثر برای ۱۵ استان منتخب در شکل (۲) نمایش داده شده است. این مقادیر با استفاده از میانگین‌گیری دشت‌های هر استان محاسبه شده‌اند. میزان متوسط تبخیروتعرق جو در استان‌های منتخب از ۳۵۰ میلی‌متر در استان خوزستان تا ۵۵۳ میلیمتر در استان خراسان متغیر است. همچنین، بیشترین و کمترین نیاز آبی خالص به‌ترتیب با ۳٤۲ و ۱۹۵ میلی‌متر در استان‌های خراسان و کرمانشاه، و بیشترین و کمترین بارندگی موثر به‌ترتیب با ۲۹۰ و ۱۲۱ میلی‌متر در استان‌های کرمانشاه و اصفهان مشاهده می‌شوند.

اجزاء ردپای آب در تولید جو آبی (روابط ۱ تا ۸) برای ۱۵ استان منتخب برآورد شد (شکل ۳). در بین ۱۵ استان منتخب و در اراضی تحت کشت جو آبی، بیشترین و کمترین حجم ردپای آب سبز به‌ترتیب با ۱۱۷۳ و ۳۰۲ مترمکعب بر تن در استان‌های لرستان و اصفهان مشاهده می‌شود. همچنین، حجم ردپای آب آبی به‌ترتیب با ۱۳۰۵ و ٤۳۵ مترمکعب بر تن مربوط به استان‌های خراسان و کرمانشاه است. حجم ردپای آب خاکستری نیز بین ۳۹۳ مترمکعب بر تن در استان همدان تا ۲۲۹۸ مترمکعب بر تن در استان آذربایجان غربی و حجم ردپای آب سفید بین ٦۰٦ مترمکعب بر تن در استان کرمانشاه تا ۲۱٤۲ مترمکعب بر تن در استان خراسان متغیر است.

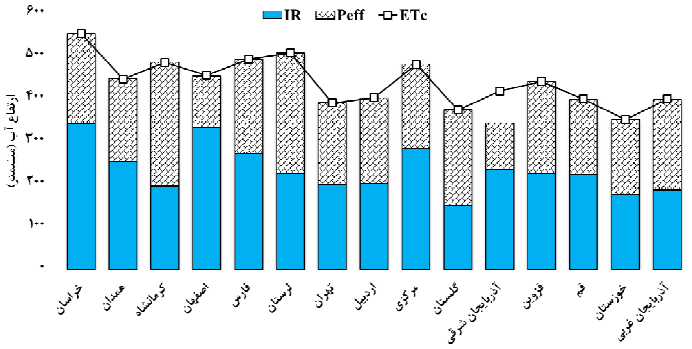
جدول ۱- سطح زیرکشت و تولید جو در ۱۵ استان منتخب

استان	سطح (ha)			سهم از کشور (٪)			تولید کل (ton)			سهم از کشور (٪)		
	آبی	دیم	مجموع	آبی	دیم	مجموع	آبی	دیم	مجموع	آبی	دیم	مجموع
خراسان	۱۶۶,۹۳۹	۶۵,۵۶۱	۲۳۲,۴۹۹	۲۶/۴	۷/۴	۱۵/۳	۴۷۴,۲۱۱	۴۵,۴۹۴	۵۱۹,۷۰۵	۲۴/۳	۴/۷	۱۷/۸
همدان	۴۱,۷۹۲	۴۰,۰۵۴	۸۱,۸۴۵	۶/۶	۴/۵	۵/۴	۱۶۵,۵۲۰	۵۶,۳۱۸	۲۲۱,۸۳۸	۸/۵	۵/۹	۷/۶
کرمانشاه	۹,۲۳۸	۱۲۳,۳۹۳	۱۳۲,۶۳۱	۱/۵	۱۳/۹	۸/۷	۴۳,۷۱۵	۱۵۵,۸۱۸	۱۹۹,۵۳۳	۲/۲	۱۶/۲	۶/۸
اصفهان	۴۴,۷۶۵	۴,۷۶۰	۴۹,۵۲۵	۷/۱	۰/۵	۳/۳	۱۸۱,۳۱۸	۳,۷۶۵	۱۸۵,۰۸۴	۹/۳	۰/۴	۶/۴
فارس	۴۶,۵۹۴	۵۵,۲۴۹	۱۰۱,۸۴۳	۷/۴	۶/۲	۶/۷	۱۳۲,۲۶۹	۴۷,۷۸۷	۱۸۰,۰۵۷	۶/۸	۵	۶/۲
لرستان	۶,۶۹۵	۱۲۰,۲۴۷	۱۲۶,۹۴۲	۱/۱	۱۳/۵	۸/۳	۱۶,۴۱۰	۱۵۵,۲۶۴	۱۷۱,۶۷۳	۰/۸	۱۶/۲	۵/۹
تهران	۳۹,۴۴۴	۱۱۶	۳۹,۵۶۰	۶/۲	۰	۲/۶	۱۴۹,۹۷۸	۱۷۳	۱۵۰,۱۵۱	۷/۷	۰	۵/۲
اردبیل	۲۲,۶۷۵	۶۸,۹۱۱	۹۱,۵۸۶	۳/۶	۷/۷	۶	۶۷,۹۷۷	۷۴,۲۹۵	۱۴۲,۲۷۲	۳/۵	۷/۷	۴/۹
مرکزی	۳۵,۷۶۹	۳,۰۳۷	۳۸,۸۰۵	۵/۷	۰/۳	۲/۶	۱۲۹,۹۵۲	۲,۹۴۰	۱۳۲,۸۹۲	۶/۶	۰/۳	۴/۶
گلستان	۸,۹۲۱	۶۰,۰۵۲	۶۸,۹۷۲	۱/۴	۶/۷	۴/۵	۲۸,۱۷۶	۱۰۱,۰۹۵	۱۲۹,۲۷۰	۱/۴	۱۰/۵	۴/۴
آذربایجان شرقی	۲۳,۱۲۸	۵۰,۴۴۲	۷۳,۵۷۱	۳/۷	۵/۷	۴/۸	۶۲,۲۳۴	۴۵,۱۵۸	۱۰۷,۳۹۲	۳/۲	۴/۷	۳/۷
قزوین	۲۶,۰۹۴	۹,۶۵۵	۳۵,۷۴۹	۴/۱	۱/۱	۲/۴	۹۳,۶۳۲	۸,۲۵۲	۱۰۱,۸۸۵	۴/۸	۰/۹	۳/۵
قم	۲۵,۶۶۳	۱۷	۲۵,۶۷۹	۴/۱	۰	۱/۷	۸۱,۱۷۰	۱۷	۸۱,۱۸۶	۴/۲	۰	۲/۸
خوزستان	۲۶,۹۷۶	۵۸,۳۳۱	۸۵,۳۰۸	۴/۳	۶/۶	۵/۶	۴۷,۵۲۶	۳۲,۱۸۶	۷۹,۷۱۲	۲/۴	۳/۴	۲/۷
آذربایجان غربی	۱۴,۱۳۷	۳۰,۵۹۶	۴۴,۷۳۳	۲/۲	۳/۴	۲/۹	۳۵,۰۳۵	۳۱,۵۳۲	۶۶,۵۶۷	۱/۸	۳/۳	۲/۳
۱۵ استان	۵۳۸,۸۲۷	۶۹۰,۴۲۰	۱,۲۲۹,۲۴۷	۸۵/۴	۷۷/۶	۸۰/۸	۱,۷۰۹,۱۲۴	۷۶۰,۰۹۳	۲,۴۶۹,۲۱۷	۸۷/۴	۷۹/۲	۸۴/۷
کشور	۶۳۱,۲۷۹	۸۸۹,۸۳۳	۱,۵۲۱,۱۱۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱,۹۵۴,۶۹۴	۹۵۹,۷۷۱	۲,۹۱۴,۴۶۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

* مرجع: وزارت جهاد کشاورزی.



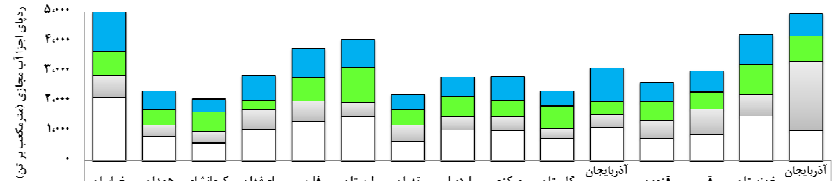
شکل ۱- عملکرد و میزان مصرف کود ازته در اراضی فاریاب و دیم جو در استان‌های مختلف



شکل ۲- تبخیروتعرق، بارندگی موثر و نیاز ابی خالص جو در استان‌های مختلف

مجموع ردپای آب در اراضی جو آبی در استان‌های منتخب بین ۲۰۸۱ مترمکعب بر تن در استان کرمانشاه تا ٤٩٨٤ مترمکعب بر تن در استان خراسان متفاوت است. متوسط مجموع ردپای آب در تولید جو آبی در استان‌های منتخب برابر با ۳۲۰۹ مترمکعب در تن است. همچنین، سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید در اراضی فاریاب در استان‌های منتخب به‌ترتیب ۲۰، ۲٦، ۱۸ و ۳٦ درصد برآورد شد. نکته قابل توجه در سطح کشور، سهم بالای ردپای آب سفید در تولید جو آبی است، هرچند که این حجم آب به چرخه آبی کشور باز می‌گردد و امکان استفاده از آن در سال‌های بعد وجود دارد، اما با اعمال مدیریت مؤثر و کاهش این سهم، می‌توان از آن در سایر فرآیندهای تولیدی استفاده کرد. آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱٤) مجموع ردپای آب در تولید گندم آبی را در کشور در حدود ۳۱۸۸ مترمکعب بر تن برآورد کردند که با مجموع ردپای آب در تولید جو آبی (۳۲۰۹ مترمکعب بر تن) اختلاف قابل توجهی ندارد. بنابراین، کشت گندم و جو فشار یکسانی بر منابع آبی کشور خواهند داشت. همچنین، از نظر سهم اجزا آب سبز، آبی، خاکستری و سفید (به‌ترتیب ۲۳، ۲۵، ۱۷ و ۳۵ درصد برای گندم آبی) اختلاف چندانی بین گندم و جو آبی وجود ندارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت علاوه بر تشابه فیزیولوژیکی این دو محصول، کشاورزان شیوه‌های مدیریتی کمابیش یکسانی را برای مصرف کود و آبیاری به‌کار می‌برند.

استان‌های خراسان، اصفهان، لرستان و اردبیل به‌ترتیب با ٤۳، ۳۷، ۳۷ و ۳۷ درصد، بیشترین سهم ردپای آب سفید را (از مجموع ردپای آب در هر استان) دارا می‌باشند. این مقادیر، اهمیت کنترل تلفات آبیاری و لزوم مدیریت مؤثرتر آب آبیاری را خاطرنشان می‌سازند. کمترین سهم ردپای آب سفید به استان‌های آذربایجان غربی، قزوین، تهران و کرمانشاه به‌ترتیب با ۲۱، ۲۹، ۲۹ و ۲۹ درصد مربوط است. بیشترین مقادیر سهم آب خاکستری نیز در استان‌های آذربایجان غربی، قم و تهران به‌ترتیب با ٤٦، ۲۸ و ۲۳ درصد مشاهده می‌شود.



	خراسان	همدان	کرمانشاه	اصفهان	فارس	لرستان	تهران	اردبیل	مرکزی	گلستان	آذربایجان شرقی	قزوین	قم	خوزستان	آذربایجان غربی
مجموع	۴۹۸۴	۲۳۵۴	۲۰۸۱	۲۸۶۰	۳۷۶۶	۴۰۷۰	۲۲۳۳	۲۸۲۱	۲۸۲۴	۲۳۵۲	۳۱۲۷	۲۶۲۴	۳۰۲۲	۴۲۳۴	۴۹۴۹
آب آبی	۱۳۰۵	۶۴۲	۴۳۵	۸۲۴	۹۷۰	۹۲۸	۵۲۲	۶۶۴	۷۸۰	۵۰۴	۱۱۵۲	۶۴۶	۷۰۸	۱۰۰۳	۷۵۷
آب سبز	۷۹۸	۵۰۰	۶۴۸	۳۰۲	۷۸۶	۱۱۷۳	۵۰۱	۶۷۰	۵۴۹	۷۵۹	۴۰۶	۶۱۶	۵۶۲	۱۰۱۴	۸۶۴
آب خاکستری	۷۴۰	۳۹۳	۳۹۳	۶۷۱	۶۷۹	۴۷۶	۵۶۷	۴۵۰	۴۶۸	۳۳۸	۴۴۸	۶۰۱	۸۵۹	۷۱۳	۳۴۹۸
آب سفید	۲۱۴۲	۸۱۸	۶۰۶	۱۰۶۲	۱۳۳۰	۱۴۹۴	۶۴۳	۱۰۳۷	۱۰۲۷	۷۵۱	۱۱۲۱	۷۶۱	۸۹۲	۱۵۰۴	۱۰۳۰

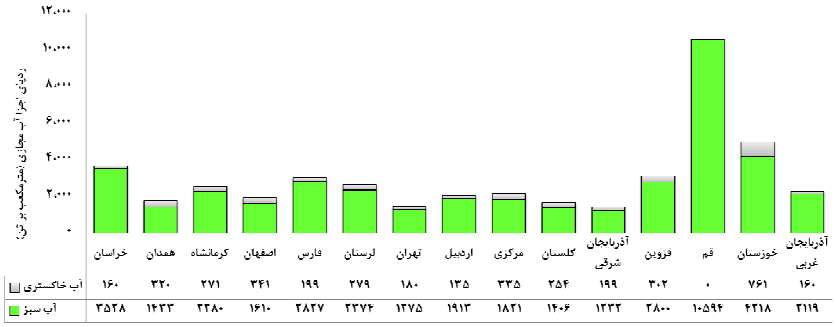
شکل ۳- اجزاء ردپای آب در اراضی جو آبی

ردپای آب سبز و خاکستری در تولید جو دیم برای ۱۵ استان منتخب در شکل (٤) نمایش داده شده است. در بین اراضی دیم این استان‌ها، بیشترین و کمترین سهم ردپای آب سبز به‌ترتیب با ۱۰۵۹٤ و ۱۲۳۲ مترمکعب بر تن در استان‌های قم و آذربایجان شرقی مشاهده می‌شود. ردپای آب خاکستری نیز در اراضی دیم استان خوزستان با ۷٦۱ مترمکعب بر تن بیشترین مقدار را دارد. بیشترین و کمترین مجموع ردپای آب در اراضی جو دیم به‌ترتیب با ۱۰۵۹٤ و ۱٤۳۱ مترمکعب بر تن در استان‌های قم و استان آذربایجان شرقی متغیر است.

متوسط مجموع ردپای آب در تولید جو دیم در استان‌های منتخب برابر با ۲۵۹٤ مترمکعب بر تن برآورد شد. همچنین، سهم آب سبز و خاکستری در ردپای آب در تولید جو دیم به‌ترتیب ۸۹ و ۱۱ درصد است. این در حالی است که متوسط مجموع ردپای آب در تولید گندم دیم در کشور در حدود ۳۰۷۱ متر مکعب بر تن و سهم آب سبز و خاکستری به ترتیب ۹۰ و ۱۰ درصد است

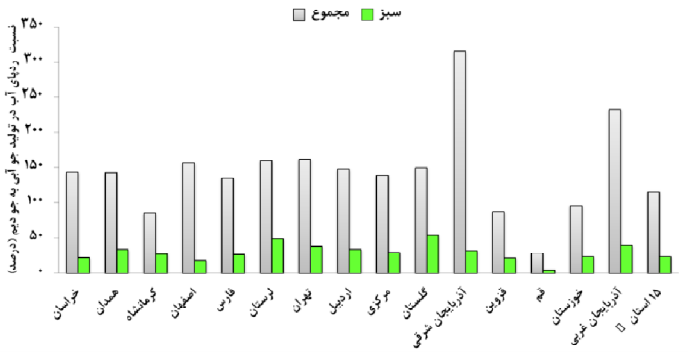
(آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱۴). بنابراین، از نقطه‌نظر مدیریت منابع آبی، کشت جو دیم نسبت به گندم دیم ارجحیت دارد.

استان‌های همدان، اصفهان و مرکزی به‌ترتیب با ۱۸، ۱۷ و ۱۶ درصد بیشترین سهم آب خاکستری را نسبت به مجموع ردپای آب در هر استان به خود اختصاص می‌دهند. با مصرف بهینهٔ کودهای شیمیایی، امکان کاهش سهم آب خاکستری وجود دارد. چراکه کود کمتری به سمت آب‌های زیرزمینی آبشویی‌شده و یا به‌وسیله رواناب سطحی به‌هدر می‌رود (جنکینسون، ۲۰۰۱ و نورس، ۲۰۰۵).



شکل ۴- اجزاء ردپای آب در اراضی جو دیم

در ۱۵ استان منتخب، ردپای آب در تولید جو آبی در حدود ۳۲ درصد بیشتر از اراضی دیم است (شکل ۵). با این وجود در سطح استان‌های مختلف از نظر ردپای آب در اراضی فاریاب و دیم اختلاف‌های قابل‌توجهی نیز مشاهده می‌شود که می‌توان بر این اساس، نوع کشت آبی یا دیم را در سطح این استان‌ها تعیین کرد. به‌عنوان مثال، نسبت ردپای آب مجازی در تولید جو آبی به جو دیم در آذربایجان شرقی در حدود ۳۱۴ درصد است، بنابراین افزایش تولید دیم و کاهش سطح اراضی آبی در این استان از نقطه‌نظر کاهش مصرف منابع آب قابل توصیه است. بر همین اساس، در استان قم نیز کشت جو به صورت دیم توجیه پذیر نیست.



شکل ۵- نسبت ردپای آب مصرفی در تولید جو آبی به جو دیم در استان‌های مختلف

حجم نهایی اجزاء مختلف ردپای آب در تولید جو در ۱۵ استان منتخب در جدول (۲) ارائه شده است. استان‌های خراسان، اصفهان و فارس به‌ترتیب با ۲۳۶۴، ۵۱۸ و ۴۹۸ میلیون مترمکعب در سال بیشترین ردپای آب در تولید جو در اراضی فاریاب کشور را به خود اختصاص می‌دهند. این حجم آب در تولید جو آبی برای این استان‌ها که با کمبود منابع آبی مواجه‌اند تأمل‌برانگیز است. دلیل حجم بسیار بالای ردپای آب در تولید جو در استان‌های خراسان، اصفهان و فارس، کشت وسیع جو آبی در این سه استان است. البته حجم زیاد ردپای آب خاکستری و سفید از دلایل دیگر بالابودن مجموع ردپای آب در تولید جو در اراضی آبی این استان‌ها بوده است.

در این سه استان، سهم ردپای آب خاکستری و سفید از مجموع ردپای آب در تولید جو آبی به‌ترتیب در حدود ۵۸، ٦۱ و ۵۳ درصد برآورد شد. در ۱۵ استان منتخب و در سطح کشور، در حدود ٥٤ درصد از مجموع ردپای آب در تولید جو آبی سهم ردپای آب خاکستری و سفید است. مجموع ردپای آب در تولید جو (NWF) در سطح کشور برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۰ به‌طور متوسط در حدود ۹۱۷۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌شود (روابط ۹ تا ۱۲) که ۳۷ درصد سهم آب سبز، ۱۹ درصد سهم آب آبی، ۱۷ درصد سهم آب خاکستری و ۲۷ درصد مربوط به آب سفید است. آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱٤) مجموع ردپای آب در تولید گندم کشور را سالانه در حدود ٤۲۱٤۳ میلیون مترمکعب برآورد و سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید را به‌ترتیب در حدود ٤۱، ۱۸، ۱٦ و ۲۵ درصد گزارش کردند. نسبت مجموع ردپای آب در تولید جو به گندم در حدود ۲۲ درصد برآورد شد. سهم آب خاکستری و سفید که بیانگر آلودگی زیست محیطی و تلفات سیستم‌های آبیاری است، در مزارع جو به‌ترتیب در حدود یک و دو درصد بیشتر از مزارع گندم است.

جدول ۲- مجموع حجم هریک از اجزاء ردپای آب در تولیدمحصول جو در ۱۵ استان منتخب

استان	WFT_{Irr} (MCM/year)				WFT_{RF} (MCM/year)		
	سبز	آبی	خاکستری	سفید	مجموع	سبز	خاکستری	مجموع
خراسان	۳۷۸	۶۱۹	۳۵۱	۱,۰۱۶	۲,۳۶۴	۱۶۰	۷	۱۶۸
همدان	۸۳	۱۰۶	۶۵	۱۳۵	۳۹۰	۸۱	۱۸	۹۹
کرمانشاه	۲۸	۱۹	۱۷	۲۶	۹۱	۳۵۵	۴۲	۳۹۸
اصفهان	۵۵	۱۴۹	۱۲۲	۱۹۳	۵۱۸	۶	۱	۷
فارس	۱۰۴	۱۲۸	۹۰	۱۷۶	۴۹۸	۱۳۵	۱۰	۱۴۵
لرستان	۱۹	۱۵	۸	۲۵	۶۷	۳۶۹	۴۳	۴۱۲
تهران	۷۵	۷۸	۸۵	۹۶	۳۳۵	۰	۰	۰
اردبیل	۴۶	۴۵	۳۱	۷۰	۱۹۲	۱۴۲	۱۰	۱۵۲
مرکزی	۷۱	۱۰۱	۶۱	۱۳۳	۳۶۷	۵	۱	۶
گلستان	۲۱	۱۴	۱۰	۲۱	۶۶	۱۴۲	۲۶	۱۶۸
آذربایجان شرقی	۲۵	۷۲	۲۸	۷۰	۱۹۵	۵۶	۹	۶۵
قزوین	۵۸	۶۰	۵۶	۷۱	۲۴۶	۲۳	۲	۲۶
قم	۴۶	۵۷	۷۰	۷۲	۲۴۵	۰	۰	۰
خوزستان	۴۸	۴۸	۳۴	۷۱	۲۰۱	۱۳۶	۲۴	۱۶۰
آذربایجان غربی	۳۰	۲۷	۸۱	۳۶	۱۷۳	۶۷	۵	۷۲
مجموع	۱,۰۸۸	۱,۵۴۰	۱,۱۰۷	۲,۲۱۳	۵,۹۴۸	۱,۶۷۸	۱۹۹	۱,۸۷۷
(m³/ton) AWF	۶۳۷	۹۰۱	۶۴۸	۱,۲۹۵	۳,۴۸۰	۲,۲۰۷	۲۶۲	۲,۴۶۹
(m³/ton) WAWF	۱,۱۲۰	۶۲۴	۵۲۹	۸۹۶	۳,۱۶۹			
(MCM) NWF: ۱۵ استان	۲,۷۶۶	۱,۵۴۰	۱,۳۰۶	۲,۲۱۳	۷,۸۲۵			
(MCM) NWF: کل کشور	۳,۳۶۳	۱,۷۶۱	۱,۵۱۸	۲,۵۳۱	۹,۱۷۲			

جدول (۳) سهم هر استان در اراضی فاریاب و دیم از مجموع ردپای آب مجازی در تولید جو در کل کشور را نشان می‌دهد. استان‌های خراسان، فارس و اصفهان به ترتیب با ۲۵/۸، ۵/۷ و ٥/٤ درصد بیشترین ردپای آب را در تولید جو آبی به خود اختصاص داده‌اند. این سه استان مجموعاً ۳٦/۹ درصد از مجموع حجم آب مصرفی در تولید جو کشور را به خود اختصاص می‌دهند. سهم ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید در این سه استان به‌ترتیب ۵۰/۹، ۱٦، ۳۷/۱ و ٥٤/۷ درصد است. در اراضی دیم نیز استان‌های لرستان، کرمانشاه، خراسان بزرگ و گلستان به ترتیب با ٤/٥، ٤/۳، ۱/۸ و ۱/۸ درصد و در مجموع در حدود ۱۲/٤ درصد از مجموع ردپای آب

جو را به خود اختصاص می‌دهند. در اراضی دیم، بیشترین سهم آب سبز از مجموع ردپای آب در تولید جـو کشـور، در اسـتان‌هـای لرسـتان (۱۱/۰ درصـد)، کرمانشـاه (۱۰/٦ درصد) و خراسان (٤/۸ درصد) برآورد مشاهده مـی‌شـود. سهم ۱۵ استان منتخب در این پژوهش در سهم ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیـب برابـر ۸۲/۲، ۸۷/٤، ۸٦/۱ و ۸۷/٤ درصد از کل کشور اسـت. همچنـین، ۸۵/۳ درصد از مجموع ردپای آب در تولید جو کشور مربوط به این ۱۵ استان است.

جدول ۳- سهم هر جزء ردپای آب از حجم کل آن جزء در تولید محصول جو در کل کشور

استان	WFT_{Irr}(%)					WFT_{RF}(%)		
	سبز	آبی	خاکستری	سفید	مجموع	سبز	خاکستری	مجموع
خراسان	۱۱/۳	۳۵/۱	۲۳/۱	۴۰/۱	۲۵/۸	۴/۸	۰/۵	۱/۸
همدان	۲/۵	۶	۴/۳	۵/۴	۴/۲	۲/۴	۱/۲	۱/۱
کرمانشاه	۰/۸	۱/۱	۱/۱	۱	۱	۱۰/۶	۲/۸	۴/۳
اصفهان	۱/۶	۸/۵	۸	۷/۶	۵/۷	۰/۲	۰/۱	۰/۱
فارس	۳/۱	۷/۳	۵/۹	۷	۵/۴	۴	۰/۶	۱/۶
لرستان	۰/۶	۰/۹	۰/۵	۱	۰/۷	۱۱	۲/۹	۴/۵
تهران	۲/۲	۴/۴	۵/۶	۳/۸	۳/۷	۰	۰	۰
اردبیل	۱/۴	۲/۶	۲	۲/۸	۲/۱	۴/۲	۰/۷	۱/۷
مرکزی	۲/۱	۵/۸	۴	۵/۳	۴	۰/۲	۰/۱	۰/۱
گلستان	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۴/۲	۱/۷	۱/۸
آذربایجان شرقی	۰/۸	۴/۱	۱/۸	۲/۸	۲/۱	۱/۷	۰/۶	۰/۷
قزوین	۱/۷	۳/۴	۳/۷	۲/۸	۲/۷	۰/۷	۰/۲	۰/۳
قم	۱/۴	۳/۳	۴/۶	۲/۹	۲/۷	۰	۰	۰
خوزستان	۱/۴	۲/۷	۲/۲	۲/۸	۲/۲	۴	۱/۶	۱/۷
آذربایجان غربی	۰/۹	۱/۵	۵/۳	۱/۴	۱/۹	۲	۰/۳	۰/۸
مجموع	۳۲/۴	۸۷/۴	۷۲/۹	۸۷/۴	۶۴/۸	۴۹/۹	۱۳/۱	۲۰/۵
مجموع اراضی آبی و دیم	۸۲/۲	۸۷/۴	۸۶/۱	۸۷/۴	۸۵/۳			

نتیجه‌گیری

مفهوم ردپای آب مجازی به مدیریت تخصـیص منابع آب به خصوص در بخش کشاورزی کمـک مـوثری خواهد کرد. در این پژوهش، علاوه بر ردپـای آب سـبز و آبی که اهمیـت زیـادی در تولیـد محصـولات کشـاورزی دارند، اجزاء آب خاکستری و سفید نیز برای محصول جو در سطح ۱۵ استان مهم تولیدکننـدهٔ جـو در کشـور مـورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که مجموع ردپای آب در تولید جو در سطح کشور بـرای دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۰ به‌طور متوسط در حدود ۹۱۷۲ میلیون مترمکعـب در سـال است. از این میزان سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب ۳۷، ۱۹، ۱۷ و ۲۷ درصد برآورد شـد. همچنـین، در حدود ۸۵ درصد از مجموع ردپای آب در تولید جو در سطح کشور، مربوط به ۱۵ استان منتخب است. نکتهٔ قابـل توجه این‌که ٤٤ درصد از مجموع ردپای آب در تولید جو در کشـور سـهم ردپـای آب خاکسـتری و سـفید اسـت. مجموع ردپای آب خاکستری و سفید در تولیـد گنـدم در کشور نیز ٤۱ درصد گزارش شده است. بنابراین، می‌تـوان نتیجه گرفت کشـاورزان مصـرف کـود و سیسـتم آبیـاری تقریبا یکسانی را در مزارع هر دو محصول اسـتفاده مـی-کنند. هرچند که این میزان آب به چرخه آبـی کشـور بـاز می‌گردد، اما کاهش کیفیت آب و گـاه از دسـترس خـارج شدن آن موضوعی است که باید مورد توجه برنامـه‌ریـزان قرار داشته باشد. در بین ۱۵ استان منتخب، متوسط مجموع ردپای آب در اراضی فاریاب در حـدود ۳۲۰۹ مترمکعـب بر تن است که سهم آب سبز و آبی به‌ترتیب در حدود ۲۰ و ۲٦ درصد از ردپای آب در تولید جو آبی است. این در حالی است که مجموع ردپای آب در تولید گنـدم آبـی در

کشور ۳۱۸۸ مترمکعب بر تن برآورد شده که سهم آب سبز و آبی در حدود ۲۳ و ۲۵ درصد است. بنابراین، اختلاف چندانی بین ردپای آب در تولید گندم و جو آبی وجود ندارد. متوسط مجموع ردپای آب در جو دیم در حدود ۲۵۹٤ مترمکعب بر تن برآورد می‌شود که در آن، سهم آب سبز در حدود نه برابر سهم آب خاکستری است. ردپای آب در تولید گندم دیم در کشور ۳۰۷۱ مترمکعب بر تن برآورد شده است. همچنین ردپای آب سبز نه برابر ردپای آب خاکستری در تولید گندم دیم است. لذا، کشت جو نسبت به گندم به صورت دیم به دلیل ردپای آب کمتر برتری دارد.

بر همین اساس، به نظر می‌رسد برآورد اجزاء ردپای آب در فرآیند تولید (چه در بخش کشاورزی و چه در بخش صنعت) می‌تواند به‌عنوان جزئی مهم از مطالعات آمایش سرزمین مدنظر قرار گیرد. چنین مطالعاتی با مشخص ساختن مناطق با بالاترین سهم از هریک از اجزاء ردپای آب، امکان مدیریت هدفمندتر و اعمال راهبردهای مؤثرتر برای مدیریت منابع آب با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را ممکن می‌سازند. همچنین، به منظور برآورد دقیق‌تر اجزاء ردپای آب در حوزهٔ تولیدات گیاهی (به ویژه غلات)، استفاده از مدل‌های گیاهی توصیه می‌شود. این مدل‌ها، با لحاظ کردن کلیهٔ عوامل مؤثر بر نیاز آبی و عملکرد محصول، امکان برآورد دقیق‌تر این اجزاء را در هر مقیاس مکانی فراهم ساخته و نیز بررسی روند تغییرات این عوامل و اجزاء ردپای آب در طول زمان و تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی و مدیریتی را نیز ممکن می‌سازند.

فهرست 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. J. Environ. Process, 1: 193-205.
2. Ababaei, B., Sohrabi, T. and Mirzaei, F. 2014. Development and application of a planning support system to assess strategies related to land and water resources for adaptation to climate change. Climate Risk Management, 6: 39-50. doi:10.1016/j.crm.2014.11.001
3. Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza.Agr. Syst., 103: 351–360.
4. Aldaya, M.M., Allan, J.A., and Hoekstra, A.Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. Ecological Economics, 69(4): 887–894.
5. Allan, J.A. 1997. Virtual water: A long-term solution for water short Middle Eastern economies. Paper presented at the 1997 British Assoc. Festival of Sci., University of Leeds, UK.
6. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Drainage and Irrigation Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome.
7. Antonelli, M. and Sartori, Y. 2015. Unfolding the potential of the virtual water concept. What is still under debate? Environmental science & policy, 50 (2), 240 – 251.
8. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. 2004. Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
9. Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C. and Abbaspour, K. 2010. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 7 (3): 2609-2649.

10. Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y. and Van der Meer, T.H. 2009. The water footprint of bioenergy. Proceedings of the National Academy of Sciences,106(25): 10219-10223.
11. Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management, 21(1): 35–48.
12. Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
13. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2009. Water footprint manual: State of the art 2009, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
14. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
15. 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 No. 11, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
16. Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. 2005. Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. Global Environmental Changes, 15(1): 45–56.
17. Hoff, H., Falkenmark, M., Gerten, D., Gordon, L., Karlberg, L. and Rockstr'om, J. 2010. Greening the global water system. Journal of Hydrology, 384: 177–186.
18. Jenkinson, D.S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. Plant and Soil, 228(1): 3–15.
19. Liu J. and Yang H. 2010. Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: green and blue water. Journal of Hydrology, 384: 187–197.
20. Liu, J., Williams, J.R., Zehnder, A.J.B. and Yang, H., 2007. GEPIC – modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. Agricultural Systems, 94: 478–493.
21. Liu, J., Zehnder, A.J.B. and Yang, H. 2009. Global consumptive water use for crop production: The importance of green water and virtual water. Water Resources Research. 45, W05428, DOI:10.1029/2007WR006051.
22. Mekonnen M.M. and Hoekstra, A.Y. 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 1259-1276.
23. Mitchell, T.D., Jones, P.D., An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. International Journal of Climatology, 25: 693–712.
24. Molden, D. 2007. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture, Earthscan, London, UK.
25. Norse, D. 2005. Non-point pollution from crop production: Global, regional and national issues. Pedosphere, 15(4): 499–508.
26. Portmann, F., Siebert, S., Bauer, C., and Doll, P. 2008. Global data set of monthly growing areas of 26 irrigated crops. Frankfurt Hydrology Paper 06, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany.
27. Sacks, W.J., Deryng, D., Foley, J.A. and Ramankutty, N. 2009. Crop planting dates: An analysis of global patterns. Global Ecology and Biogeography, 19(5): 607-620.

28. Siebert, S. and Doll, P. 2008. The global crop water model (GCWM): Documentation and first results for irrigated crops, Frankfurt Hydrology Paper 07, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany.
29. Siebert, S. and Doll, P. 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. Journal of Hydrology, 384: 198–207.
30. Tian, G. 2013. Effect of Consumption of Livestock Products on Water Consumption in China Based on Virtual Water Theory. International Conference on Future Information Engineering, 5 (3):112 – 117.
31. Wackernagel, M., and Jonathan, L. 2001. Measuring sustainable development: Ecological footprints. Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
32. Wackernagel, M., Onisto, L., Linares, A.C., Falfan, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, I.S., and Guerrero, M.G.S. 1997. Ecological footprints of nations: How much nature do they use? How much nature do they have? Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
33. Wackernagel, M., and Rees, W. 1996. Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.
34. Wang, Y.D., Leeb, J.S., Agbemabiesea, L., Zamea, K. and Kang, S. 2015. Virtual water management and the water–energy nexus: A case study of three Mid-Atlantic. Resources, Conservation and Recycling, 98(3):76–84.
35. WWAP, 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world, World Water Assessment Programme, UNESCO Publishing, Paris/Earthscan, London.
36. Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C. and Zehnder, A.J. 2006. Virtual water highway: water use efficiency in global food trade. Journal Hydrology and Earth System Sciences, 3 (1):1–26.
37. Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C. and Zehnder, A.J.B. 2006. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. Hydrology and Earth System Sciences, 10: 443–454, DOI:10.5194/hess-10-443-2006.