



<p>A meta-analysis of global crop water productivity of three leading world crops (wheat, corn, and rice) in the irrigated areas over three decades</p>	<p>عنوان انگلیسی ترجمه</p>
<p>فرا تحلیل بهره‌وری آب در سطح جهان برای سه محصول عمده (گندم، ذرت و برنج) در مناطق تحت آبیاری در طول سه دهه</p>	<p>عنوان فارسی ترجمه</p>
<p>International Journal of Digital Earth</p>	<p>منبع ترجمه</p>
<p>مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران</p>	<p>واحد تهیه‌کننده</p>
<p>زینب آل کثیر</p>	<p>مترجم</p>
<p>راحد ملکیان - محمد مهدی فارسی</p>	<p>ویراستاران</p>
<p>ارو بهشت ۱۴۰۰</p>	<p>تاریخ صدور نسخه</p>
<p>۱</p>	<p>شماره نسخه</p>
<p>۶۹</p>	<p>تعداد صفحات</p>
<p>قابل استناد - قابل انتشار</p>	<p>طبقه بندی</p>
<p>مسئول تایید کننده</p>	<p>مسئول تهیه کننده</p>
<p>مهندس عباس کشاورز - مهندس محمد حسین شریعتدار</p>	<p>راحد ملکیان</p>

## فرا تحلیل بهره‌وری آب در سطح جهان برای سه محصول عمده (گندم، ذرت و برنج) در مناطق تحت آبیاری در طول سه دهه

Daniel J. Foley , Prasad S. Thenkabail , Itiya P. Anece , Pardhasaradhi G.  
Teluguntla & Adam J. Oliphant

### چکیده

هدف از این مطالعه، ارائه تحلیل بهره‌وری آب گیاه (CWP) در کشاورزی آبی از سه محصول عمده جهان شامل گندم، ذرت و برنج در طول سه دهه بر اساس مطالعات مبتنی بر سنجش از دور و عدم کاربرد سنجش از دور می‌باشد. در این مطالعه، داده‌های بهره‌وری آب گیاه (CWP) از ۱۴۸ محدوده مطالعاتی در سراسر جهان (۶۰ گندم، ۴۳ ذرت و ۴۵ برنج) از مقالات منتشر شده در ۳۱ کشور مختلف جمع‌آوری شدند. شواهد قاطعی از افزایش قابل توجه در مقدار بهره‌وری آب (CWP) با افزایش عرض جغرافیایی برای مجموعه داده‌های نیم‌کره شمالی وجود داشت. به عنوان مثال، ذرت در عرض جغرافیایی ۵۰ - ۴۰ درجه دارای میانگین بالاتر CWP (۲/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) در مقایسه با میانگین CWP ذرت کشت شده در عرض‌های جغرافیایی دیگر مانند ۴۰ - ۳۰ درجه (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) یا ۳۰ - ۲۰ درجه (۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب) بود. روند مشابهی برای گندم و برنج نیز مشاهده شد. در بررسی اثر خاک، هیچ یک از مقادیر CWP، برای هر یک از سه محصول، از نظر آماری متفاوت نبود و میانگین CWP در عرض‌های جغرافیایی بالاتر به طور قابل توجهی بالاتر از میانگین CWP برای همان خاک در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر بود. برای هر سه محصول مورد مطالعه، دسته‌بندی مقادیر بهره‌وری آب گیاه انجام شد. برای گندم، CWP جهانی در سه دسته‌بندی کم ( $\geq 0/75$  کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط ( $< 0/75$  تا  $\geq 1/10$  کیلوگرم بر مترمکعب) و بالا ( $\leq 1/10$  کیلوگرم بر مترمکعب) قرار گرفت. برای ذرت، CWP جهانی در سه دسته‌بندی کم ( $\geq 1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط ( $< 1/25$  تا  $\geq 1/75$  کیلوگرم بر مترمکعب) و بالا ( $< 1/75$  کیلوگرم بر مترمکعب) قرار گرفت. برای برنج، CWP جهانی در سه دسته‌بندی کم ( $\geq 0/7$  کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط ( $< 0/7$  تا  $\geq 1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب) و بالا ( $< 1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب) قرار گرفت. آمریکا و چین تنها کشورهایی هستند که همواره CWP بالایی برای گندم، ذرت و برنج دارند. استرالیا و هند CWP متوسطی برای گندم و برنج دارند. از طرفی، هند CWP پایینی برای ذرت دارد. مصر، ترکیه، هلند، مکزیک و اسرائیل CWP بالایی برای گندم دارند. رومانی، آرژانتین و مجارستان CWP بالایی برای ذرت دارند و فیلیپین CWP بالایی برای برنج دارد. مقادیر CWP برای سایر کشورها برای هر سه محصول کم یا متوسط است. بر اساس داده‌های این مطالعه، بزرگترین مصرف‌کننده‌های آب برای تولید گیاهان، بیشترین پتانسیل برای صرفه‌جویی آب را دارا هستند. این کشورها شامل آمریکا، هند و چین برای گندم؛ آمریکا، چین و برزیل برای ذرت؛ هند، چین و پاکستان برای برنج می‌باشند. به‌عنوان مثال، حتی ۱۰ درصد افزایش در CWP گندم در هند می‌تواند ۶۹۷۴ میلیارد لیتر آب صرفه‌جویی کند که می‌تواند معادل ایجاد ۶۹۷۴ دریاچه در هر ۱۰۰ مترمربع شود و مزایای زیادی مانند ذخیره آب برای تفریح و بسیاری از خدمات زیست محیطی به همراه دارد.



این مطالعه، میزان حجم آبی را که می‌تواند به ازای افزایش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ در مقدار CWP برای هر محصول در هر کشور صرفه‌جویی شود را مشخص می‌کند.

## ۱- مقدمه

زمین‌های کشاورزی بیش از ۵۰ درصد کشورهای اروپایی، جنوب آسیا و بسیاری دیگر از نقاط جهان را تصرف کرده‌اند (Thenkabail, 2017). در حال حاضر، حدود ۱۲٫۶٪ از مناطق بدون یخ جهان به عنوان مزارع زراعی و ۲۶ درصد دیگر تحت عنوان مراتع برای چرای دام‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Monfreda, Ramankutty, and Foley 2008; Foley et al. 2011). زمین‌های کشاورزی در سطح جهان، ۷۰ تا ۹۰ درصد آب جهان را مصرف می‌کنند (Thenkabail, 2010; Weda, Van Beek, and Bierkens, 2012). این واقعیت به وضوح نشان می‌دهد که گسترش مزارع زراعی یا تخصیص بیشتر آب برای تولید مواد غذایی بیشتر، دیگر نمی‌تواند گزینه‌های مناسبی برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان باشد. انتظار می‌رود در سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۱۰ میلیارد و در پایان قرن بیست و یکم به بیش از ۱۱ میلیارد برسد (Thenkabail et al, 2010; UN 2017). علاوه بر این، پیش‌بینی می‌شود افزایش تقاضای مواد غذایی جهانی از میزان فعلی ۲۸۳۱ کیلوکالری برای هر نفر در هر روز (kcal/person/day) در سال ۲۰۰۹ به ۳۱۲۹ کیلو کالری برای هر نفر در روز تا سال ۲۰۵۰ برسد (Pardey et al. 2014).

سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) برای برآورده کردن این افزایش تقاضای مواد غذایی، پیش‌بینی کرده است که تولید جهانی غذا باید تا ۷۰ درصد افزایش یابد و ۱۲۰ میلیون هکتار به زمین‌های زراعی در کشورهای در حال توسعه افزوده شود. این در حالیست که در کشورهای پیشرفته، پتانسیل از بین رفتن ۵۰ میلیون هکتار اراضی زراعی (FAO, 2009a) نسبت به ۱٫۸۷۳ میلیارد هکتار زمین‌هایی که در حال حاضر تحت کشت هستند، وجود دارد (Thenkabail, 2017). با این حال، این مسئله‌ای پذیرفته شده است که توسعه زمین‌های کشاورزی و افزایش تخصیص آب برای تولید بیشتر غذا پایدار نیست و هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی بسیار سنگینی را در بر خواهد داشت.

علاوه بر این، هر گونه توسعه کشاورزی با حذف جنگل‌های گرمسیری و/یا ساواناها و/یا تالاب‌ها که برای سلامت کره زمین حیاتی هستند، می‌تواند منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای (GHG) شود. (Foley, 2015). کشاورزی در حال حاضر حدود ۲۵٪ از گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کند و در رتبه دوم پس از سوخت‌های فسیلی قرار دارد. دلیل اصلی آن تغییر جنگل‌های طبیعی و علفزارهای طبیعی به مراتع و زمین‌های زراعی است (Marshall and Thenkabail 2014 a, 2015 b; Vermeulen et al. 2013; Stocker et al. 2014).

رشد سریع اجتماعی- اقتصادی توأم با متنوع‌شدن رژیم‌های غذایی در جهان و مصرف بیشتر گوشت، افزایش تقاضای منابع محدود آب را به دنبال خواهد داشت (Cao et al. 2016). علاوه بر این، آب شیرین با سرعت بیشتری برای اهداف غیرکشاورزی از جمله: شهرنشینی (Deyong et al. 2009)، صنعتی‌شدن (Liu et al. 2005)، نیازهای اکوسیستمی و جریان‌های زیست‌محیطی (Gordon, Finlayson, and Falkenmark, 2010)، حفاظت از کیفیت آب، تفریحات و دیگر مورد نیاز می‌باشد (Thenkabail et al. 2011, Gordon, Peterson, and Bennett, 2008). این رقابت بر سر آب شیرین مشکلات فراوانی را در بخش‌های مختلف مصرف آب ایجاد می‌کند که برای جلوگیری از تنازعات و درگیری‌ها نیاز به استفاده کارآمدتر از آب خواهد بود.



در دهه‌های آینده، تغییرات اقلیم ممکن است چالش‌های بیشتری را برای تولید محصولات کشاورزی ایجاد کند و احتمال وقایعی مانند سیل، خشکسالی و طوفان را افزایش دهد (Licker et al. 2010). انتظار می‌رود که این امر هم بر کشت آبی و هم کشت دیم تأثیر بگذارد. به منظور افزایش غذا و منابع تغذیه در سال‌های آینده، انتظار می‌رود برداشت آب برای آبیاری تا سال ۲۰۵۰، ۱۱٪ یا ۲۸۶ کیلومتر مکعب در سال افزایش یابد (FAO 2009b). کشاورزی آبی در حال حاضر حدود ۴۰٪ از غذای جهان را از حدود ۲۰٪ از مناطق زراعی جهان تولید می‌کند (Thenkabail et al. 2009). تغییرات اقلیمی پیامدهای ناگواری نه تنها برای توسعه آبیاری، بلکه برای حفظ آبیاری موجود خواهند داشت. آبیاری اغلب به زیرساخت‌های پرهزینه و سرمایه‌گذاری‌های کلان نیاز دارد و به‌طور فزاینده‌ای به محیط‌های بومی آسیب می‌زند و اغلب از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی ناپایدار است. کشاورزی آبی یکی از عوامل تأثیرگذار در CWP است، زیرا می‌تواند رابطه بین غذا و آب که از شاخص‌های اصلی ارزیابی کشاورزی آبی در شرایط تغییر اقلیم است را نشان دهد. افزایش بهره‌وری آب گیاه (CWP) امری ضروری برای تطبیق‌دادن تولید غذا با کاهش یافتن آب در دسترس می‌باشد. تصمیم‌گیری درباره بهبود CWP نیازمند اطلاعات در ارتباط با مصرف آب و راندمان است (Brauman, Siebert, and Foley 2013). این اطلاعات به ما امکان تولید "محصول بیشتر در ازای هر قطره آب" را می‌دهد. بنابراین به افزایش تولید مواد غذایی از طریق کاهش تخصیص زمین و آب کمک می‌کند. CWP بهبود یافته یکی از مؤلفه‌های اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی است که باعث افزایش دسترسی به آب در مصارف شهرنشینی می‌شود (Molden et al. 2010; Molle and Berkoff 2006) و یک عنصر اصلی برای افزایش تولید مواد غذایی در مناطق در حال توسعه خواهد بود. در این مناطق ۸۰٪ افزایش جمعیت قابل پیش‌بینی رخ خواهد داد و CWP دارای تغییرات شدید در داخل مزارع و بین مزارع می‌باشد (Cai and Rosegrant 2003).

دو روش اصلی برای افزایش CWP وجود دارد: ۱- افزایش عملکرد محصول بدون استفاده از آب بیشتر، یا ۲- کاهش آب به ازای تولید محصول مشابه و یا بیشتر. برای افزایش CWP در مقیاس جهانی، درک صحیح از میزان آب مصرفی، محل مصرف و تغییرپذیری آن برای تولید مقدار مشخصی محصول در یک منطقه بسیار مهم خواهد بود. به این منظور و برای مدل‌سازی، تهیه نقشه و پایش CWP محصولات مختلف در مکان و زمان‌های مختلف نیاز به تکنولوژی‌های مکانی می‌باشد. این تکنولوژی به ما کمک می‌کند که مناطقی که CWP در آنها زیاد، متوسط یا کم است را تعیین کرده و ضمن بررسی علل ایجاد تغییرات، راهکارهایی برای افزایش CWP جهت دستیابی به CWP بهینه را به دست آوریم. "تعیین مکان‌های دارای مقادیر پایین این پارامتر مفید است، زیرا در مواردی که کارایی پایین است، بهبود کارایی راحت‌ترین راهکار است" (Rockstrom and Barron 2007; Ali and Talukder 2008). از جمله محاسن افزایش CWP شامل کمک به کاهش فقر در حین بهبود عدالت و احیای محیط‌زیست می‌باشد (Molden et al. 2007).

تغییرات گسترده CWP در داخل و بین مزارع مسئله‌ای شناخته شده است. دلایل این تغییرات را می‌توان به فاکتورهای زیادی مانند تغییرات مکانی و زمانی بارندگی، خصوصیات فیزیکی خاک، حاصلخیزی خاک، شیب و مدیریت آبیاری نسبت داد (Bastiaanssen and Steduto 2017). از این‌رو، تهیه نقشه‌های جهانی و تعیین بنچ‌مارک CWP نسبت به بسیاری از عوامل تأثیرگذار در این پارامتر، به منظور بهبود آن در مکان‌های مختلف، نیاز است. در برخی مطالعات قبلی میانگین مقادیر CWP و یا مقادیر بنچ‌مارک برای محصولات عمده در جهان از جمله گندم، ذرت و برنج با



استفاده از روش‌های مختلفی مانند مرور مطالعات بین‌المللی انجام شده (Zwart and Bastiaanssen 2004)، روش‌های آماری (Chapagain and Hoekstra 2004; Mekonnen and Hoekstra 2011, 2014) و یا مدل‌سازی (Bastiaanssen, Miltenburg, and Zwart 2010; Siebert and Döll 2010; Zwart et al. 2010) ارائه شده است. با این حال، به یک بررسی مبتنی بر فراتحلیل CWP بر مبنای مطالعات موجود در سراسر جهان جهت دستیابی به درک جامع، عمیق و همه‌جانبه از وضعیت CWP در مزارع زراعی جهان نیاز است.

با توجه به موارد فوق، هدف اصلی این مطالعه انجام یک فراتحلیل در مورد تغییر CWP در مزارع کشاورزی تحت آبیاری در جهان است. برای این منظور، صدها مطالعه منتشر شده بررسی گردید تا مقادیر CWP گندم، ذرت و برنج اندازه‌گیری شده گردآوری گردد. CWP این سه محصول با در نظر گرفتن ۱۴۸ منطقه کشت آبی از ۳۱ کشور مختلف (۱۸ مورد برای گندم، ۱۳ مورد برای ذرت و ۱۶ مورد برای برنج) ارزیابی شد.

در این مطالعه روابط مکانی CWP گندم، ذرت و برنج به‌وسیله نقشه‌های CWP نسبت به سه متغیر کلیدی: (۱) اقلیم، (۲) عرض جغرافیایی و (۳) خاک ارزیابی گردید. انتظار می‌رود که چنین فراتحلیلی به پاسخ به پرسش‌های زیر کمک کند: وضعیت کنونی CWP برای این محصولات عمده در جهان چگونه است؟ میزان تغییرات CWP این محصولات نسبت به مکان و زمان چیست؟ کدام مناطق زراعی جهان دارای نرخ بالا، متوسط و یا پایین مقدار CWP این محصولات هستند؟ علل این تغییرات چیست؟ بهترین فرصت‌ها از نظر مکانی برای افزایش CWP جهت تولید غذای بیشتر با آب کمتر و زمین کمتر در کجا قرار دارند؟

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تعریف بهره‌وری آب گیاه (CWP)

CWP می‌تواند به صورت نسبت عملکرد محصول ( $\text{kg/m}^3$ ) به میزان آب مصرفی ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ) و یا تولید مقدار مشخصی از محصول به ازای میزان مشخص ورودی تعریف شود (Biradar et al. 2008; Platonov et al. 2008; Cai et al. 2009). همچنین، مفهوم CWP به عنوان "میزان محصول تولیدی به ازای مصرف هر قطره" شناخته شده است که می‌تواند به عنوان معیاری برای سود خالص از سیستم‌های کشاورزی نسبت به حجم آب مصرفی مورد استفاده قرار گیرد. CWP از برگرفته از کارایی مصرف آب (WUE) است که توسط فیزیولوژیست‌های زراعی به عنوان میزان تثبیت کربن و عملکرد محصول به ازای واحد تعرق توسط Viets (۱۹۶۲) تعریف شد و سپس به نسبت عملکرد محصول به واحد تبخیر و تعرق تغییر کرد (Kijne et al. 2003). WUE بعداً توسط متخصصان آبیاری به چگونگی تحویل مؤثر آب به محصولات کشاورزی و تعیین بخشی از هدر رفت آب تعبیر شد. با این حال، این تعریف می‌تواند در برخی موارد گمراه‌کننده باشد (Seckler, Molden, and Sakthivadivel 2003).

CWP را می‌توان به دو روش اقتصادی و فیزیکی که در معادلات (۱) و (۲) ذکر شده به‌دست آورد (Nhamo, Mabhaudhi, and Magombeyi 2016). CWP اقتصادی عبارت است از میزان منافع اقتصادی حاصل از تولید محصول نسبت به مقدار آب مصرفی (ورودی) ( $\$/\text{m}^3$ ) (Molden 1997). CWP همچنین می‌تواند به عنوان بهره‌وری آب از دیدگاه ارزش مواد غذایی محاسبه شود که محتوای ارزش غذایی به ازای هر واحد آب مصرفی را توصیف می‌کند



(Renault and Wallender 2000) و با واحد تغذیه در مترمکعب اندازه‌گیری شود (معادله (۳)). به دلیل اینکه مطالعات بررسی شده در این تحلیل عمدتاً بر مقادیر CWP فیزیکی متمرکز بودند، این مطالعه نیز بر CWP فیزیکی متمرکز است. CWP فیزیکی به صورت نسبت عملکرد محصول یا زیست توده در واحد سطح و یا بهره‌وری تولید محصول در واحد سطح ( $\text{kg/m}^2$ ) تقسیم بر میزان آب مصرفی در واحد سطح یا تبخیر و تعرق واقعی ( $\text{ET}_a$ ) ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ) مطابق معادله (۲) تعریف می‌شود (Teixeira et al. 2015).  $\text{ET}_a$  یا آب مصرفی گیاه می‌تواند مستقیماً از روش‌ها و رویکردهای سنجش از دور اندازه‌گیری شود (Cai et al. 2009; Marshall et al. 2016). اندازه‌گیری میدانی تبخیر و تعرق اغلب زمان‌بر و دارای خطای انسانی بوده و نیازمند تعیین پارامترهای بیلان آب از جمله آب تحویلی، جریان خروجی و نفوذ عمقی در مزرعه است و به همین دلیل نیازمند تجهیزات، نیروی انسانی و انرژی می‌باشد (Platonov et al. 2008). از طرفی، تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از سنجش از دور در مناطق بزرگ در یک بازه زمانی و در فواصل زمانی منظم اندازه‌گیری می‌شود.

بهره‌وری اقتصادی آب گیاه =  $\text{ET}_a$  = تبخیر و تعرق واقعی.

$$CWP \left( \frac{\$}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{ارزش اقتصادی محصول} \left( \frac{\$}{\text{m}^2} \right)}{\text{حجم آب مصرفی} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \right) \text{ یا } \text{ET}_a} \quad (1)$$

بهره‌وری فیزیکی آب گیاه =  $\text{ET}_a$  = تبخیر و تعرق واقعی.

$$CWP \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{میزان عملکرد گیاه} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{حجم آب مصرفی} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \right) \text{ یا } \text{ET}_a} \quad (2)$$

بهره‌وری ارزش مواد غذایی آب گیاه = NP = میزان مواد غذایی محصولات به ازای هر کیلوگرم محصول.

$$CWP \left( \frac{\text{ارزش غذایی}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{عملکرد فیزیکی گیاه} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{حجم آب مصرفی} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \right)} \quad (3)$$

## ۲-۲- داده‌های CWP

گندم، ذرت و برنج، سه محصول عمده جهان که بطور گسترده در جهان کشت می‌شوند، برای این فراتحلیل انتخاب شدند. در مجموع این محصولات ۳۱٫۹٪ از کل سطح زمین‌های زراعی جهانی را شامل می‌شوند (جدول ۱).

از این ۵۶۹/۳ میلیون هکتار زمین‌های زراعی، ۳۸/۷ درصد گندم، ۳۳/۳ درصد ذرت و ۲۸/۱ درصد برنج می‌باشد (FAO, 2016). در این مطالعه مقادیر CWP اندازه‌گیری شده بررسی و از مقادیر CWP ذکر شده توسط (Zwart

and Bastiaansse) نیز استفاده گردید (۲۰۰۴). بررسی گسترده CWP، از ۱۴۸ محل کشت محصولات در سراسر جهان که از ۶۰ محل برای گندم، ۴۳ محل برای ذرت و ۴۵ محل برای برنج در نظر گرفته شد.

جدول ۱- توزیع جهانی سطح کشت محصولات (فائو، ۲۰۱۶؛ مساحت کل زمین‌های زراعی = ۱۸۷۳ میلیون هکتار)

نوع گیاه	مساحت کل (میلیون هکتار)	درصد کل سطح کشت زمین‌های زراعی در جهان (%)	درصد کل سطح کشت گندم، ذرت و برنج (%)
گندم	۲۲۰	۱۲،۳	۳۸،۷
ذرت	۱۸۹	۱۰،۶	۳۳،۳
برنج	۱۵۶	۹	۲۸،۱
مجموع	۵۶۹	۳۱،۹	۱۰۰

داده‌های مورد استفاده جهت فراتحلیل شامل ۱۱۱ منبع (۴۶ مقاله برای گندم، ۳۱ مورد برای ذرت و ۳۴ مورد برای برنج) به همراه برخی اطلاعات که در هر مطالعه برای محل رشد محصول مورد نیاز بود در نظر گرفته شده است (جدول ۲). مطالعاتی که در آن‌ها روش آبیاری مشخص نیست و یا منبع آب تعیین نشده حذف شده‌اند. همچنین، مطالعات CWP کمی در مناطق دیم انجام شده و از این رو در این فراتحلیل به دلیل تعداد کم داده‌ها مورد استفاده قرار نگرفت. بنابراین، این فراتحلیل در مناطق تحت کشت آبی این سه محصول متمرکز شده است.

داده‌های مربوط به مطالعات CWP محصولات تحت کشت آبی گندم، ذرت و برنج بر اساس نوع محصول، میانگین CWP، سال، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و منبع مطالعه مرتب شدند. از ۱۴۸ مورد محل کشت محصولات مختلف: بیشترین تعداد مطالعات برای گندم با ۶۰ محل در ۱۹ کشور و ۶ قاره، برای ذرت ۴۳ محل در ۱۳ کشور و ۶ قاره و برای برنج ۴۵ محل در ۱۸ کشور و ۴ قاره انتخاب شد. در ارزیابی اولیه داده‌ها تغییرات معنی‌داری در میانگین مقادیر CWP وجود داشت: ۱/۶۸ - ۰/۵ کیلوگرم در مترمکعب ( $\text{kg/m}^3$ ) برای گندم، ۳/۰۹ - ۰/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب ( $\text{kg/m}^3$ ) برای ذرت، و ۱/۴۸ - ۰/۳۳ کیلوگرم در مترمکعب ( $\text{kg/m}^3$ ) برای برنج. مطالعاتی که یک سال بعد از انجام این مطالعه انجام شد نیز آورده شده‌اند. داده‌ها به یک سیستم اطلاعات جغرافیایی ESRI ArcMap (GIS) وارد شدند. سپس از GIS جهت ترسیم نقشه‌های مکانی برای ایجاد ارتباط مکانی CWP گندم، ذرت و برنج در محل‌های مورد نظر براساس پارامترهای اقلیمی، نوع خاک و عرض جغرافیایی استفاده شد.

مقیاس زمانی داده‌های CWP برای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به طولانی مدت بودن این بازه زمانی تأثیر پیشرفت‌های فناوری بر ماهیت CWP مشخص می‌شود. یک رویکرد منطقی نرمال‌سازی این داده‌ها بر اساس پیشرفت‌های تکنولوژیکی از نظر عواملی مانند مکانیزاسیون، ورودی‌ها (کودهای N, K, P) و ژنوم‌ها است. با این حال، به سه دلیل نرمال‌سازی صورت نگرفت و یا مورد نیاز تشخیص داده نشد:

۱- داده‌های کافی برای اغلب ۱۴۸ محل مورد مطالعه برای بررسی فاکتورهای مؤثر در "گرایش‌های فن‌آوری" و اینکه مثلاً چگونه تکنولوژی توانسته در زمینه مکانیزاسیون یا ورودی‌ها نسبت به زمان تغییر کند، وجود نداشت (جدول ۲).





۲- تقریباً ۷۵٪ داده‌ها مربوط به بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۸ بوده است که یک دوره زمانی نزدیک بود. بنابراین، هر نوع نرمال‌سازی داده‌ها بدون داده‌های اولیه (به عنوان مثال مکانیزاسیون، ورودی‌ها، برای مکان‌های مطالعه خاص در جدول ۲) برای انجام نرمال‌سازی می‌تواند باعث عدم قطعیت بیشتری نسبت به دیگر موارد شود.

۳- به دلایل مشابه در موارد ۱ و ۲، در مطالعه‌ای که قبلاً در مورد CWP جهانی انجام شده بود نیز نرمال‌سازی بعنوان یک رویکرد عملی پذیرفته نشد.

### ۳-۲- روش‌های فراتحلیل

داده‌های CWP گردآوری شده در این مطالعه به گروه‌های مجزا طبقه‌بندی شده و سپس با استفاده از روش‌های آماری که در زیر شرح داده شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

#### ۱-۳-۲- دسته‌بندی داده‌های CWP

در ابتدا، CWP گندم، ذرت و برنج با استفاده از داده‌های ۱۴۸ منطقه تحت آبیاری، با توجه به موارد زیر مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۲، شکل ۱):

۱- اقلیم

۲- عرض جغرافیایی

۳- خاک

۴- عرض جغرافیایی و خاک

۵- عرض جغرافیایی و اقلیم

۶- اقلیم و خاک





جدول ۲- مطالعات انجام شده بهره‌وری آب گیاه (CWP)

شماره محل	کشور	منطقه	نوع گیاه	میانگین CWP در منطقه (kg/m <sup>3</sup> )	میانگین CWP در کشور (kg/m <sup>3</sup> )	سال	سال	منبع
۱	الجزایر	چلف	گندم	۰/۷۳	۰/۷۳	۱۹۹۹	۱۹۹۹	Bouthiba, Debaeke, and Hamoudi (2008)
۲	آرژانتین	پارانا		۱/۰۲	۱/۰۲	۱۹۹۹	۱۹۹۹	Caviglia and Sadras (2001)
۳	استرالیا	مردین، مولوا، مردین		۰/۸۵، ۰/۹۹، ۱/۳۲	۱/۰۵	۱۹۹۲	۱۹۹۲، ۱۹۸۷، ۱۹۹۴	Regan et al. (1997), Regan et al. (1997), Siddique et al. (1990)
۴	بنگلادش	بنریوتا		۰/۹۳	۰/۹۳	۱۹۹۰	۱۹۹۰	Rahman, Khalil, and Ahmed (1995)
	چین	وانگتونگ، هنگ یاشان، قوزو		۱/۶۷، ۱/۷۹، ۲/۰۸	۱/۸۵	۱۹۹۶	۱۹۹۶، ۱۹۸۹، ۲۰۱۴	Jin et al. (1999), Zhao et al. (2017), Deju and Jingwen (1993)
	چین	لوانچنگ، دشت شمال چین، پکن		۱/۲۴، ۱/۳۶، ۱/۵۵	۱/۳۸	۱۹۹۳	۱۹۹۳، ۱۹۸۹	Zhang, Pei and Hu (۲۰۰۳)، Zhang et al. (۱۹۹۹)، Zhang et al. (۱۹۹۸)
۵	چین	دشت شمال چین، نانپی، لوانچنگ		۱/۱۸، ۱/۱۹، ۱/۲۲	۱/۲	۱۹۹۰	۲۰۰۴، ۱۹۹۰، ۱۹۸۸	Li et al. (2008), Xinyuan et al. (1993), Wang et al. (2001)
	چین	گانسو، یوچنگ، گوچنگ		۰/۹۵، ۱/۰۲، ۱/۰۲	۱/۰۰	۱۹۹۷	۱۹۹۷، ۱۹۹۸، ۱۹۸۸	Dong et al. (2001), Xianqun (1996), Shunqing, Gengshan, and Anhong (2003)
	چین	زیفنگ، لینکسین، دشت هایه		۰/۷۶، ۰/۸۵، ۰/۹۳	۰/۸۵	۱۹۹۰	۱۹۹۰، ۱۹۸۳، ۲۰۰۰	Fengrui, Songling, and Geballe (۲۰۰۰)، Zwart and Bastiaanssen(2007) ، Sun and Ren(۲۰۱۴)
	چین	استان هبی		۰/۶۴	۰/۶۴	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Zwart and Bastiaanssen (2007)
۶	مصر	دلتای نیل		۱/۵۲	۱/۵۲	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Zwart and Bastiaanssen(۲۰۰۷)
۷	هند	سرسا، سرسا، غرب بنگال		۱/۲، ۱/۲۲، ۱/۳۹	۱/۲۷	۲۰۰۰	۲۰۰۰، ۱۹۹۰، ۲۰۰۲	Singh, Van Dam, and Feddes (۲۰۰۶)، Zwart and Bastiaanssen (2007)، Bandyopadhyay and Mallick(۲۰۰۳)



ادامه جدول ۲- مطالعات انجام شده بهره‌وری آب گیاه (CWP)

شماره محل	کشور	منطقه	نوع گیاه	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> ) در منطقه	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> ) در کشور	سال	سال	منبع
	هند	پنتاگار، بوپال، پنتاگار	گندم	۱/۰۹، ۱/۰۹، ۱/۱۵	۱/۱۱	۱۹۸۴	۱۹۸۴، ۱۹۸۲	Singh and Chauhan (۱۹۹۶)، Mandal et al. (۲۰۰۵)، Mishra، Rathore، and Tomar (۱۹۹۵)
۷	هند	هارینا، حوزه سندگنگ، اوتار پرادش		۰/۶، ۱/۰۲، ۱/۰۸	۰/۹	۲۰۰۶	۱۹۹۴، ۲۰۱۴	Cai et al. (2010)، Sharma، Samra، and Singh (2001)
	هند	اوتار پرادش غرب، کارنال، چاکرادارپور		۰/۵، ۰/۵۵، ۰/۵۷	۰/۵۴	۲۰۰۰	۱۹۸۷، ۲۰۱۴	Kumari، Singh، and Meena (2017)، Sharma، Kumar، and Singh (۲۰۰۶)
	هند	اوتار پرادش، بوندلخند		۰/۲۹، ۰/۴۲، ۰/۴۸	۰/۴	۲۰۱۴	۲۰۱۴، ۲۰۱۴	Kumari، Singh، and Meena (2017)
۸	ایران	حوضه رود کرخه		۰/۹۴	۰/۹۴	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Vaghefi et al. (2017)
۹	اسرائیل	گیلات		۱/۱	۱/۱	۱۹۸۲	۱۹۸۲	Amir et al. (1991)
۱۰	مکزیک	دره یوکی		۱/۳۷	۱/۳۷	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Zwart and Bastiaanssen (2007)
۱۱	مراکش	سیدی ال ایدی، مکنس		۰/۶۳، ۰/۶۹	۰/۶۶	۱۹۹۶	۱۹۹۴، ۱۹۹۷	Mrabet (2002)، Corbeels، Hofman، and Van Cleemput (1998)
۱۲	هلند	اولدامیت		۱/۳۹	۱/۳۹	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Zwart and Bastiaanssen (2007)
۱۳	نیجریه	کنی		۰/۶۸	۰/۶۸	۱۹۹۷	۱۹۹۷	Pandey، Maranville، and Admou (2001)
	پاکستان	فیصل آباد، پنجاب، حوضه سندگنگ		۰/۹۴، ۱/۳۳، ۱/۴۵	۱/۲۴	۲۰۰۲	۲۰۰۲، ۱۹۹۳، ۲۰۰۶	Waheed et al. (1996)، Jehangir et al. (2007)، Cai et al. (2010)
۱۴	پاکستان	پندی بهاتیان، حوضه سند		۰/۵۴، ۰/۷۶، ۰/۹۱	۰/۷۴	۲۰۰۱	۲۰۰۲، ۲۰۰۱، ۲۰۰۰	Ahmad، Masih، and Turrall (2004)، Waterwatch (2003)، Zwart and Bastiaanssen (2007)
۱۵	سوریه	تل هدی		۰/۷۹	۰/۷۹	۱۹۹۴	۱۹۹۴	Oweis، Zhang، and Pala (2000)
۱۶	ترکیه	کوروکلو، کوروکورو		۱/۳۹، ۱/۴۲	۱/۴۱	۱۹۹۴	۱۹۹۲، ۱۹۹۵	Sezen and Yazar (1996)، Sezen and Yazar (1996)

ادامه جدول ۲- مطالعات انجام شده بهره‌وری آب گیاه (CWP)

شماره محل	کشور	منطقه	نوع گیاه	میانگین CWP در منطقه (kg/m <sup>3</sup> )	میانگین CWP در کشور (kg/m <sup>3</sup> )	سال	سال	منبع
۱۷	ایالات متحده آمریکا	گران‌دوال، کینگ، بوشلند	گندم	۰/۸۳، ۰/۴۴، ۰/۹۸	۱/۴۲	۱۹۹۸	۱۹۸۹، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰	Kruse, Champion, and Yoder (1991), Zwart and Bastiaanssen (2007), Schneider and Howell (2001)
	ایالات متحده آمریکا	یلوجاکت (CO)		۰/۷۸	۰/۷۸	۱۹۹۴	۱۹۹۴	Al-Kaisi et al. (1997)
۱۸	ازبکستان	تاشکنت، گالابا		۰/۶	۰/۷۳	۲۰۰۵	۲۰۰۷، ۲۰۰۲	Kamilov et al. (2002), Biradar et al. (2008)
۱	آرژانتین	ازول	ذرت	۲/۳۵	۲/۳۵	۱۹۹۳	۱۹۹۳	Navarro Dujmovich, Bongiorno, and Confalone (1996)
۲	برزیل	ماتو گروسو، گوایرا		۱/۲۱، ۰/۲	۱/۶۱	۲۰۰۱	۲۰۰۸، ۲۰۰۰، ۱۹۹۴	Claverie et al. (2012), Libardi et al. (1999)
۳	کامبوج	حوضه رود مکونگ		۱/۰۹	۱/۰۹	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Mainuddin and Kirby (2009)
	چین	چانگ‌وو، هونیگشان، وانگ تونگ		۲/۲۳، ۲/۵، ۲/۵۶	۲/۴۳	۲۰۰۸	۱۹۹۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴	Kang, Shi, and Zhang (2000), Zhao et al. (2017), Irmak et al. (2012)
۴	چین	زیفنگ، یوچنگ، لوآنچنگ		۱/۷، ۱/۹۳، ۰/۲	۱/۸۸	۱۹۹۰	۱۹۹۰، ۱۹۹۸، ۱۹۸۹	Fengrui, Songling, and Geballe (2000), Xianqun (1996), Zhang, Pei and Hu (2003)
	چین	چانگوو، دشت هایه		۱/۰۷، ۱/۵۶	۱/۳۲	۱۹۸۵	۱۹۸۷، ۱۹۸۳	Liu and Li (1995), Sun and Ren (2014)
۵	مجارستان	سزارواس		۱/۸۵	۱/۸۵	۱۹۸۷	۱۹۸۷	Szalkiné and Szalki (2002)
	هند	پنتناگار، اوتار پرداش		۰/۹۴، ۱/۰۱، ۱/۴۷	۱/۱۴	۱۹۹۶	۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۱۹۹۶	Mishra, Rathore, and Savita (2001), Jin et al. (1999), Kar, Verma, and Singh (2006)
۶	هند	بوندلخند، اوتار پرداش، اوتار پرداش		۰/۶، ۰/۶۷، ۰/۶۸	۰/۶۵	۲۰۱۴	۲۰۱۴، ۲۰۱۴	Kumari, Singh, and Meena (2017)



ادامه جدول ۲- مطالعات انجام شده بهره‌وری آب گیاه (CWP)

شماره محل	کشور	منطقه	نوع گیاه	میانگین CWP در منطقه (kg/m <sup>3</sup> )	میانگین CWP در کشور (kg/m <sup>3</sup> )	سال	سال	منبع
۷	ایران	حوضه رود کرخه، حوضه رود کرخه		۰/۸، ۱/۰۱	۰/۹۱	۲۰۰۴	۲۰۰۰، ۲۰۰۷	Moayeri et al. (2011), Vaghefi et al. (2017)
۸	لبنان	تل عماره		۱/۶۴	۱/۶۴	۱۹۹۸	۱۹۹۸	Karam et al. (2003)
۹	رومانی	فاندلا		۲/۶۴	۲/۶۴	۱۹۹۳	۱۹۹۳	Craciun and Craciun (1999)
۱۰	اسپانیا	سویلا		۱/۷۳	۱/۷۳	۱۹۹۳	۱۹۹۳	Fernandez et al. (1996)
۱۱	تانزانیا	مکوجی		۰/۵۵	۰/۵۵	۲۰۰۴	۲۰۰۴	Igbadun et al. (2006)
۱۲	ترکیه	دشت حران، دشت حران، کوکووروا		۱/۰۱، ۱/۲۴، ۲/۰۲	۱/۴۲	۱۹۹۹	۲۰۰۰، ۱۹۹۴، ۱۹۹۹	Yazar, Sezen, and Gencel (2002), Oktem, Simsek, and Oktem (2003), Gencoglan and Yazar (1999)
	ایالات متحده آمریکا	ادگار، نقطه غربی، ژنوا		۳/۱۱، ۳/۱۸، ۳/۲۳	۳/۱۷	۲۰۰۸	۲۰۰۸، ۲۰۱۴	Irmak et al. (2012), Irmak et al. (2012), Irmak et al. (2012)
	ایالات متحده آمریکا	مید، بلکس برگ، ارد		۲/۵۶، ۲/۶۷، ۲/۹۴	۲/۷۲	۲۰۰۸	۲۰۰۸، ۱۹۹۹	Irmak et al. (2012), Roygard, Alley, and Khosla (2002), Irmak et al. (2012)
۱۳	ایالات متحده آمریکا	مید، اوکز، هوردویل		۲/۴۷، ۲/۵۵، ۲/۵۵	۲/۵۲	۲۰۰۸	۲۰۰۸، ۱۹۹۰	Irmak et al. (2012), Steele, Stegman, and Gregor (1994), Irmak et al. (2012)
	ایالات متحده آمریکا	نیویورک، بوشلند، حوضه تری		۱/۳۷، ۱/۴۲، ۲/۴۵	۱/۷۶	۲۰۰۸	۲۰۰۹، ۱۹۹۳	Irmak et al. (2012), Howell et al. (1995), Carr, Yang, and Ray (2016)
	ایالات متحده آمریکا	پلات، شهر سیتی، کارولینا		۰/۶۵، ۱/۲۶، ۱/۳۷	۱/۰۹	۱۹۹۶	۲۰۰۹، ۱۹۹۶	Carr, Yang, and Ray (2016), Norwood (2000), Sadler et al. (2000)
۱	استرالیا	اکوکا	برنج	۰/۷۳	۰/۷۳	۱۹۹۸	۱۹۹۸	Bethune, Austin, and Maher (2001)
۲	کامبوج	حوضه رود مکونگ		۰/۷۲	۰/۷۲	۲۰۰۰	۲۰۰۰	Mainuddin and Kirby (2009)
۳	چین	نانچانگ، جانگه، گوانگجو		۰/۷۵، ۱/۶۲، ۱/۸۴	۱/۴	۲۰۰۲	۲۰۱۴، ۱۹۹۶	Shi et al. (2003), Dong et al. (2001), Liang et al. (2016)
۴	مصر	کفرالشیخ		۰/۸۹	۰/۸۹	۲۰۰۷	۲۰۰۷	El-Bably et al. (2008)
۵	غنا	تونو		۰/۵۶	۰/۵۶	۲۰۰۶	۲۰۰۶	Mahajan, Bharaj, and Timsina (2009), Cai et al. (2010), Singh, Gajri, and Arora (2001)

ادامه جدول ۲- مطالعات انجام شده بهره‌وری آب گیاه (CWP)

شماره محل	کشور	منطقه	نوع گیاه	میانگین CWP در منطقه (kg/m <sup>3</sup> )	میانگین CWP در کشور (kg/m <sup>3</sup> )	سال	سال	منبع
۶	هند	پنجاب، پنجاب، پنجاب		۱/۱۷، ۱/۱۸، ۱/۳۷	۱/۳۴	۲۰۰۶	۲۰۰۶	Mahajan, Bharaj, and Timsina (2009), Cai et al. (2010), Singh, Gajri, and Arora (2001)
	هند	سرسا، شمال غرب هند، سرسا		۰/۹۴، ۱، ۱/۰۱	۰/۹۸	۲۰۰۶	۲۰۰۶	Cai et al. (2010), Kar, Verma, and Singh (2006)
	هند	پنتناگار، مادیا پرادش، رایپور		۰/۶۴، ۰/۸۹، ۰/۹	۰/۸۱	۱۹۸۴	۱۹۸۴	Mishra, Rathore, and Pant (1990), Mishra, Rathore, and Pant (1997), Sastri, Chandrakar, and Chandrawanshi (1985)
	هند	دهلی نو، مادیا پرادش، اوتار پرادش		۰/۴۸، ۰/۵۷، ۰/۶۱	۰/۵۵	۲۰۰۱	۲۰۰۱	Singh, Choudhury, and Bouman (2002), Cai et al. (2010), Kumari, Singh, and Meena (2017)
	هند	اوتار پرادش شرقی، اوتار پرادش، اوتار پرادش غربی		۰/۴۳، ۰/۴۶، ۰/۴۸	۰/۴۶	۲۰۱۴	۲۰۱۴	Kumari, Singh, and Meena (2017)
	هند	بوندلخند a، بوندلخند b		۰/۳۱، ۰/۳۱	۰/۳۱	۲۰۱۴	۲۰۱۴	Kumari, Singh, and Meena (2017)
۷	مالزی	مودا		۰/۵۵	۰/۵۵	۱۹۹۱	۱۹۹۱	Cabangon, Tuong, and Abdullah (2002)
۸	مالی	آفیس دو نیجر		۰/۷۸	۰/۷۸	۲۰۰۵	۲۰۰۵	Zwart and Leclert (2010)
۹	مراکش	غرب		۰/۶۵	۰/۶۵	۱۹۹۶	۱۹۹۶	Lage et al. (2004)
۱۰	نیجریه	کوادا		۰/۶۵	۰/۶۵	۱۹۹۲	۱۹۹۲	Nwadukwe and Chude (1998)
۱۱	پاکستان	حوضه سند، پنجاب، پندی باتیان		۰/۵۷، ۰/۶۱، ۰/۶۹	۰/۶۲	۲۰۰۱	۲۰۰۳	Cai et al. (2010), Jehangir et al. (2007), Ahmad, Masih, and Turrall (2004)
	پاکستان	پندی باتیان، حوضه سند		۰/۴۵، ۰/۵۱	۰/۴۸	۲۰۰۱	۲۰۰۲	Cai et al. (2010), Waterwatch (2003)



## ادامه جدول ۲- مطالعات انجام شده بهره‌وری آب گیاه (CWP)

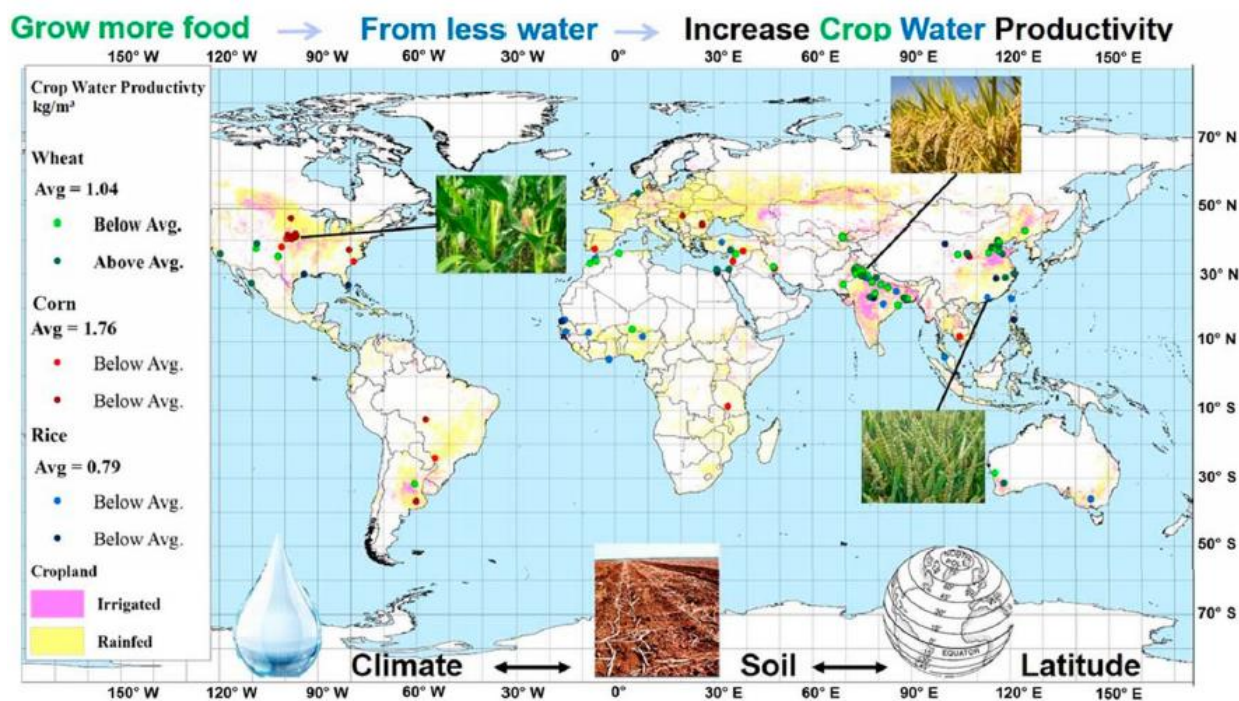
شماره محل	کشور	منطقه	نوع گیاه	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> ) در منطقه	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> ) در کشور	سال	سال	منبع
۱۲	فیلیپین	لوزون، لوزون		۱/۵، ۱/۲۸	۱/۳۹	۱۹۹۶	۱۹۹۰، ۲۰۰۱	Hafeez et al. (2007), Bhuiyan, Sattar, and Khan (1995)
۱۳	سنگال	ندیای، نندیای، فنای		۰/۶۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸۳	۰/۷۷	۲۰۰۱	۲۰۰۱، ۲۰۰۸ ۲۰۰۱	Schlegel (2010), de Vries et al. (2010), de Vries et al. (2010)
	سنگال	فنای، ژندرم		۰/۵۹، ۰/۶۷	۰/۶۳	۱۹۹۹	۱۹۹۰، ۲۰۰۷	Krupnik et al. (2012), Raes, Sy, and Passel (1993)
۱۴	ترکیه	هایمن		۰/۶۸	۰/۶۸	۲۰۰۴	۲۰۰۴	Cayci et al. (2009)
۱۵	ایالات متحده آمریکا	بومونت (تگراس)، بل گلد		۱/۱۱، ۱/۴۱	۱/۲۶	۱۹۸۸	۱۹۸۰، ۱۹۹۵	Roel, Heilman, and McCauley (1999), Shih et al. (1983)
۱۶	ازبکستان	گالابا		۰/۵	۰/۵	۲۰۰۷	۲۰۰۷	Biradar et al. (2008)

✓ لیستی از مطالعات CWP برای گندم، ذرت و برنج تحت کشت آبی در سراسر جهان که در این فراتحلیل استفاده شده است.

برای طبقه‌بندی اقلیم جهانی، نقشه جهانی طبقه‌بندی اقلیم Köppen-Geiger (Kottek et al. 2006) به صورت دیجیتالی در این تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. این نقشه الگوهای اقلیمی مشاهده‌شده از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ برای ادغام با یک پایگاه داده مکانی GIS با ۳۰ طبقه‌بندی اقلیمی مختلف بر اساس اقلیم، بارش و دما استفاده شد. از این نقشه، طبقه‌بندی‌های اقلیمی محل‌های کشت محصولات مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان مثال، تمام مقادیر اندازه‌گیری شده CWP گندم بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی با اندازه (n) حداقل پنج، به گروه‌های زیر تقسیم شدند: BSh (خشک - استپی گرم خشک)، Csa (گرم معتدل، تابستان گرم - تابستان خشک)، BSk (خشک - استپی - خشک سرد)، BWh (خشک - بیابانی - خشک گرم)، Cwa (گرم معتدل - زمستان خشک - تابستان گرم و گرم)، Dwa (زمستان برفی، تابستان گرم و خشک). سپس میانگین CWP (کیلوگرم در مترمکعب) برای این گروه‌های اقلیمی به شرح زیر تعیین شد:

$$= n) \cdot 0.96 = BSh, (15 = n) \cdot 0.82 = Csa, (12 = n) \cdot 0.33 = BSk, (9 = n) \cdot 0.5 = BWh, (5 = n) \cdot 0.88 = Cwa \text{ و } (5 = n) \cdot 0.88 = Cwa$$

(۵)



شکل ۱- توزیع مکانی بهره‌وری آب در سطح جهانی (CWP) مورد استفاده در این مطالعه. زمین‌های تحت آبیاری از سال ۱۹۷۹ تا کنون برای سه محصول عمده جهان. در مجموع از ۱۴۸ منطقه مختلف کشت محصول، ۶۰ محل گندم، ۴۳ منطقه برای ذرت و ۴۵ منطقه برای برنج استفاده شد.



### ۲-۳-۳- عرض جغرافیایی

برای ارزیابی عرض جغرافیایی جهانی، بر اساس یک شیب فایل GIS از مناطق عمده محصولات زراعی، خطوط شبکه عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای ایجاد شد. برای مشخص کردن محل‌های اندازه‌گیری CWP در محدوده عرض جغرافیایی، مناطق عرض جغرافیایی با مقیاس ۱۰ درجه‌ای تقسیم‌بندی شده و تقسیم‌بندی از ۰ درجه تا ۵۰ درجه شامل ۰ تا ۱۰ درجه، ۱۰ تا ۲۰ درجه، ۲۰ تا ۳۰ درجه، ۳۰ تا ۴۰ درجه و ۴۰ تا ۵۰ درجه می‌باشد تا با مناطق عمده رشد محصول مطابقت داشته باشد.

### ۲-۳-۴- خاک

برای ارزیابی جهانی خاک، نقشه Digital Soil Map of the World version 3.6 2007 Revision Digital Map (FAO, ۲۰۰۷) بر اساس نقشه خاک FAO-UNESCO جهان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰۰ (FAO, ۱۹۸۸) مورد استفاده قرار گرفت. این نقشه شامل یک سیستم شناخته‌شده بین‌المللی از ۲۶ گروه اصلی خاک است (FAO, ۱۹۷۴). این گروه‌ها به ۱۰۶ واحد خاک جداگانه‌ای که نقشه آن توسط انجمن‌های خاک تهیه شده است، طبقه‌بندی شده‌اند. در این نقشه، واحد غالب خاک همراه با توضیحات زیرواحدهای مرتبط با گروه‌های اصلی مشخص شده است. این روش طبقه‌بندی بر پایه چگونگی تشکیل خاک (پدوژنز) و عوامل تشکیل خاک در نظر گرفته شده که برای تهیه نقشه خاک در مقیاس قاره‌ای طراحی شده است. در این مطالعه از ۲۶ گروه اصلی بافت خاک برای تهیه نقشه CWP اندازه‌گیری شده در مناطق مورد مطالعه نسبت به خاک استفاده شد.

### ۲-۴- آنالیز آماری

برای تعیین تأثیر طبقه‌بندی‌های اقلیمی، عرض جغرافیایی، نوع خاک و مجموعه این متغیرها بر میانگین CWP گندم، ذرت و برنج، آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار R انجام شد. برای هر نوع محصول، طبقه‌بندی‌های اقلیمی، عرض جغرافیایی و نوع خاک که حداقل دارای پنج یا بیشتر CWP از مناطق مورد مطالعه بودند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Cuevas, Febrero, and Fraiman 2004). به دلیل نامتعادل بودن تعداد نمونه‌ها، آنالیز ANOVA یکطرفه Kruskal - Wallis استفاده شد (Theodorsson -Norheim 1986). میانگین مقادیر CWP گروه‌بندی شده بر اساس متغیرهای ۱- طبقه‌بندی اقلیمی، ۲- عرض جغرافیایی، ۳- نوع خاک، ۴- نوع خاک و عرض جغرافیایی، ۵- اقلیم و عرض جغرافیایی، و ۶- اقلیم و نوع خاک در سطح اطمینان ۹۰٪، ۹۵٪، و ۹۹٪ مورد بررسی قرار گرفتند.

### ۲-۵- تحلیل صرفه‌جویی آب

در این مطالعه، روشی برای محاسبه مصرف آب و صرفه‌جویی آن در هر کشور از طریق افزایش فرضی CWP و ثابت در نظر گرفتن سطح کشت و عملکرد مورد استفاده قرار گرفت. این کار با جمع‌آوری داده‌های محصولی فائو و مقادیر CWP

برای هر کشور انجام شد. ابتدا میانگین CWP هر کشور برای گندم، ذرت و برنج بدست آمد و مقدار آنها ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ افزایش یافت تا چهار سطح CWP نسبت به مقدار پایه اندازه‌گیری شده تولید شود. آمار داده‌های محصولی FAO برای منطقه تحت کشت (هکتار) و عملکرد (hectogram/ha) در هر کشور مورد مطالعه برای هر محصول در برای بازه زمانی موردنظر جمع آوری شد (FAO, 2016). برای تعیین مقدار بهره‌وری، عملکرد به کیلوگرم در مترمربع تبدیل شد. جهت برآورد میزان آب مصرفی در سطح منطقه (مترمکعب در مترمربع) برای هر محصول در طول بازه زمانی مورد مطالعه، بهره‌وری محصول (کیلوگرم در مترمربع) بر مقدار متوسط اندازه‌گیری پایه CWP (کیلوگرم در مترمکعب) و همچنین مقادیر افزایش یافته تقسیم شد. کل مصرف آب (مترمکعب) برای هر نوع محصول در هر کشور با ضرب نسبت مصرف آب در منطقه (مترمکعب در مترمربع) در میانگین مساحت تحت کشت (متر مربع) در هر کشور بدست آمد. کل میزان صرفه‌جویی آب (مترمکعب) با کم کردن میزان مصرف آب پایه از مقدار CWP اندازه‌گیری شده اولیه از میزان مصرف آب جدید برای هر درصد افزایش بدست آمد. میزان صرفه‌جویی آب برای مقایسه به میلیارد لیتر تبدیل شد.

### ۳- نتایج

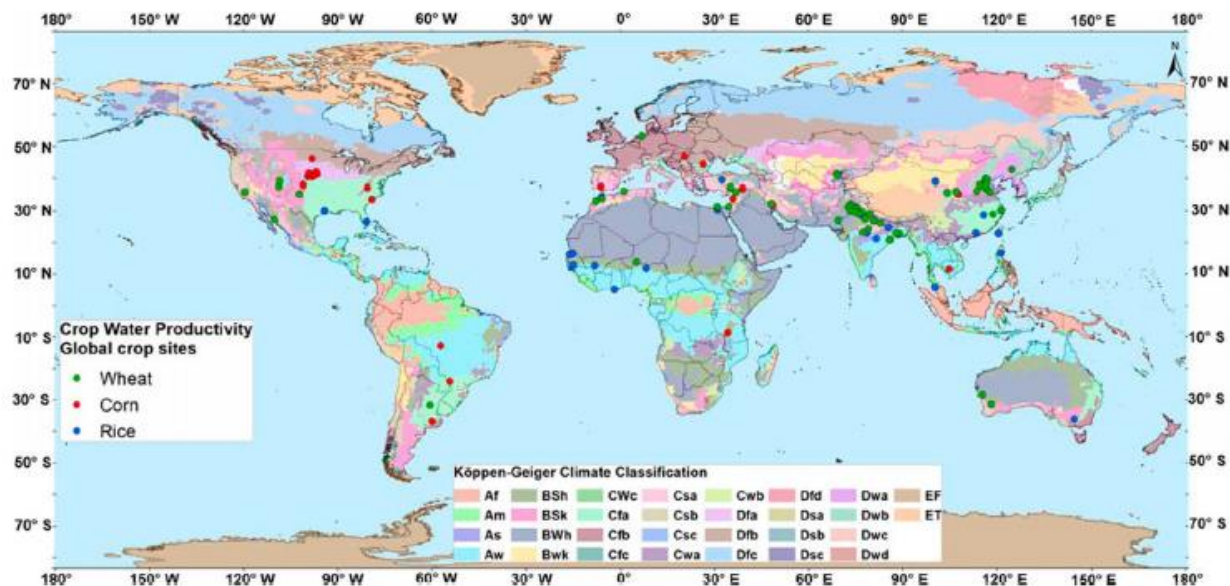
نتایج تغییرات در مقادیر CWP برای ۱۴۸ منطقه مورد مطالعه در جهان برای گندم، ذرت و برنج بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی، عرض جغرافیایی، نوع خاک و مجموعه این عوامل با استفاده از آزمون‌های آماری در ادامه ارائه شده است.

#### ۳-۱- تحلیل CWP براساس اقلیم

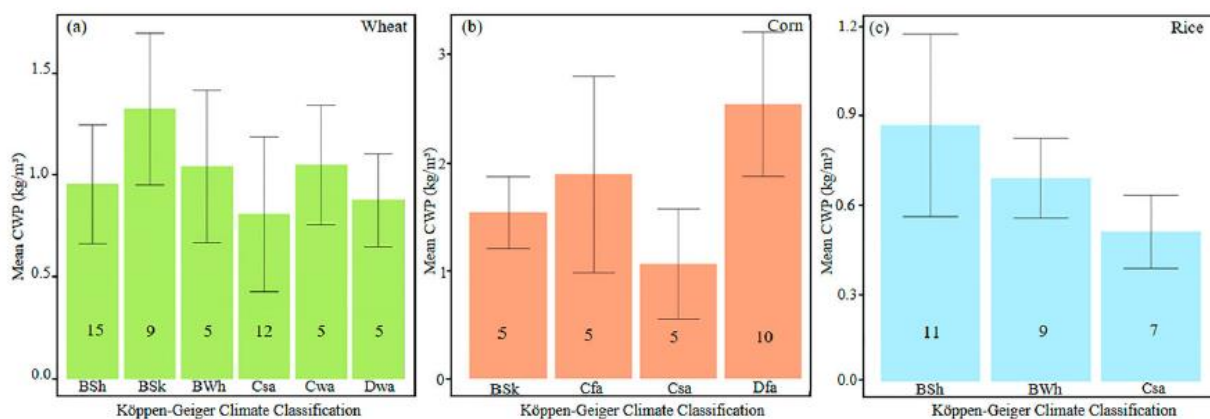
در این مطالعه طبقه‌بندی اقلیمی Koppen-Geiger مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲). توزیع مکانی طبقه‌بندی اقلیمی برای محدوده‌های مورد مطالعه برای هر محصول تعیین شده (شکل ۲) و تحلیل‌های آماری بر روی مقادیر میانگین CWP انجام شد (شکل ۳). سپس میانگین CWP با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی Koppen-Geiger برای گندم، ذرت و برنج تعیین شد (جدول ۳، شکل ۳). برای گندم، از شش طبقه‌بندی اقلیمی (Csa, BSh, BSk, BWh, Cwa و Dwa)، میانگین مقادیر CWP بین BSk (۱/۳۳ کیلوگرم در مترمکعب) و Csa (۰/۸۲ کیلوگرم در مترمکعب) به‌طور معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت داشتند. برای ذرت، از چهار طبقه‌بندی اقلیمی (Dfa, Csa, BSk و Cfa)، میانگین مقادیر CWP بین Dfa (۲/۵۳ کیلوگرم در مترمکعب) و Csa (۱/۰۶ کیلوگرم در مترمکعب) به‌طور معنی‌داری در سطح ۹۹٪ تفاوت داشتند. برای برنج، از سه طبقه‌بندی اقلیمی (Csa, BWh, BSh) میانگین مقادیر CWP بین BSh (۰/۸۷ کیلوگرم در مترمکعب) و Csa (۰/۵۱ کیلوگرم در مترمکعب) در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معنی‌داری داشت.

تنوع مکانی CWP در سراسر جهان برای گندم، ذرت و برنج بر اساس نتایج مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. برای هر سه محصول، Csa (تابستان معتدل و تابستان گرم و خشک) کمترین میانگین CWP را در بین طبقه‌بندی‌های اقلیمی داشت. از این رو، مناطق رشد محصول در اقلیم Csa نشان‌دهنده حداکثر پتانسیل برای افزایش CWP نسبت به سایر طبقه‌بندی‌های اقلیمی در مناطق تحت کشت آبی است که در اینجا مورد مطالعه قرار گرفته است. BSk (خشک - استپی - سرد و خشک) با میانگین CWP برابر ۱/۳۳ کیلوگرم در مترمکعب برای گندم، Dfa (زمستان برفی، تابستان گرم و

خشک) با میانگین CWP برابر ۲/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب برای ذرت، و BSh (خشک - استپی - گرم و خشک) با میانگین CWP برابر ۰/۸۷ کیلوگرم در مترمکعب برای برنج بالاترین CWP را در میان طبقه‌بندی‌های اقلیمی مورد مطالعه داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که زمینه قابل توجهی برای بهبود CWP پایین در رده‌بندی اقلیمی Koppen-Grieger وجود دارد تا تولید غذا را افزایش داده و استفاده از آب را کاهش دهد.



شکل ۲- توزیع مکانی بهره‌وری آب محصول (CWP) مناطق تحت کشت آبی برای گندم، ذرت و برنج نسبت به طبقه‌بندی اقلیمی جهانی Köppen-Geiger.

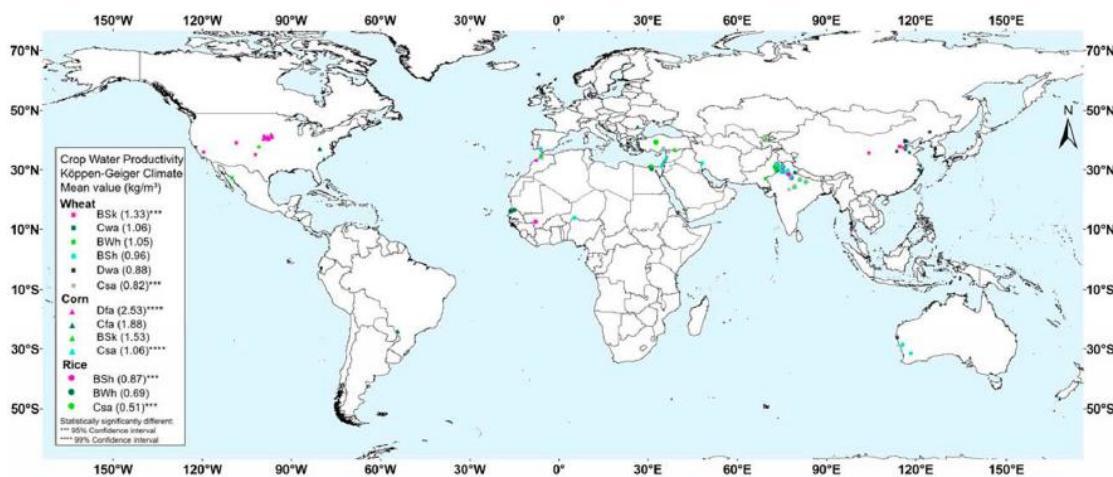


شکل ۳- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) مناطق تحت کشت آبی محصولات نسبت به اقلیم. نمودارها میانگین CWP (الف) گندم، ذرت و (ب) برنج را براساس طبقه‌بندی اقلیمی Köppen-Geiger نشان می‌دهند.

جدول ۳- بهره‌وری آب محصول (CWP) براساس طبقه‌بندی اقلیمی Koppen – Geiger

نام گیاه	اقلیم Koppen – Geiger	تعداد نمونه N	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار (kg/m <sup>3</sup> )	آزمون معنی دار در سطح اطمینان <sup>۱</sup> %
گندم	BSk	۹	۱/۳۳	۰/۳۸	BSk & Csa <sup>۲</sup>
	Cwa	۵	۱/۰۶	۰/۳۷	
	BWh	۵	۱/۰۵	۰/۲۹	
	BSh	۱۵	۰/۹۶	۰/۲۳	
	Dwa	۵	۰/۸۸	۰/۳۷	
	Csa	۱۲	۰/۸۲	۰/۲۹	
ذرت	Dfa	۱۰	۲/۵۳	۰/۶۷	Dfa & Csa <sup>۳</sup>
	Cfa	۵	۱/۸۸	۰/۹۱	
	BSk	۵	۱/۵۳	۰/۳۳	
	Csa	۶	۱/۰۶	۰/۵۱	
	Cfa	۵	۱/۸۸	۰/۹۱	
برنج	BSh	۱۱	۰/۸۷	۰/۳۱	BSh & Csa <sup>۲</sup>
	BWh	۹	۰/۶۹	۰/۱۴	
	Csa	۷	۰/۵۱	۰/۱۲	

- ✓ آزمون‌های آماری تفاوت معنی‌دار بین میانگین مقادیر CWP در طبقه‌بندی آب و اقلیمی Koppen-Geiger برای گندم، ذرت و برنج در مناطق تحت کشت آبی جهان.
- ✓ ۱: آزمون غیر پارامتری Kruskal – Wallis استفاده شد.
- ✓ ۲: مقادیر میانگین CWP با سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف بودند.
- ✓ ۳: مقادیر میانگین CWP با سطح اطمینان ۹۹٪ دارای اختلاف بودند.

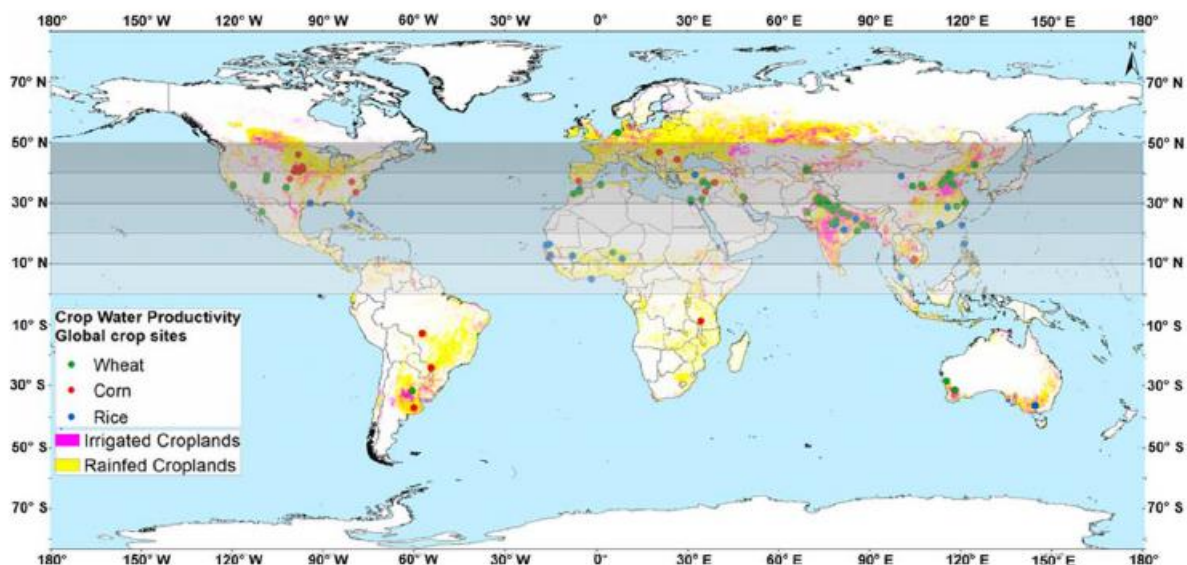


شکل ۴- توزیع مکانی بهره‌وری آب محصول (CWP) برای گندم، ذرت و برنج بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی Koppen – Geiger

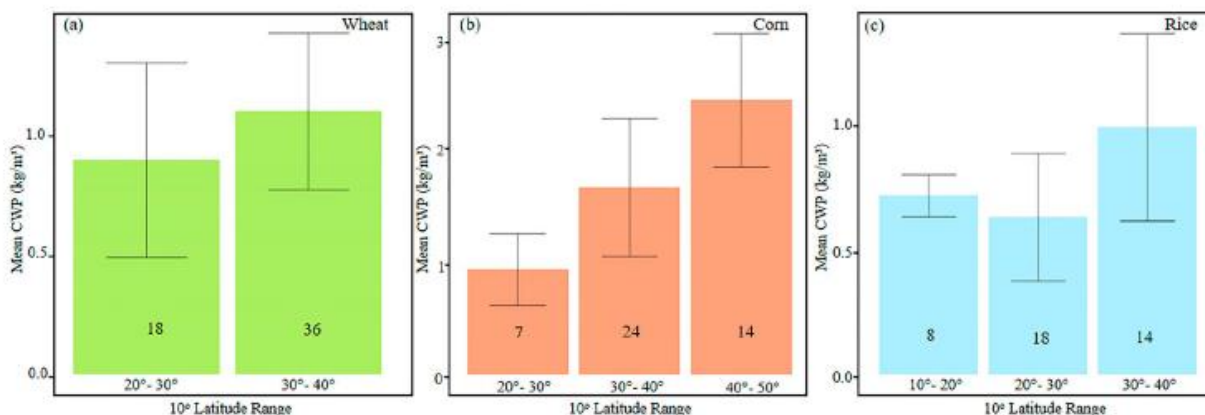


## ۳-۲- تحلیل CWP براساس عرض جغرافیایی

پنج منطقه عرض جغرافیایی مشخص در بازه‌های ۱۰ درجه‌ای (۰ تا ۱۰ درجه، ۱۰-۲۰ درجه، ۲۰-۳۰ درجه، ۳۰-۴۰ درجه و ۴۰ تا ۵۰ درجه) برای CWP بر اساس در دسترس بودن داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. مناطق مورد مطالعه در محدوده‌های ۱۰ درجه‌ای با حداقل پنج منطقه رشد محصول در نظر گرفته شدند (شکل ۵) و میانگین CWP برای گندم، ذرت و برنج در این مناطق تعیین شد (شکل ۶). مقادیر CWP اندازه‌گیری شده در این مطالعه از محل رشد محصول در محدوده عرض جغرافیایی ۰-۱۰ درجه و بالاتر از ۵۰ درجه، داده‌های کافی برای مقایسه آماری در سطح اطمینان ۹۰٪ یا بالاتر را نداشت و بنابراین در این ارزیابی گنجانده نشده است. پس از طبقه‌بندی میانگین CWP براساس عرض جغرافیایی، تجزیه و تحلیل آماری بر روی میانگین CWP برای هر محصول در هر منطقه عرض جغرافیایی انجام شد (جدول ۴؛ شکل ۷). برای گندم، در مقایسه دو عرض جغرافیایی (۲۰-۳۰ درجه و ۳۰-۴۰ درجه) میانگین CWP در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه (۱/۱ کیلوگرم در مترمکعب) و در ۲۰-۳۰ درجه (۰/۸۹ کیلوگرم در مترمکعب) در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند. برای ذرت، برای سه عرض جغرافیایی قابل مقایسه (۲۰-۳۰ درجه، ۳۰-۴۰ درجه و ۴۰-۵۰ درجه) میانگین CWP در عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه (۲/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب)، در ۳۰-۴۰ درجه (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) و در ۲۰-۳۰ درجه (۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب) در سطح اطمینان ۹۹٪ تفاوت معنی‌داری داشتند. علاوه بر این، میانگین مقادیر CWP برای دو عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) و ۲۰-۳۰ درجه (۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب) در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند. برای برنج، برای دو عرض جغرافیایی قابل مقایسه (۲۰-۳۰ درجه و ۳۰-۴۰ درجه) میانگین CWP در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه (۰/۹۹ کیلوگرم در مترمکعب) و در ۲۰-۳۰ درجه (۰/۶۳ کیلوگرم در مترمکعب) در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند.



شکل ۵- توزیع مکانی بهره‌وری آب محصول (CWP) مناطق تحت کشت آبی برای گندم، ذرت و برنج نسبت به عرض جغرافیایی. ✓ محدوده‌های عرض جغرافیایی به قسمت‌های ۱۰ درجه‌ای تقسیم شدند، مناطق تحت کشت محصول استفاده شده در این مطالعه شامل ۰-۱۰ درجه، ۱۰-۲۰ درجه، ۲۰-۳۰ درجه، ۳۰-۴۰ درجه و ۴۰-۵۰ درجه می‌باشند.



شکل ۶- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) مناطق تحت کشت آبی محصولات نسبت به نواحی عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای. نمودارها میانگین CWP (الف) گندم، (ب) ذرت و (ج) برنج را براساس طبقه‌بندی عرض جغرافیایی نشان می‌دهند.

جدول ۴- بهره‌وری آب محصول (CWP) در عرض‌های جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای

نام گیاه	نواحی عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای	نمونه N	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار (kg/m <sup>3</sup> )	آزمون معنی دار در سطح اطمینان ۱٪
گندم	۴۰-۳۰	۳۷	۱/۱	۰/۳۳	۳۰-۴۰° و ۲۰-۳۰°
	۳۰-۲۰	۱۸	۰/۸۹	۰/۴۱	۳۰-۴۰° و ۲۰-۳۰°
ذرت	۵۰-۴۰	۱۴	۲/۴۵	۰/۵۸	۴۰-۵۰° و ۳۰-۴۰°
	۴۰-۳۰	۲۴	۱/۶۷	۰/۱۶	۴۰-۵۰° و ۳۰-۴۰°
برنج	۳۰-۲۰	۷	۰/۹۴	۰/۳۲	۳۰-۴۰° و ۲۰-۳۰°
	۴۰-۳۰	۱۶	۰/۹۹	۰/۳۸	۳۰-۴۰° و ۲۰-۳۰°
	۳۰-۲۰	۱۷	۰/۶۳	۰/۰۸	۳۰-۴۰° و ۲۰-۳۰°
	۲۰-۱۰	۱۰	۰/۷۱	۰/۲۵	۳۰-۴۰° و ۲۰-۳۰°

✓ آزمون‌های آماری تفاوت معنی‌دار بین میانگین مقادیر CWP براساس نواحی عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای برای گندم، ذرت و برنج در مناطق تحت کشت آبی جهان.

✓ ۱: از آزمون غیر پارامتری Kruskal – Wallis استفاده شد.

✓ ۲: مقادیر میانگین CWP دارای اختلاف در سطح اطمینان ۹۵٪ بودند.

✓ ۳: مقادیر میانگین CWP دارای اختلاف در سطح اطمینان ۹۹٪ بودند.

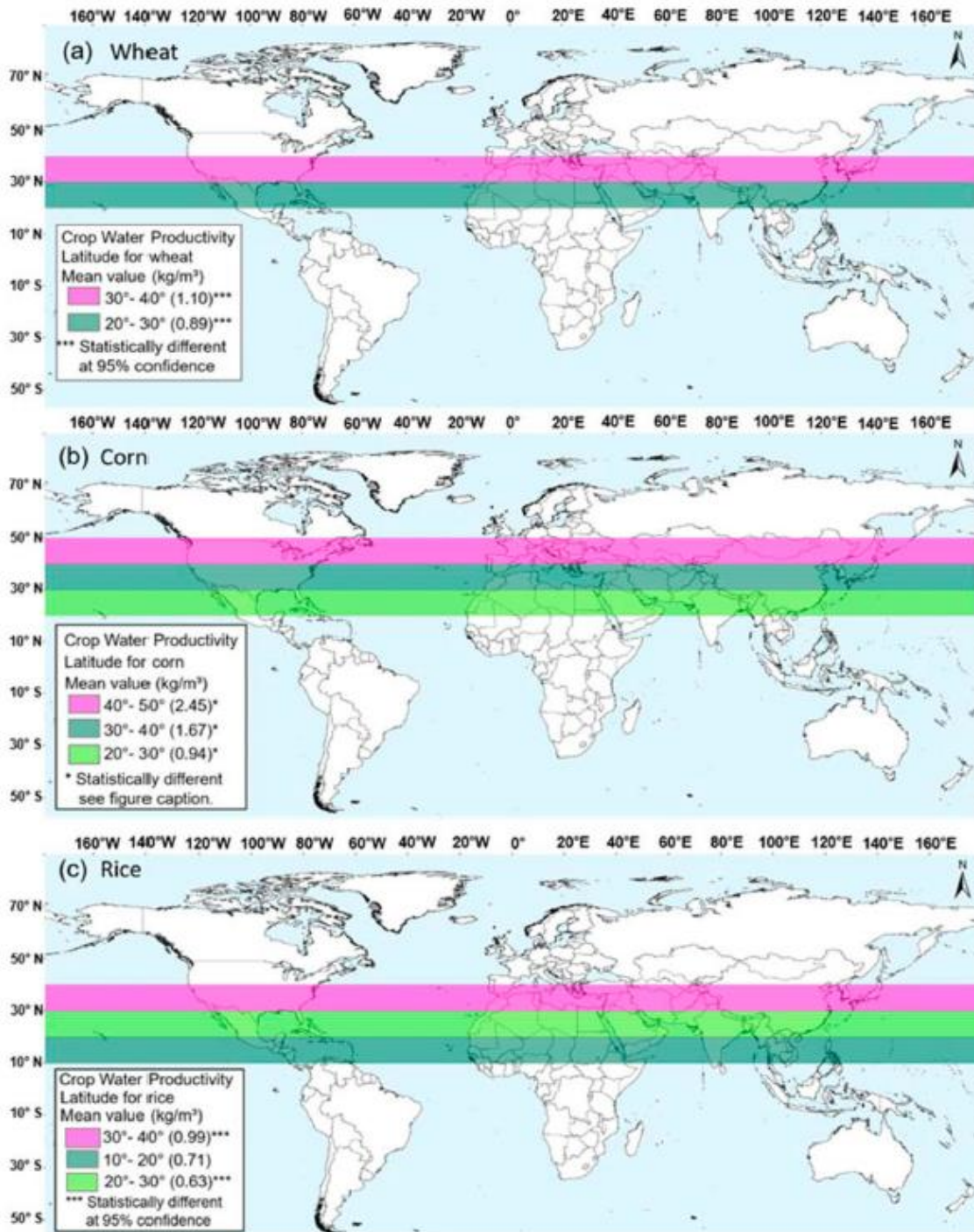
برای عرض‌های جغرافیایی و داده‌های CWP مورد بررسی در این مطالعه، بالاترین دامنه عرض جغرافیایی با بالاترین میانگین CWP برای هر سه محصول مطابقت دارد. به طور کلی، با افزایش عرض جغرافیایی CWP نیز افزایش می‌یابد. به

عنوان مثال، ذرت کاشته شده در عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه دارای میانگین CWP (۲/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) بالاتری در مقایسه با ذرت کشت شده در عرض‌های جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) یا ۲۰-۳۰ درجه (۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب) است. روند مشابهی برای گندم نیز وجود داشت. در حالی که، برای برنج، اگرچه بیشترین دامنه عرض جغرافیایی (۳۰-۴۰ درجه) مورد مطالعه با بالاترین میانگین CWP (۰/۹۹ کیلوگرم در مترمکعب) مطابقت داشت، برنج کشت شده در عرض جغرافیایی ۱۰-۲۰ درجه دارای میانگین CWP (۰/۷۱ کیلوگرم در مترمکعب) کمی بالاتر از برنج کشت شده در عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه (۰/۶۳ کیلوگرم در مترمکعب) می‌باشد. توزیع مکانی میانگین CWP رتبه‌بندی شده برای محصولاتی کشت شده در عرض‌های مختلف جغرافیایی در شکل ۷ الف، ب و ج به ترتیب برای گندم، ذرت و برنج نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد زمینه‌ی لازم جهت بهبود CWP در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر در مقایسه با عرض‌های جغرافیایی بالاتر وجود دارد.

### ۳-۳- تحلیل CWP براساس نوع خاک

مناطق کشت محصول با مقادیر CWP اندازه‌گیری شده در محدوده دارای بافت خاک مشخص FAO که دارای تعداد نمونه مساوی و یا بیشتر از ۵ بود، در نظر گرفته شد و میانگین مقادیر CWP برای گندم، ذرت و برنج تعیین شد (جدول ۵). نقشه توزیع مکانی CWP اندازه‌گیری شده متناظر با نوع خاک برای گندم، ذرت و برنج تعیین شد (شکل ۸). از نظر آماری بین مقادیر میانگین CWP و گروه‌های مختلف نوع خاک در سطح اطمینان بالاتر از ۹۰٪ برای هر سه محصول تفاوتی وجود نداشت (شکل ۹). بنابراین گزارش دیگری از این نتایج در این مطالعه وجود ندارد.





شکل ۷- توزیع مکانی میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) برای (الف) گندم، (ب) ذرت و (ج) برنج بر اساس مناطق عرض جغرافیایی ۱۰ درجه. برای ذرت: میانگین CWP در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) و در عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه میانگین CWP (۲/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ تفاوت دارند. در عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه میانگین CWP (۰/۹۴ کیلوگرم در متر مکعب) و در عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه میانگین CWP (۲/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب) از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ متفاوت هستند. در عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه میانگین CWP (۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب) و در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه میانگین CWP (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ متفاوت هستند.

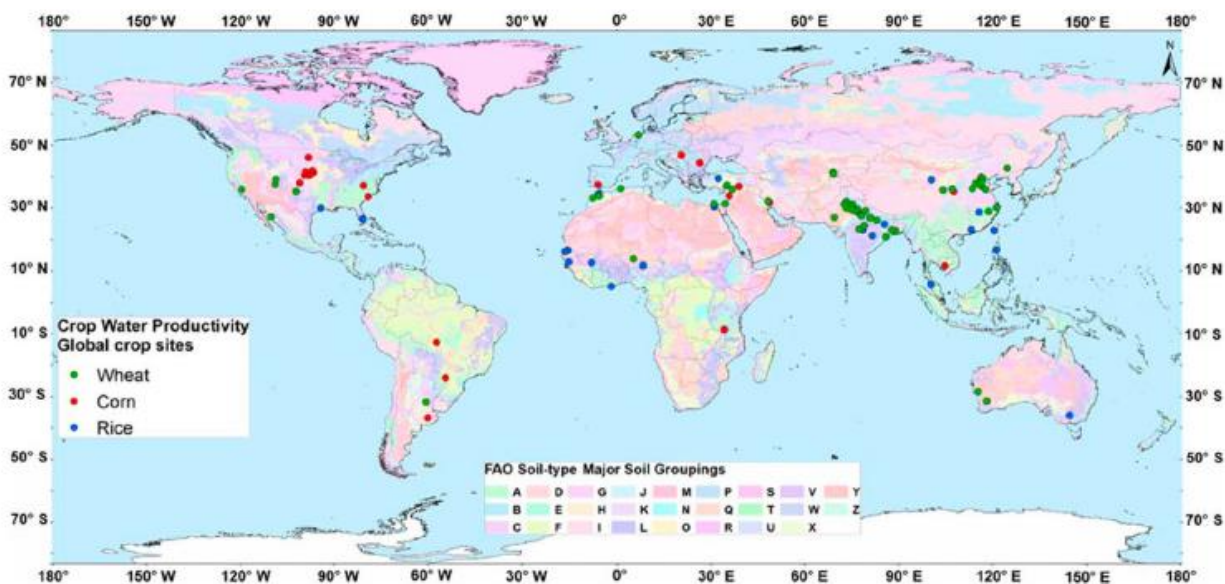
جدول ۵- بهره‌وری آب محصول (CWP) براساس بافت خاک FAO

نام گیاه	بافت خاک FAO	نمونه N	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار (kg/m <sup>3</sup> )	آزمون معنی دار در سطح اطمینان <sup>۱</sup> %
گندم	G	۱۰	۱/۰۸	۰/۳۱	NS
	Y	۹	۱/۰۶	۰/۳۷	
	B	۷	۰/۹۸	۰/۴۸	
	L	۷	۰/۷۲	۰/۲۷	
ذرت	H	۶	۲/۵۹	۰/۸۷	NS
	K	۸	۲/۲۵	۰/۷۶	
	B	۶	۱/۶۵	۰/۴۶	
	V	۵	۱/۰۷	۰/۱	
برنج	L	۱۱	۰/۷۸	۰/۲۲	NS
	Y	۷	۰/۷۱	۰/۵۴	
	Q	۵	۰/۷۱	۰/۳۶	

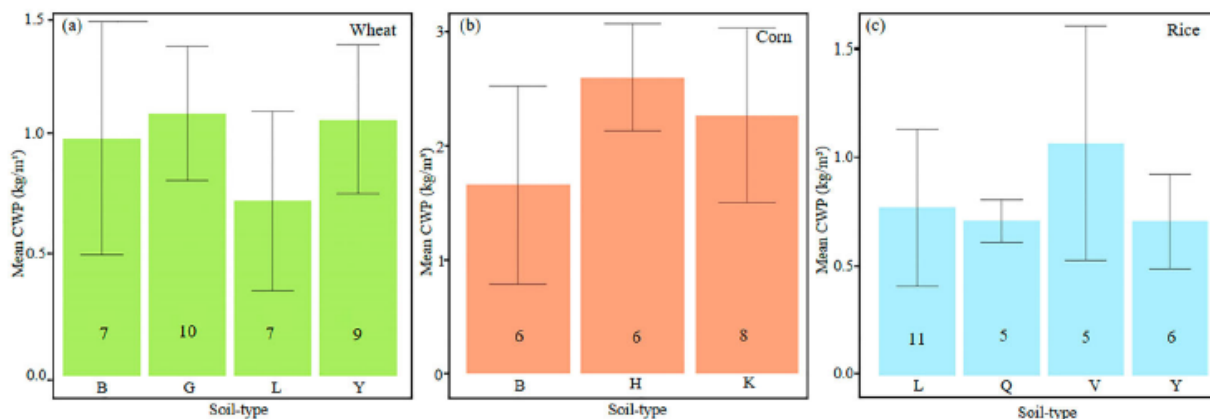
✓ آزمون‌های اختلاف معنی‌داری برای میانگین مقادیر CWP بر اساس انواع خاک برای سه محصول عمده در مناطق تحت کشت آبی جهان.

✓ NS: تفاوت معنی‌داری بین مقادیر میانگین CWP وجود ندارد.

✓ ۱: از آزمون غیر پارامتری Kruskal – Wallis استفاده شد.



شکل ۸- توزیع مکانی بافت خاک FAO نسبت به بهره‌وری آب محصول (CWP) مناطق تحت کشت آبی برای گندم، ذرت و برنج. گروه‌بندی عمده بافت خاک ارزیابی شده در این مطالعه عبارتند از: Cambisols = B, Gleysols = G, Phaeozems = H, Kastanozems = K, Luvisols = L, Arensols = Q, Vertsols = V, Yermosols = Y. لیست کاملی از گروه‌بندی‌های اصلی بافت خاک در نقشه دیجیتال خاک جهان (FAO 2007) بر اساس نقشه خاک جهانی FAO-UNESCO با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ موجود است.



شکل ۹- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) مناطق تحت کشت آبی محصولات نسبت به بافت خاک. نمودارها میانگین CWP (الف) گندم، (ب) ذرت و (ج) برنج را براساس طبقه‌بندی بافت خاک نشان می‌دهند.

#### ۳-۴- تحلیل CWP براساس بافت خاک و عرض جغرافیایی

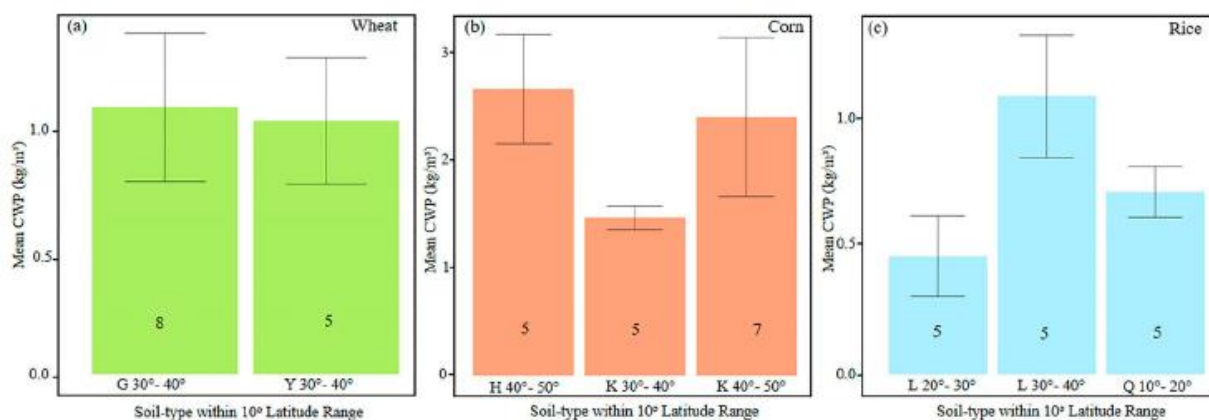
تغییرات مکانی CWP با استفاده از نقشه‌های CWP اندازه‌گیری شده متناسب با بافت خاک و عرض‌های جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای بررسی شدند. از این تجزیه و تحلیل مکانی دو مورد ترکیب بافت خاک FAO و عرض جغرافیایی برای گندم، سه مورد برای ذرت و سه مورد برای برنج با اندازه نمونه قابل مقایسه ( $n \leq 5$ ) در محدوده عرض جغرافیایی ۱۰-۵۰ درجه حاصل شد (جدول ۶، شکل ۱۰).

بر اساس بررسی‌ها، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری برای محصول گندم در سطح ۹۰٪ وجود ندارد. برای ذرت کشت شده در عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه و خاک H (Phaeozems) دارای میانگین CWP ۲/۶۳ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با ذرت کاشته شده در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه و خاک K (Kastanozems) که میانگین CWP آن ۱/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب بود، از نظر آماری در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین، برای ذرت کشت شده در عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه و خاک K دارای میانگین CWP ۲/۳۷ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با ذرت کشت شده در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه و خاک K میانگین CWP ۱/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۰٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. برای برنج کشت شده در عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه و خاک L (Luvisols) دارای میانگین CWP ۱/۰۹ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با برنج کشت شده در عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه و خاک L میانگین CWP ۰/۴۶ کیلوگرم در مترمکعب از نظر آماری در سطح ۹۹٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۶- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) در مناطق تحت کشت محصول نسبت به بافت خاک و عرض جغرافیایی

نام گیاه	بافت خاک	نواحی عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای	نمونه N	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار	آزمون معنی‌دار <sup>۱</sup>
گندم	G	۴۰-۳۰	۸	۱/۰۸	۰/۳	H_40°-50°- K_30°-40° <sup>2</sup>
	Y	۴۰-۳۰	۵	۱/۰۳	۰/۲۶	
	H	۵۰-۴۰	۵	۲/۶۳	۰/۵	
ذرت	K	۵۰-۴۰	۷	۲/۳۷	۰/۷۳	K_30°-40°- K_40°-50° <sup>3</sup>
	H	۴۰-۳۰	۵	۱/۴۵	۰/۱۱	
برنج	L	۴۰-۳۰	۵	۱/۰۹	۰/۲۴	L_20°-30°- L_30°-40° <sup>4</sup>
	L	۲۰-۱۰	۵	۰/۷۱	۰/۱	
	Q	۳۰-۲۰	۵	۰/۴۶	۰/۱۶	

- ✓ آزمون اختلاف معنی‌دار برای میانگین CWP بر اساس ترکیب انواع خاک‌های FAO و نواحی عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای برای گندم، ذرت و برنج.
- ✓ ۱: از آزمون غیر پارامتری Kruskal – Wallis استفاده شد.
- ✓ ۲: میانگین CWP به‌طور قابل توجهی در سطح اطمینان ۹۵٪ متفاوت بود. (به عنوان مثال خاک کلاس H در عرض جغرافیایی ۴۰-۳۰ درجه و خاک کلاس K در عرض جغرافیایی ۵۰-۴۰ درجه برای ذرت).
- ✓ ۳: میانگین CWP به‌طور قابل توجهی در سطح اطمینان ۹۰٪ متفاوت بود. (به عنوان مثال خاک کلاس K در عرض جغرافیایی ۴۰-۳۰ درجه و خاک کلاس K در عرض جغرافیایی ۵۰-۴۰ درجه برای ذرت).
- ✓ ۴: میانگین CWP به‌طور قابل توجهی در سطح اطمینان ۹۹٪ متفاوت بود. (به عنوان مثال خاک کلاس L در عرض جغرافیایی ۳۰-۲۰ درجه و خاک کلاس L در عرض جغرافیایی ۴۰-۳۰ درجه برای برنج).

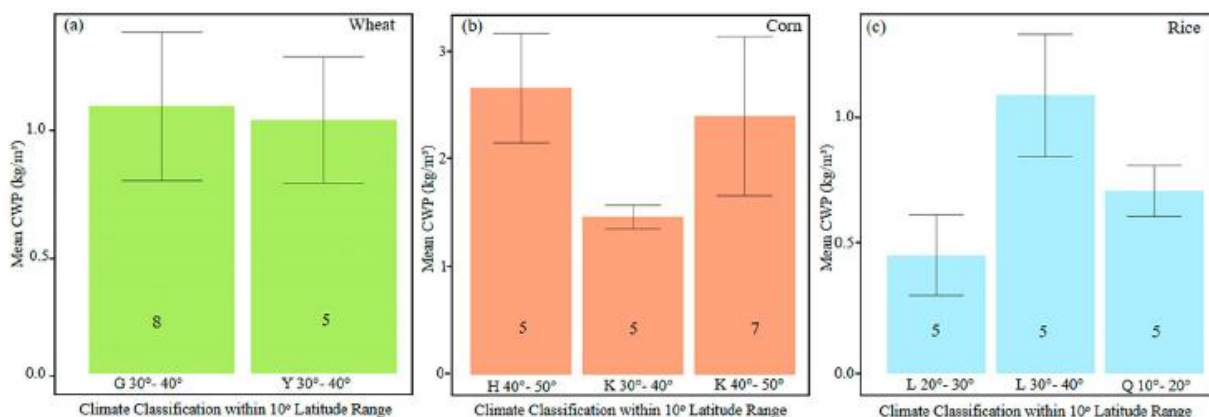


شکل ۱۰- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) در مناطق تحت کشت آبی محصول نسبت به بافت خاک و عرض جغرافیایی. نمودارها میانگین CWP (الف) گندم، (ب) ذرت و (ج) برنج را بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک و عرض جغرافیایی نشان می‌دهند.



### ۵-۳- تحلیل CWP براساس اقلیم و عرض جغرافیایی

CWP جهانی در ارتباط با اقلیم و عرض جغرافیایی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج مربوط به میانگین CWP براساس طبقه‌بندی اقلیمی Koppen – Geiger و عرض‌های جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای برای مناطق رشد محصول گندم، ذرت و برنج با اندازه قابل مقایسه ( $n \leq 5$ ) در شکل ۱۱ نشان داده شده است. این تجزیه و تحلیل نشان داده است که پنج گروه داده از ترکیب طبقه‌بندی اقلیمی و عرض جغرافیایی ۱۰ درجه برای گندم، دو مورد برای ذرت و سه مورد برای برنج در محدوده عرض جغرافیایی ۱۰-۴۰ درجه وجود دارد (جدول ۷). در تجزیه و تحلیل آماری برای محصول گندم، اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۰ درصد یا بالاتر مشاهده نشد. با این حال، برای ذرت کشت شده در اقلیم Dfa (برف - تابستان گرم و کاملاً مرطوب) و عرض جغرافیایی ۴۰-۵۰ درجه میانگین CWP ۲/۵۳ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با اقلیم BSk (خشک - استپی و خشک و سرد) و عرض جغرافیایی ۳۰-۴۰ درجه که میانگین CWP آن ۱/۵۳ کیلوگرم در مترمکعب بود، از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین، برای برنج کشت شده در اقلیم BSh (خشک - استپی - گرم و خشک) و عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه میانگین CWP ۰/۸۲ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با اقلیم Csa و عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه که میانگین CWP آن ۰/۴۱ کیلوگرم در مترمکعب بود، از نظر آماری در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت.



شکل ۱۱- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) در مناطق تحت کشت آبی محصول نسبت به اقلیم و عرض جغرافیایی. نمودارها میانگین CWP (الف) گندم، (ب) ذرت و (ج) برنج را براساس طبقه‌بندی اقلیم و عرض جغرافیایی نشان می‌دهند.

به طور کلی، برای گندم و ذرت، با افزایش دامنه عرض جغرافیایی میانگین CWP نیز افزایش می‌یابد. که نشان می‌دهد عرض جغرافیایی عاملی تأثیرگذارتر از اقلیم بر میزان CWP است. با این حال، برای برنج، بالاترین محدوده عرض جغرافیایی و اقلیم منجر به افزایش میانگین CWP نمی‌شود، زیرا اقلیم BWh در عرض جغرافیایی ۱۰-۲۰ درجه دارای میانگین CWP بالاتر نسبت به اقلیم Csa در عرض جغرافیایی ۲۰-۳۰ درجه است (جدول ۷). برای برنج، اقلیم ممکن است عامل تأثیرگذارتری بر تغییرات CWP باشد، بطوریکه اقلیم Csa پایین‌ترین میانگین CWP را حتی در عرض جغرافیایی بالاتر نسبت به اقلیم BWh نشان می‌دهد. مشابه رابطه میانگین CWP با اقلیم و عرض جغرافیایی، Csa بدون در نظر گرفتن عرض جغرافیایی، همواره کمترین میانگین CWP را در این مطالعه داشت.

جدول ۷- میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) در مناطق تحت کشت محصول نسبت به اقلیم و عرض جغرافیایی

نام گیاه	منطقه	محل کشت محصول (شمالی)	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار	میانگین سال
منبع مقادیر: Zwart and Bastiaanssen (2004)					
گندم	جهانی	۲۸	۱/۰۹	۰/۴۴	۱۹۹۰
ذرت	جهانی	۲۶	۱/۸	۰/۶۹	۱۹۸۹
برنج	جهانی	۱۳	۱/۰۹	۰/۴	۱۹۹۰
مقادیر حاصل از این مطالعه					
گندم	جهانی	۶۰	۱/۰۴	۰/۳۸	۱۹۹۸
ذرت	جهانی	۴۳	۱/۷۶	۰/۷۸	۲۰۰۰
برنج	جهانی	۴۵	۰/۷۹	۰/۳۶	۲۰۰۲
منبع مقادیر: Zwart and Bastiaanssen (2004)					
گندم	شرق آسیا	۹	۱/۳۳	۰/۴	۱۹۹۰
گندم	جنوب آسیا	۷	۰/۹۸	۰/۲۳	۱۹۹۰
گندم	خاورمیانه	۳	۱/۰۱	۰/۲۷	۱۹۹۲
ذرت	شمال آمریکا	۹	۱/۶	۰/۶	۱۹۹۳
ذرت	شرق آسیا	۷	۲/۱۳	۰/۴۵	۱۹۹۶
ذرت	خاورمیانه	۴	۱/۴۸	۰/۳۹	۱۹۹۹
ذرت	اروپا	۳	۲/۰۷	۰/۴	۱۹۹۳
برنج	جنوب آسیا	۴	۰/۷۹	۰/۲۶	۱۹۹۱
مقادیر حاصل از این مطالعه					
گندم	جنوب آسیا	۲۲	۰/۸۹	۰/۳۵	۲۰۱۴
گندم	شرق آسیا	۱۶	۱/۲۲	۰/۳۹	۲۰۰۰
گندم	خاورمیانه	۶	۱/۱۹	۰/۲۹	۱۹۹۴
گندم	شمال آمریکا	۵	۱/۲۸	۰/۴۹	۱۹۹۴
گندم	استرالیا	۳	۱/۰۵	۰/۲۴	۱۹۸۷
گندم	شمال آفریقا	۳	۰/۶۸	۰/۰۵	۱۹۹۴
ذرت	شمال آمریکا	۱۵	۲/۲۶	۰/۸۱	۱۹۹۳
ذرت	شرق آسیا	۸	۱/۹۴	۰/۵	۱۹۸۳
ذرت	جنوب آسیا	۶	۰/۹	۰/۳۳	۲۰۱۴
ذرت	جنوب آمریکا	۳	۱/۸۵	۰/۵۸	۱۹۹۴
ذرت	خاورمیانه	۳	۰/۹۴	۰/۴۶	۲۰۰۰
ذرت	اروپا	۳	۲/۰۷	۰/۴۹	۱۹۹۳
برنج	جنوب آسیا	۲۲	۰/۷۱	۰/۳	۲۰۱۴
برنج	شرق آسیا	۴	۱/۱۲	۰/۷۳	۲۰۱۶
برنج	جنوب شرق آسیا	۴	۱/۰۱	۰/۴۵	۱۹۹۱
برنج	آفریقا (صحرای جنوبی)	۸	۰/۷	۰/۱	۲۰۰۶

✓ آزمون اختلاف معنی‌دار برای میانگین CWP بر اساس اقلیم و عرض‌های جغرافیایی ۱۰ درجه‌ای برای گندم، ذرت و برنج.

### ۶-۳- تحلیل CWP براساس اقلیم و خاک

CWP جهانی براساس اقلیم و توزیع مکانی نوع خاک مورد تحلیل قرار گرفت. نقشه طبقه‌بندی اقلیمی - Koppen Geiger و نقشه‌های بافت خاک FAO مورد استفاده در این مطالعه در GIS ادغام شده و ترکیبات همپوشانی اقلیم و خاک نسبت به محل کشت محصول با مقادیر CWP اندازه‌گیری شده ارزیابی شد. با این حال، برای هر سه محصولات گندم، ذرت و برنج، تعداد نمونه کافی ( $n \leq 5$ ) برای تولید مجموعه داده‌های آماری برای میانگین CWP در سطح اطمینان ۹۰٪ یا بالاتر وجود نداشت. بنابراین در این مطالعه نتایج در ارتباط با تحلیل CWP براساس اقلیم و خاک وجود ندارد.

### ۴- بحث

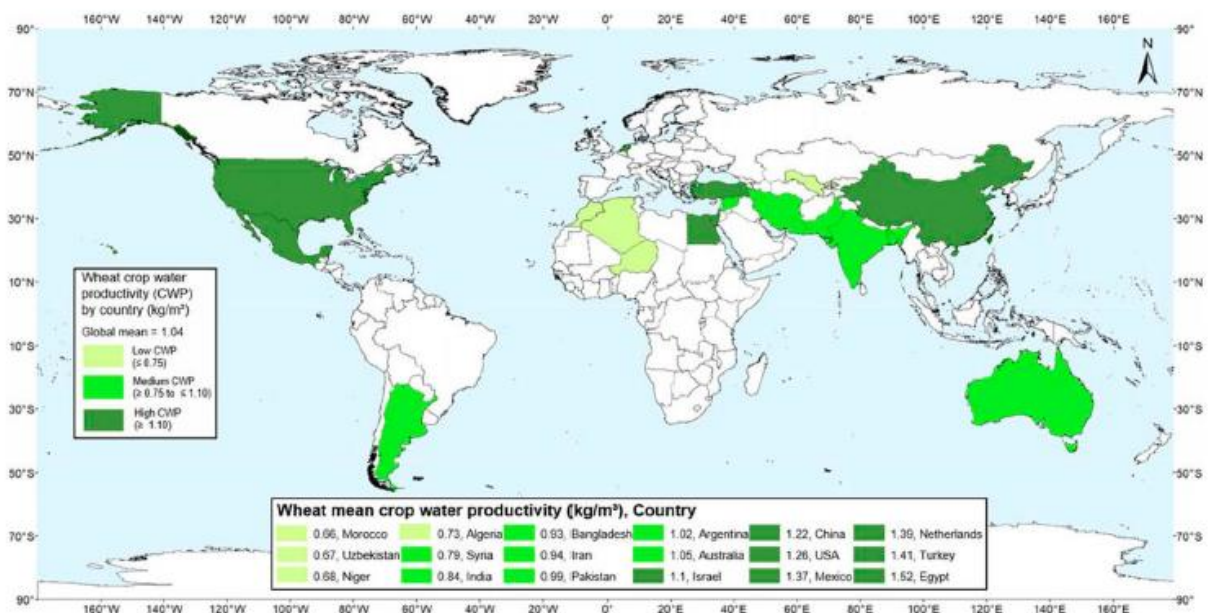
#### ۱-۴- ارزیابی جهانی CWP براساس کشور

فرا تحلیل ارائه شده در این مطالعه به درک توزیع جغرافیایی CWP در کشورها (برای کشورهایی که داده‌ها برای آنها موجود بود) برای محصولات گندم، ذرت و برنج آبی کمک می‌کند (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴). در هر مورد، میانگین CWP در مناطق مختلف کشت محصول در هر کشور براساس نوع محصول استخراج شده و براساس میانگین‌های جهانی در سه گروه کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شده است. این گروه‌بندی برای گندم به صورت: CWP کم ( $CWP \leq 0/75$  کیلوگرم در مترمکعب)، CWP متوسط ( $0/75 \leq CWP \leq 1/1$  کیلوگرم در مترمکعب) و CWP زیاد ( $CWP \geq 1/1$  کیلوگرم در مترمکعب) بود. بهره‌وری آب (CWP) برای محصول گندم در کشورهای چین، مصر، اسرائیل، مکزیک، هلند، ترکیه و ایالات متحده آمریکا بالا؛ کشورهای آرژانتین، استرالیا، بنگلادش، هند، ایران، پاکستان و سوریه متوسط و کشورهای الجزایر، مراکش، نیجریه و ازبکستان پایین در بوده است. برای ذرت به صورت: CWP کم ( $CWP \leq 1/25$  کیلوگرم در مترمکعب)، CWP متوسط ( $1/25 \leq CWP \leq 1/75$  کیلوگرم در مترمکعب) و CWP زیاد ( $CWP \geq 1/75$  کیلوگرم در مترمکعب) بود. بهره‌وری آب (CWP) برای محصول ذرت در کشورهای آرژانتین، چین، مجارستان، رومانی و ایالات متحده آمریکا بالا؛ کشورهای برزیل، لبنان، اسپانیا و ترکیه متوسط و کشورهای کامبوج، هند، ایران و تانزانیا کم بوده است. طبقه‌بندی بهره‌وری آب برای محصول برنج به این قرار است: CWP کم ( $CWP \leq 0/7$  کیلوگرم در مترمکعب)، CWP متوسط ( $0/7 \leq CWP \leq 1/25$  کیلوگرم در مترمکعب) و CWP زیاد ( $CWP \geq 1/25$  کیلوگرم در مترمکعب) بود. بر این اساس در طبقه‌بندی بهره‌وری آب برای برنج، کشورهای چین، فیلیپین، و ایالات متحده آمریکا در گروه با بهره‌وری آب بالا؛ کشورهای استرالیا، کامبوج، مصر، هند، مالی و سنگال در گروه با بهره‌وری آب متوسط و کشورهای غنا، مالزی، مراکش، نیجریه، پاکستان، ترکیه و ازبکستان در گروه با بهره‌وری آب پایین قرار گرفته‌اند.

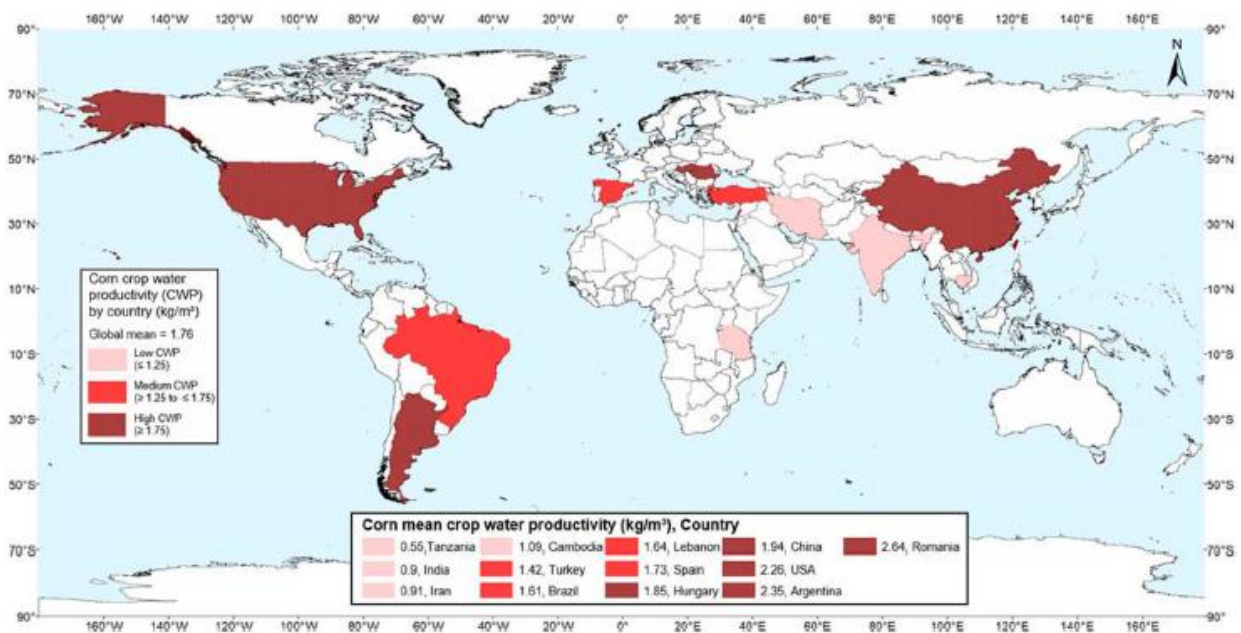
بر اساس داده‌های این مطالعه، چین و ایالات متحده آمریکا تنها کشورهایی هستند که برای گندم، ذرت و برنج همواره میانگین CWP بالایی دارند. استرالیا و هند در طبقه‌بندی صورت گرفته برای محصولات گندم و برنج در گروه CWP متوسط قرار گرفته‌اند. همچنین CWP هندوستان در محصول ذرت در گروه کم قرار دارد. مصر، اسرائیل، مکزیک، هلند و



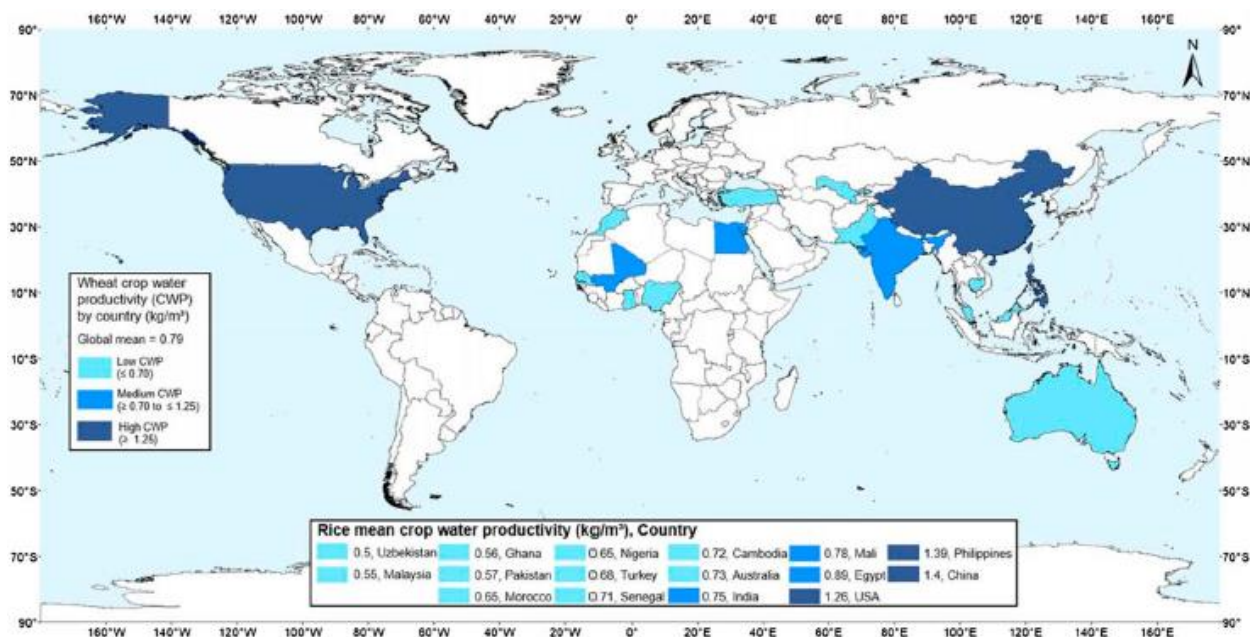
ترکیه CWP بالایی برای گندم؛ آرژانتین، مجارستان و رومانی CWP بالایی برای ذرت و فیلیپین CWP بالایی برای برنج دارند. سایر کشورهایی که در این مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند برای هر سه محصول CWP در گروه کم یا متوسط قرار گرفته است.



شکل ۱۲- تغییرات جغرافیایی میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) برای گندم آبی در کشورهای مورد ارزیابی در این مطالعه.



شکل ۱۳- تغییرات جغرافیایی میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) برای ذرت آبی در کشورهای مورد ارزیابی در این مطالعه.



شکل ۱۴- تغییرات جغرافیایی میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) برای برنج آبی در کشورهای مورد ارزیابی در این مطالعه..

## ۲-۴- مقایسه معیار جهانی CWP در طول زمان

مقادیر CWP جمع‌آوری شده در این مطالعه با مقادیر CWP حاصل از مطالعه (Zwart and Bastiaanssen (2004) در جدول ۸ مقایسه شده است. در مطالعه (Zwart and Bastiaanssen (2004) برای اندازه‌گیری CWP ۲۸ منطقه جغرافیایی کشت برای گندم، ۲۶ مورد برای ذرت و ۱۳ مورد برای برنج مد نظر قرار گرفته بود. برای این مطالعه یک مجموعه داده جدید در مقایسه با داده‌های مطالعه (Zwart and Bastiaanssen (2004) جمع‌آوری شد، همچنین از مجموعه گسترده‌تر جدیدتری از منابع استفاده شد و مطالعات مبتنی بر سنجش از دور نیز در نظر گرفته شد. در مطالعه حاضر داده‌های CWP جمع‌آوری شده برای محصول گندم ۳۲ مورد، برای محصول ذرت ۱۷ مورد و برای محصول برنج ۳۱ مورد بیشتر از اطلاعات جمع‌آوری شده در مطالعه (Zwart and Bastiaanssen (2004) است. بدین ترتیب، کل محل‌های مورد استفاده CWP در این مطالعه که مناطق جغرافیایی تحت کشت برای محصول گندم به ۶۰ منطقه برای محصول ذرت به ۴۳ منطقه و برای محصول برنج به ۴۵ منطقه رسیده است. در این مطالعه، میانگین جهانی CWP برای گندم (۱/۰۴ کیلوگرم در مترمکعب) در مقایسه با مطالعه (Zwart and Bastiaanssen (2004) که مقدار آن ۱/۰۹ کیلوگرم در مترمکعب بود ۴,۸٪ کاهش یافته است. متوسط جهانی CWP برای ذرت نیز کاهش یافته است، به‌طوری‌که مقدار CWP (۱/۷۶ کیلوگرم در مترمکعب) در مقایسه با مطالعه (Zwart and Bastiaanssen (2004) که مقدار آن ۱/۸ کیلوگرم در مترمکعب بود ۲,۲٪ کاهش یافته است. معنی‌دارترین تغییرات در میانگین جهانی CWP مربوط به محصول

برنج است به طوری که بهره‌وری آب این محصول از ۱/۰۹ در مطالعه Zwart and Bastiaanssen (2004) به مقدار ۰/۷۹ کیلوگرم در مترمکعب کاهش یافته است. هرچند، این کاهش ۲۷/۵ درصدی در میانگین بهره‌وری آب برنج به احتمال زیاد می‌تواند ناشی از تعداد بیشتر مناطق مطالعاتی در سراسر جهان در این مطالعه در مقایسه با مجموعه کمتر داده‌های جمع‌آوری شده در مطالعه Zwart and Bastiaanssen (2004) باشد. به طور کلی، CWP گندم و ذرت ۴,۶٪-۲/۲ کاهش داشته، در نتیجه CWP محاسبه شده در این دو مطالعه برای محصولات گندم و ذرت قابل مقایسه است.

محدودیت جزئی این مطالعه عدم امکان نرمال‌سازی داده‌ها برای روندهای مختلف تغییرات تکنولوژیکی به دلیل مقیاس زمانی طولانی داده‌ها (۱۹۷۹-۲۰۱۶) است (جدول ۲). با این حال، تقریباً ۷۵ درصد از کل داده‌ها مربوط به بازه زمانی ۱۹۹۴-۲۰۰۸ بوده است. علاوه بر این، بدون داده‌های کافی برای نرمال‌سازی بر اساس روندهای تکنولوژیک (به عنوان مثال مکانیزه بودن کشت و کار، نهاده‌های مورد استفاده، ژنوم) برای ۱۴۸ منطقه (جدول ۲)، امکان نرمال‌سازی اطلاعات بر اساس تکنولوژی مورد استفاده وجود ندارد. هرگونه تلاش برای نرمال‌سازی بدون وجود داده‌های کافی برای هر منطقه تنها منجر به عدم اطمینان بیشتر می‌شود. Zwart and Bastiaanssen (2004) در مطالعه‌ی خود نیز رویکردی مشابه این مطالعه دنبال کردند.

### ۳-۴- ارزیابی جهانی CWP براساس منطقه

برای ارزیابی CWP به تفکیک منطقه، میانگین CWP مناطق کشت محصول بر اساس داده‌های این مطالعه برای هر نوع محصول به صورت منطقه‌ای دسته‌بندی شد (جدول ۸). نتایج نشان داد که بسته به منطقه مورد بررسی که محصول در آن زیر کشت است و اطلاعات در دسترس در این مطالعه، اختلاف عمده‌ای در CWP در یک منطقه نسبت به سایر مناطق وجود دارد. برای محصول گندم میانگین CWP، در شش منطقه مختلف مقایسه شد. بیشترین مقدار میانگین CWP گندم مربوط به آمریکای شمالی و آسیای شرقی است؛ در خاورمیانه و استرالیا بهره‌وری آب محصول متوسط و در جنوب آسیا و آفریقای شمالی بهره‌وری آب گندم کم است. دامنه تغییرات میانگین CWP برای گندم از بالاترین سطح (آمریکای شمالی) تا پایین‌ترین (شمال آفریقا) منطقه اختلاف ۴۶/۹ درصدی را نشان می‌دهد.

میانگین CWP ذرت، در شش منطقه مختلف مقایسه شد. بر این اساس آمریکای شمالی بالاترین مقدار میانگین CWP و پس از آن اروپا، آسیای شرقی و آمریکای جنوبی در مقابل خاورمیانه و آسیای جنوبی کم‌ترین مقدار بهره‌وری آب ذرت را ثبت نموده‌اند. دامنه تغییرات میانگین CWP برای ذرت از بالاترین سطح (آمریکای شمالی) تا پایین‌ترین (جنوب آسیا) تفاوت ۶۰,۱۸٪ را نشان می‌دهد.

جدول ۸- ارزیابی جهانی و منطقه‌ای میانگین بهره‌وری آب محصول (CWP) برای گندم، ذرت و برنج

نام گیاه	منطقه	محل کشت محصول (تعداد)	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار	میانگین سال
منبع مقادیر: Zwart and Bastiaanssen (2004)					
گندم	جهانی	۲۸	۱/۰۹	۰/۴۴	۱۹۹۰
ذرت	جهانی	۲۶	۱/۸	۰/۶۹	۱۹۸۹
برنج	جهانی	۱۳	۱/۰۹	۰/۴	۱۹۹۰
مقادیر حاصل از این مطالعه					
گندم	جهانی	۶۰	۱/۰۴	۰/۳۸	۱۹۹۸
ذرت	جهانی	۴۳	۱/۷۶	۰/۷۸	۲۰۰۰
برنج	جهانی	۴۵	۰/۷۹	۰/۳۶	۲۰۰۲
منبع مقادیر: Zwart and Bastiaanssen (2004)					
گندم	شرق آسیا	۹	۱/۳۳	۰/۴	۱۹۹۰
گندم	جنوب آسیا	۷	۰/۹۸	۰/۳۳	۱۹۹۰
گندم	خاورمیانه	۳	۱/۰۱	۰/۲۷	۱۹۹۲
ذرت	شمال آمریکا	۹	۱/۶	۰/۶	۱۹۹۳
ذرت	شرق آسیا	۷	۲/۱۳	۰/۴۵	۱۹۹۶
ذرت	خاورمیانه	۴	۱/۴۸	۰/۳۹	۱۹۹۹
ذرت	اروپا	۳	۲/۰۷	۰/۴	۱۹۹۳
برنج	جنوب آسیا	۴	۰/۷۹	۰/۲۶	۱۹۹۱
مقادیر حاصل از این مطالعه					
گندم	جنوب آسیا	۲۲	۰/۸۹	۰/۳۵	۲۰۱۴
گندم	شرق آسیا	۱۶	۱/۲۲	۰/۳۹	۲۰۰۰
گندم	خاورمیانه	۶	۱/۱۹	۰/۲۹	۱۹۹۴
گندم	شمال آمریکا	۵	۱/۲۸	۰/۴۹	۱۹۹۴
گندم	استرالیا	۳	۱/۰۵	۰/۲۴	۱۹۸۷
گندم	شمال آفریقا	۳	۰/۶۸	۰/۰۵	۱۹۹۴
ذرت	شمال آمریکا	۱۵	۲/۲۶	۰/۸۱	۱۹۹۳
ذرت	شرق آسیا	۸	۱/۹۴	۰/۵	۱۹۸۳
ذرت	جنوب آسیا	۶	۰/۹	۰/۳۳	۲۰۱۴
ذرت	جنوب آمریکا	۳	۱/۸۵	۰/۵۸	۱۹۹۴
ذرت	خاورمیانه	۳	۰/۹۴	۰/۴۶	۲۰۰۰
ذرت	اروپا	۳	۲/۰۷	۰/۴۹	۱۹۹۳
برنج	جنوب آسیا	۲۲	۰/۷۱	۰/۳	۲۰۱۴
برنج	شرق آسیا	۴	۱/۱۲	۰/۷۳	۲۰۱۶
برنج	جنوب شرق آسیا	۴	۱/۰۱	۰/۴۵	۱۹۹۱
برنج	آفریقا (صحرای جنوبی)	۸	۰/۷	۰/۱	۲۰۰۶

✓ حداقل مناطق استفاده شده برای اندازه‌گیری CWP ( $3 \leq n$ ) است. مقادیر CWP اندازه‌گیری شده در این مطالعه شامل مقادیر مجموعه داده‌های CWP، Zwart and Bastiaanssen (2004) نیز می‌باشد.

میانگین CWP برنج، در چهار منطقه مختلف مقایسه شد. بر این اساس میانگین CWP برنج در آسیای شرقی بیشترین مقدار را ثبت نموده است؛ همچنین مقدار CWP برنج در مناطق جنوب شرقی و جنوب آسیا متوسط و در آفریقا نیز کمترین مقدار را دارد. دامنه تغییرات میانگین CWP برای برنج از بالاترین سطح (آمریکای شمالی، ۱/۱۲ کیلوگرم در مترمکعب) تا پایین‌ترین (آفریقا، ۰/۷ کیلوگرم در مترمکعب) تفاوت ۳۷/۵٪ درصدی را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، از بین سه محصول مورد مطالعه، ذرت دارای بیشترین دامنه تغییر در میانگین CWP است در مقابل برنج کم‌ترین دامنه تغییرات را دارد و دامنه تغییر میانگین بهره‌وری آب محصول گندم متوسط است. این محدوده میانگین CWP در مناطق مختلف نشان می‌دهد که عوامل جغرافیایی موثر در میانگین CWP برای ذرت در مقایسه با گندم و برنج مشهودتر است.

#### ۴-۴- تحلیل صرفه‌جویی در مصرف آب

در این مطالعه، مقدار آب قابل صرفه‌جویی با افزایش میانگین CWP گندم، ذرت و برنج برای هر کشور تا ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ برآورد شد (جداول ۹، ۱۰ و ۱۱). برای این منظور، از داده‌های CWP موجود و داده‌های گیاهی FAO در مناطق تحت کشت (هکتار) و عملکرد غلات بر حسب (hg/ha) در کشورهای مورد مطالعه، برای گندم، ذرت و برنج استفاده شد (FAO 2016).

روش تعیین میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در زیر شرح داده شده است. در ابتدا، بهره‌وری محصول برای هر گیاه بر اساس میانگین عملکرد آمار FAO برای هر کشور در طول بازه زمانی مورد استفاده در این مطالعه به‌دست آمده و واحدهای آنها از hg / ha به kg / m<sup>2</sup> تبدیل شد (جداول ۹، ۱۰ و ۱۱). سپس، کل مصرف آب در هر کشور با ضرب مصرف آب هر منطقه (مترمکعب در مترمربع) در مساحت زیر کشت (متر مربع) تعیین شد (جداول ۹، ۱۰ و ۱۱). مساحت زیر کشت برای هر کشور از آمار داده‌های FAO جمع‌آوری و از هکتار به مترمربع تبدیل شدند. در مرحله سوم، کل میزان صرفه‌جویی آب در هر کشور برای هر محصول با ضرب کل مصرف آب هر کشور برای هر محصول در درصد میزان صرفه‌جویی آب (به عنوان مثال ۱۰٪، ۲۰٪ یا ۳۰٪) هدف‌گذاری شده تعیین می‌گردد. در نهایت، به منظور مقایسه در سطح جهان، میزان صرفه‌جویی در مصرف آب از مترمکعب به میلیارد لیتر (هر یک مترمکعب = ۱۰۰۰ لیتر) تبدیل می‌شود.

بدین ترتیب، جهت تجزیه و تحلیل صرفه‌جویی در مصرف آب، ناشی از افزایش پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آب با افزایش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ میانگین CWP در هر کشور از معادلات زیر (A-D) استفاده می‌شود. بهره‌وری محصول و مساحت زیر کشت در هر کشور از آمار داده‌های محصول FAO جمع‌آوری شده و میانگین CWP پایه در هر کشور از مجموعه داده‌های CWP که در این مطالعه گردآوری شده تعیین شده است.

برای به‌دست آوردن آب ذخیره شده هر محصول، از معادلات زیر استفاده شده است:



$$(A) \frac{\text{Crop productivity } \left(\frac{kg}{m^2}\right)}{CWP \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = (\text{Water use per unit area } \left(\frac{m^3}{m^2}\right))$$

$$(B) \text{ Total water use } (m^3) = \text{Water use per unit area } \left(\frac{m^3}{m^2}\right) \times \text{Area harvested } (m^2)$$

$$(C_1) \text{ Water savings } (m^3) \text{ at 10\% increase in CWP} = 0.1 * (\text{Total water use } (m^3))$$

$$(C_2) \text{ Water savings } (m^3) \text{ at 20\% increase in CWP} = 0.2 * (\text{Total water use } (m^3))$$

$$(C_3) \text{ Water savings } (m^3) \text{ at 30\% increase in CWP} = 0.3 * (\text{Total water use } (m^3))$$

$$(D) \text{ Water savings converted from } (m^3) \text{ of water to billions of water}$$

نتایج و مدل‌سازی‌ها نشان داد که مقادیر قابل توجهی آب می‌تواند از طریق افزایش بسیار اندک میانگین CWP صرفه‌جویی شود. به عنوان مثال، برای گندم در مراکش، با افزایش ۱۰٪ مقدار CWP می‌توان ۴۷۴ میلیارد لیتر در مصرف آب صرفه‌جویی کرد در حالی که با افزایش ۲۰٪، ۸۶۹ میلیارد لیتر، و با افزایش ۳۰٪ ۱۰۲۴ میلیارد لیتر صرفه‌جویی می‌شود. در هند، میزان صرفه‌جویی در آب مصرفی بسیار قابل توجه است: برای گندم، با افزایش ده درصدی CWP میزان آب صرفه‌جویی شده برابر ۶۹۵۴ میلیارد لیتر خواهد بود، با افزایش ۲۰٪، ۱۲۷۵۰ میلیارد لیتر و با افزایش ۳۰٪ در مقدار میانگین CWP به ۱۷۶۵۳ میلیارد لیتر خواهد رسید (جدول ۹).



جدول ۹- صرفه‌جویی در مصرف آب برای محصول گندم با بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال (ها)	مساحت تحت کشت (ha)	بهره‌وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه‌جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره‌وری پایین گندم (kg/m <sup>3</sup> CWP ≤ 0/75)									
۱	مراکش		۰/۶۶	۱۹۹۴- ۱۹۹۷	2.68E+10	۰/۱۳	۰/۱۹	5.22E+09	
۴۷۴		افزایش ٪۱۰	۰/۷۳		2.68E+10	۰/۱۳	۰/۱۸	4.74E+09	
۸۶۹		افزایش ٪۲۰	۰/۷۹		2.68E+10	۰/۱۳	۰/۱۶	4.35E+09	
۱۲۰۴		افزایش ٪۳۰	۰/۸۶		2.68E+10	۰/۱۳	۰/۱۵	4.01E+09	
۲	ازبکستان		۰/۶۷	۲۰۰۲- ۲۰۰۷	1.42E+10	۰/۴۱	۰/۶۱	8.70E+09	
۷۹۱		افزایش ٪۱۰	۰/۷۳		1.42E+10	۰/۴۱	۰/۵۶	7.91E+09	
۱۴۵۰		افزایش ٪۲۰	۰/۸		1.42E+10	۰/۴۱	۰/۵۱	7.25E+09	
۲۰۰۸		افزایش ٪۳۰	۰/۸۶		1.42E+10	۰/۴۱	۰/۴۷	6.69E+09	
۳	نیجریه		۰/۶۸	۱۹۹۷	3.00E+06	۰/۲	۰/۲۹	8.82E+05	
۰/۰۸		افزایش ٪۱۰	۰/۷۵		3.00E+06	۰/۲	۰/۲۷	8.02E+05	
۰/۱۵		افزایش ٪۲۰	۰/۸۲		3.00E+06	۰/۲	۰/۲۵	7.35E+05	
۱		افزایش ٪۳۰	۰/۸۸		3.00E+06	۰/۲	۰/۲۳	6.79E+05	
۴	الجزایر		۰/۷۳	۱۹۹۹	1.37E+10	۰/۱۱	۰/۱۵	2.01E+09	
۱۸۳		افزایش ٪۱۰	۰/۸		1.37E+10	۰/۱۱	۰/۱۳	1.83E+09	
۳۳۶		افزایش ٪۲۰	۰/۸۸		1.37E+10	۰/۱۱	۰/۱۲	1.68E+09	
۴۶۵		افزایش ٪۳۰	۰/۹۵		1.37E+10	۰/۱۱	۰/۱۱	1.55E+09	

ادامه جدول ۹- صرفه‌جویی در مصرف آب برای محصول گندم با بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره‌وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> )	صرفه‌جویی آب (میلیارد لیتر)
(kg/m <sup>3</sup> 0/75 ≤ CWP ≤ 1/1) بهره‌وری متوسط گندم									
۵	سوریه		۰/۷۹	۱۹۹۴	1.55E+10	۰/۲۴	۰/۳	4.69E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۸۷		1.55E+10	۰/۲۴	۰/۲۷	4.26E+09	۴۲۶
		افزایش ٪۲۰	۰/۹۵		1.55E+10	۰/۲۴	۰/۲۵	3.91E+09	۷۸۱
		افزایش ٪۳۰	۱/۰۳		1.55E+10	۰/۲۴	۰/۲۳	3.61E+09	۱۰۸۲
۶	هند		۰/۸۴	۱۹۸۲- ۲۰۱۴	2.59E+11	۰/۲۵	۰/۳	7.65E+10	
		افزایش ٪۱۰	۰/۹۳		2.59E+11	۰/۲۵	۰/۲۷	6.95E+10	۶۹۵۴
		افزایش ٪۲۰	۱/۰۱		2.59E+11	۰/۲۵	۰/۲۵	6.37E+10	۱۲۵۰
		افزایش ٪۳۰	۱/۱		2.59E+11	۰/۲۵	۰/۲۳	5.88E+10	۱۷۶۵۳
۷	بنگلادش		۰/۹۳	۱۹۹۰	5.92E+09	۰/۱۵	۰/۱۶	9.57E+08	
		افزایش ٪۱۰	۱/۰۲		5.92E+09	۰/۱۵	۰/۱۵	8.7E+08	۸۷
		افزایش ٪۲۰	۱/۱۲		5.92E+09	۰/۱۵	۰/۱۳	7.98E+08	۱۶۰
		افزایش ٪۳۰	۱/۲۱		5.92E+09	۰/۱۵	۰/۱۲	7.36E+08	۲۲۱
۸	ایران		۰/۹۴	۲۰۰۰	5.1E+10	۰/۱۶	۰/۱۷	8.6E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۸		5.1E+10	۰/۱۶	۰/۱۵	7.82E+09	۷۸۲
		افزایش ٪۲۰	۰/۸۸		5.1E+10	۰/۱۶	۰/۱۴	7.17E+09	۸۶۰۴
		افزایش ٪۳۰	۰/۹۵		5.1E+10	۰/۱۶	۰/۱۳	6.62E+09	1986

ادامه جدول ۹- صرفه‌جویی در مصرف آب برای محصول گندم با بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره‌وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه‌جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره‌وری متوسط گندم ( $0/75 \leq CWP \leq 1/1$ ) (kg/m <sup>3</sup> )									
۹	پاکستان	افزایش %۱۰	۰/۹۹	۱۹۹۹	۸.۲۴E+۱۰	۰/۲۲	۰/۲۳	۱.۸۷E+۱۰	
		افزایش %۲۰	۱/۰۹		۸.۲۴E+۱۰	۰/۲۲	۰/۲۱	۱.۷E+۱۰	۱۶۹۶
		افزایش %۳۰	۱/۱۹		۸.۲۴E+۱۰	۰/۲۲	۰/۱۹	۱.۵۶E+۱۰	۳۱۱۰
		افزایش %۳۰	۱/۲۸		۸.۲۴E+۱۰	۰/۲۲	۰/۱۷	۱.۴۴E+۱۰	۴۳۰۶
۱۰	آرژانتین	افزایش %۱۰	۱/۰۲	۱۹۹۹	۵.۴۷E+۱۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۱.۲۴E+۱۰	
		افزایش %۲۰	۱/۱۲		۵.۴۷E+۱۰	۰/۲۳	۰/۲۱	۱.۱۲E+۱۰	۱۱۲۳
		افزایش %۳۰	۱/۲۲		۵.۴۷E+۱۰	۰/۲۳	۰/۱۹	۱.۰۳E+۱۰	۲۰۵۹
		افزایش %۳۰	۱/۳۳		۵.۴۷E+۱۰	۰/۲۳	۰/۱۷	۹.۵E+۰۹	۲۸۵۱
۱۱	استرالیا	افزایش %۱۰	۱/۰۵	-۱۹۸۷ ۱۹۹۴	۸.۴۷E+۱۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۱.۲۶E+۱۰	
		افزایش %۲۰	۱/۱۶		۸.۴۷E+۱۰	۰/۱۶	۰/۱۳	۱.۱۴E+۱۰	۱۱۴۳
		افزایش %۳۰	۱/۲۶		۸.۴۷E+۱۰	۰/۱۶	۰/۱۲	۱.۰۵E+۱۰	۲۰۹۶
		افزایش %۳۰	۱/۳۷		۸.۴۷E+۱۰	۰/۱۶	۰/۱۱	۹.۶۸E+۰۹	۲۹۰۳

ادامه جدول ۹- صرفه‌جویی در مصرف آب برای محصول گندم با بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره‌وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه‌جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره‌وری بالای گندم ( $CWP \geq 1/1$ kg/m <sup>3</sup> )									
12	اسرائیل		۱/۱	۱۹۸۲	8.96E+08	۰/۱۶	۰/۱۵	1.34E+08	
		افزایش ٪۱۰	۱/۲۱		8.96E+08	۰/۱۶	۰/۱۴	1.21E+08	۱۲
		افزایش ٪۲۰	۱/۳۲		8.96E+08	۰/۱۶	۰/۱۲	1.11E+08	۲۲
		افزایش ٪۳۰	۱/۴۳		8.96E+08	۰/۱۶	۰/۱۱	1.03E+08	۳۱
۱۳	چین		۱/۲۲	-۱۹۸۳ ۲۰۱۴	2.69E+11	۰/۳۹	۰/۳۲	8.56E+10	
		افزایش ٪۱۰	۱/۳۴		2.69E+11	۰/۳۹	۰/۲۹	7.78E+10	۷۷۸۰
		افزایش ٪۲۰	۱/۴۶		2.69E+11	۰/۳۹	۰/۲۶	7.13E+10	۱۴۲۶۳
		افزایش ٪۳۰	۱/۵۸		2.69E+11	۰/۳۹	۰/۲۴	6.58E+10	۱۹۷۴۹
۱۴	ایالات متحده آمریکا		۱/۲۶	-۱۹۸۹ ۲۰۰۰	2.46E+11	۰/۲۶	۰/۲۱	5.05E+10	
		افزایش ٪۱۰	۱/۳۸		2.46E+11	۰/۲۶	۰/۱۹	4.59E+10	۴۵۹۱
		افزایش ٪۲۰	۱/۵۱		2.46E+11	۰/۲۶	۰/۱۷	4.21E+10	۸۴۱۷
		افزایش ٪۳۰	۱/۶۳		2.46E+11	۰/۲۶	۰/۱۶	3.88E+10	۱۱۶۵۴
۱۵	مکزیک		۱/۳۷	۲۰۰۰	4.94E+08	۰/۴۹	۰/۳۶	1.78E+08	
		افزایش ٪۱۰	۱/۵۱		4.94E+08	۰/۴۹	۰/۳۳	1.62E+08	۱۶
		افزایش ٪۲۰	۱/۶۴		4.94E+08	۰/۴۹	۰/۳	1.48E+08	۳۰
		افزایش ٪۳۰	۱/۷۸		4.94E+08	۰/۴۹	۰/۲۸	1.37E+08	41

ادامه جدول ۹- صرفه جویی در مصرف آب برای محصول گندم با بهبود بهره وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره وری بالای گندم ( $\text{kg/m}^3 \text{ CWP} \geq 1/1$ )									
16	هلند		۱/۳۹	۲۰۰۰	1.37E+09	۰/۸۴	۰/۶	8.22E+08	
۷۵		افزایش ٪۱۰	۱/۵۳		1.37E+09	۰/۸۴	۰/۵۵	7.47E+08	
۱۳۷		افزایش ٪۲۰	۱/۶۷		1.37E+09	۰/۸۴	۰/۵	6.85E+08	
۱۹۰		افزایش ٪۳۰	۱/۸۱		1.37E+09	۰/۸۴	۰/۴۶	6.32E+08	
۱۷	ترکیه		۱/۴۱	-۱۹۹۲ ۱۹۹۵	9.55E+10	۰/۲	۰/۱۴	1.35E+10	
۱۲۲۶		افزایش ٪۱۰	۱/۵۵		9.55E+10	۰/۲	۰/۱۳	1.23E+10	
۲۲۴۸		افزایش ٪۲۰	۱/۶۹		9.55E+10	۰/۲	۰/۱۲	1.12E+10	
۳۱۱۳		افزایش ٪۳۰	۱/۸۳		9.55E+10	۰/۲	۰/۱۱	1.04E+10	
	۱۸	مصر	۱/۵۲	۲۰۰۰	1.03E+10	۰/۶۳	۰/۴۲	4.32E+09	
۳۹۳		افزایش ٪۱۰	۱/۶۷		1.03E+10	۰/۶۳	۰/۳۸	3.93E+09	
۷۲۰		افزایش ٪۲۰	۱/۸۲		1.03E+10	۰/۶۳	۰/۳۵	3.6E+09	
۹۹۷		افزایش ٪۳۰	۱/۹۸		1.03E+10	۰/۶۳	۰/۳۲	3.32E+09	

جدول ۱۰- صرفه‌جویی در مصرف آب برای محصول ذرت با بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره‌وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه‌جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره‌وری پایین ذرت ( $\text{kg/m}^3 \text{ CWP} \leq 1/25$ )									
۱	تانزانیا		۰/۵۵	۲۰۰۴	3.17E+10	۰/۱۵	۰/۲۷	8.46E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۶۱		3.17E+10	۰/۱۵	۰/۲۴	7.69E+09	۷۶۹
		افزایش ٪۲۰	۰/۶۶		3.17E+10	۰/۱۵	۰/۲۲	7.05E+09	۱۴۱۰
		افزایش ٪۳۰	۰/۷۲		3.17E+10	۰/۱۵	۰/۲۱	6.51E+09	۱۹۵۲
۲	هند		۰/۹	-۱۹۹۴ ۲۰۱۴	7.46E+10	۰/۲	۰/۲۳	1.7E+10	
		افزایش ٪۱۰	۰/۹۸		7.46E+10	۰/۲	۰/۲۱	1.55E+10	۱۵۴۸
		افزایش ٪۲۰	۱,۰۷		7.46E+10	۰/۲	۰/۱۹	1.42E+10	۲۸۳۸
		افزایش ٪۳۰	۱,۱۶		7.46E+10	۰/۲	۰/۱۸	1.31E+10	۳۹۳۰
۳	ایران		۰/۹۱	-۲۰۰۰ ۲۰۰۷	2.45E+09	۰/۶۹	۰/۷۶	1.87E+09	
		افزایش ٪۱۰	۱/۰۰		2.46E+11	۰/۶۹	۰/۶۹	1.7E+09	۱۷۰
		افزایش ٪۲۰	۱/۰۹		2.46E+11	۰/۶۹	۰/۶۳	1.56E+09	۳۱۲
		افزایش ٪۳۰	۱/۱۸		2.46E+11	۰/۶۹	۰/۵۹	1.44E+09	۴۳۱
۴	کامبوج		۱/۰۹	۲۰۰۰	5.74E+08	۰/۲۷	۰/۲۵	1.44E+08	
		افزایش ٪۱۰	۱/۲		5.74E+08	۰/۲۷	۰/۲۳	1.31E+08	۱۳
		افزایش ٪۲۰	۱/۳۱		5.74E+08	۰/۲۷	۰/۲۱	1.2E+08	۲۴
		افزایش ٪۳۰	۱/۴۲		5.74E+08	۰/۲۷	۰/۱۹	1.11E+08	33



ادامه جدول ۱۰- صرفه جویی در مصرف آب برای محصول ذرت با بهبود بهره وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش %. CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره وری متوسط ذرت ( $1/25 \leq CWP \leq 1/75$ ) (kg/m <sup>3</sup> )									
۵	ترکیه		۱/۴۲	-۱۹۹۴ ۲۰۰۰	5.29E+09	۰/۴	۰/۲۸	1.48E+09	
		افزایش ٪۱۰	۱/۵۷		5.29E+09	۰/۴	۰/۲۵	1.34E+09	۱۳۴
		افزایش ٪۲۰	۱/۷۱		5.29E+09	۰/۴	۰/۲۳	1.23E+09	۲۴۶
		افزایش ٪۳۰	۱/۸۵		5.29E+09	۰/۴	۰/۲۱	1.14E+09	۳۴۱
۶	برزیل		۱/۶۱	-۱۹۹۴ ۲۰۰۸	1.25E+11	۰/۳۱	۰/۱۹	2.41E+10	
		افزایش ٪۱۰	۱/۷۷		1.25E+11	۰/۳۱	۰/۱۷	2.19E+10	۲۱۸۸
		افزایش ٪۲۰	۲/۱۲		1.25E+11	۰/۳۱	۰/۱۵	1.82E+10	۵۸۳۵
		افزایش ٪۳۰	۲/۱۳		1.25E+11	۰/۳۱	۰/۱۳	1.68E+10	۷۲۳۸
۷	لبنان		۱/۶۴	۱۹۹۸	1.00E+07	۰/۵	۰/۳	3.05E+06	
		افزایش ٪۱۰	۱/۸		1.00E+07	۰/۵	۰/۲۸	2.77E+06	۰/۲۸
		افزایش ٪۲۰	۱/۹۷		1.00E+07	۰/۵	۰/۲۵	2.54E+06	۰/۵۱
		افزایش ٪۳۰	۲/۱۳		1.00E+07	۰/۵	۰/۲۳	2.35E+06	۰/۷
۸	اسپانیا		۱/۷۳	۱۹۹۳	2.65E+09	۰/۶۲	۰/۳۶	9.44E+08	
		افزایش ٪۱۰	۱/۹		2.65E+09	۰/۶۲	۰/۳۲	8.58E+08	۸۶
		افزایش ٪۲۰	۲/۰۸		2.65E+09	۰/۶۲	۰/۳	7.87E+08	۱۵۷
		افزایش ٪۳۰	۲/۲۵		2.65E+09	۰/۶۲	۰/۲۷	7.26E+08	218

ادامه جدول ۱۰- صرفه جویی در مصرف آب برای محصول ذرت با بهبود بهره وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره وری بالای ذرت ( CWP ≥ 1/75 ) (kg/m <sup>3</sup> )									
۹	مجارستان		۱/۸۵	۱۹۸۷	1.17E+10	۰/۶۲	۰/۳۳	3.91E+09	
		افزایش %۱۰	۲/۰۴		1.17E+10	۰/۶۲	۰/۳	3.55E+09	۳۵۵
		افزایش %۲۰	۲/۲۲		1.17E+10	۰/۶۲	۰/۲۸	3.26E+09	۶۵۲
		افزایش %۳۰	۲/۴۱		1.17E+10	۰/۶۲	۰/۲۶	3.01E+09	۹۰۲
۱۰	چین		۱/۹۴	-۱۹۸۳ ۲۰۱۴	2.52E+11	۰/۴۸	۰/۲۵	6.24E+10	
		افزایش %۱۰	۲/۱۴		2.52E+11	۰/۴۸	۰/۲۳	5.67E+10	۵۶۷۵
		افزایش %۲۰	۲/۳۷		2.52E+11	۰/۴۸	۰/۲	5.12E+10	۱۱۲۵۶
		افزایش %۳۰	۲/۵۳		2.52E+11	۰/۴۸	۰/۱۹	4.8E+10	۱۴۴۰۵
۱۱	ایالات متحده آمریکا		۲/۲۶	-۱۹۹۰ ۲۰۱۴	2.84E+11	۰/۸۱	۰/۳۶	1.02E+11	
		افزایش %۱۰	۲/۴۸		2.84E+11	۰/۸۱	۰/۳۳	9.29E+10	۹۲۸۹
		افزایش %۲۰	۲/۷۱		2.84E+11	۰/۸۱	۰/۳	8.51E+10	۱۷۰۲۹
		افزایش %۳۰	۲/۹۳		2.84E+11	۰/۸۱	۰/۲۸	7.86E+10	۲۳۵۷۹
۱۲	آرژانتین		۲/۳۵	۱۹۹۳	2.5E+10	۰/۴۴	۰/۱۹	4.64E+09	
		افزایش %۱۰	۲/۵۹		2.5E+10	۰/۴۴	۰/۱۷	4.22E+09	۴۲۲
		افزایش %۲۰	۲/۸۲		2.5E+10	۰/۴۴	۰/۱۵	3.87E+09	۷۷۳
		افزایش %۳۰	۳/۰۶		2.5E+10	۰/۴۴	۰/۱۴	3.57E+09	۱۰۷۰
۱۳	رومانی		۲/۶۴	۱۹۹۳	3.07E+10	۰/۲۶	۰/۱	3.03E+09	
		افزایش %۱۰	۲/۹		3.07E+10	۰/۲۶	۰/۰۹	2.75E+09	۲۷۵
		افزایش %۲۰	۳/۱۷		3.07E+10	۰/۲۶	۰/۰۸	2.52E+09	۵۰۴
		افزایش %۳۰	۳/۴۳		3.07E+10	۰/۲۶	۰/۰۸	2.33E+09	698

جدول ۱۱- صرفه‌جویی در مصرف آب برای محصول برنج با بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره‌وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه‌جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره‌وری پایین برنج (kg/m <sup>3</sup> CWP ≤ 0/7)									
۱	تایوان		۰/۲۸	۲۰۱۶	۲.۵E+09	۰/۶۳	۲/۲۷	۵.۶۷E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۳۱		۲.۵E+09	۰/۶۳	۲/۰۶	۵.۱۶E+09	۵۱۶
		افزایش ٪۲۰	۰/۳۴		۲.۵E+09	۰/۶۳	۱/۸۹	۴.۷۳E+09	۹۴۵
		افزایش ٪۳۰	۰/۳۶		۲.۵E+09	۰/۶۳	۱/۷۴	۴.۳۶E+09	۱۳۰۹
۲	ازبکستان		۰/۵	۲۰۰۷	۴.۸E+08	۰/۴۱	۰/۸۲	۳.۹۶E+08	
		افزایش ٪۱۰	۰/۵۵		۴.۸E+08	۰/۴۱	۰/۷۵	۳.۶E+08	۳۶
		افزایش ٪۲۰	۰/۶		۴.۸E+08	۰/۴۱	۰/۶۹	۳.۳E+08	۶۶
		افزایش ٪۳۰	۰/۶۵		۴.۸E+08	۰/۴۱	۰/۶۳	۳.۰۴E+08	۹۱
۳	مالزی		۰/۵۵	۱۹۹۱	۶.۸۴E+09	۰/۲۸	۰/۵۱	۳.۵E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۶۱		۶.۸۴E+09	۰/۲۸	۰/۴۷	۳.۱۸E+09	۳۱۸
		افزایش ٪۲۰	۰/۶۶		۶.۸۴E+09	۰/۲۸	۰/۴۳	۲.۹۲E+09	۵۸۴
		افزایش ٪۳۰	۰/۷۲		۶.۸۴E+09	۰/۲۸	۰/۳۹	۲.۶۹E+09	۸۰۸
۴	غنا		۰/۵۶	۲۰۰۶	۱.۲۵E+09	۰/۲	۰/۳۶	۴.۴۶E+08	
		افزایش ٪۱۰	۰/۶۲		۱.۲۵E+09	۰/۲	۰/۳۲	۴.۰۶E+08	۴۱
		افزایش ٪۲۰	۰/۶۷		۱.۲۵E+09	۰/۲	۰/۳	۳.۷۲E+08	۷۴
		افزایش ٪۳۰	۰/۷۳		۱.۲۵E+09	۰/۲	۰/۲۷	۳.۴۳E+08	۱۰۳
۵	پاکستان		۰/۵۷	۲۰۰۰ ۲۰۰۳	۲.۲۹E+10	۰/۲۹	۰/۵۲	۱.۱۸E+10	
		افزایش ٪۱۰	۰/۶۳		۲.۲۹E+10	۰/۲۹	۰/۴۷	۱.۰۸E+10	۱۰۷۶
		افزایش ٪۲۰	۰/۶۸		۲.۲۹E+10	۰/۲۹	۰/۴۳	۹.۸۶E+09	۱۹۷۲
		افزایش ٪۳۰	۰/۷۴		۲.۲۹E+10	۰/۲۹	۰/۴	۹.۱E+09	۲۷۳۱



ادامه جدول ۱۱- صرفه جویی در مصرف آب برای محصول برنج با بهبود بهره وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره وری پایین برنج (kg/m <sup>3</sup> CWP ≤ 0/7)									
۶	مراکش		۰/۶۵	۱۹۹۶	۹.۲E+07	۰/۵۸	۰/۸۹	۸.۲۱E+07	
۷		افزایش ٪۱۰	۰/۷۲		۹.۲E+07	۰/۵۸	۰/۸۱	۷.۴۶E+07	
۱۴		افزایش ٪۲۰	۰/۷۸		۹.۲E+07	۰/۵۸	۰/۷۴	۶.۴۸E+07	
۱۹		افزایش ٪۳۰	۰/۸۵		۹.۲E+07	۰/۵۸	۰/۶۹	۶.۳۱E+07	
۷	نیجریه		۰/۶۵	۱۹۹۲	۱.۶۶E+10	۰/۲	۰/۳	۵.۰۲E+09	
۴۵۶		افزایش ٪۱۰	۰/۷۲		۱.۶۶E+10	۰/۲	۰/۲۷	۴.۵۶E+09	
۸۳۶		افزایش ٪۲۰	۰/۷۸		۱.۶۶E+10	۰/۲	۰/۲۵	۴.۱۸E+09	
۱۱۵۷		افزایش ٪۳۰	۰/۸۵		۱.۶۶E+10	۰/۲	۰/۲۳	۳.۸۶E+09	
۸	ترکیه		۰/۶۸	۲۰۰۴	۷.۰۰E+08	۰/۷	۱/۰۳	۷.۲۱E+08	
۶۶		افزایش ٪۱۰	۰/۷۵		۷.۰۰E+08	۰/۷	۰/۹۴	۶.۵۵E+08	
۱۲۰		افزایش ٪۲۰	۰/۸۲		۷.۰۰E+08	۰/۷	۰/۸۶	۶.۰۰E+08	
۱۶۶		افزایش ٪۳۰	۰/۸۸		۷.۰۰E+08	۰/۷	۰/۷۹	۵.۵۴E+08	
بهره وری متوسط برنج (kg/m <sup>3</sup> 0/7 ≤ CWP ≤ 1/25)									
۹	سنگال		۰/۷۱	-۱۹۹۰ ۲۰۰۸	۸.۲۹E+08	۰/۲۵	۰/۳۵	۲.۸۷E+08	
۲۶		افزایش ٪۱۰	۰/۷۸		۸.۲۹E+08	۰/۲۵	۰/۳۲	۲.۶۱E+08	
۴۸		افزایش ٪۲۰	۰/۸۵		۸.۲۹E+08	۰/۲۵	۰/۲۹	۲.۴E+08	
۳۳		افزایش ٪۳۰	۰/۸		۸.۲۹E+08	۰/۲۵	۰/۳۱	۲.۵۴E+08	
۱۰	کامبوج		۰/۷۲	۲۰۰۰	۱.۹E+10	۰/۲۱	۰/۲۹	۵.۵۹E+09	
۵۰۸		افزایش ٪۱۰	۰/۷۹		۲.۲۹E+10	۰/۲۱	۰/۴۷	۵.۰۸E+09	
۹۳۲		افزایش ٪۲۰	۰/۸۶		۲.۲۹E+10	۰/۲۱	۰/۴۳	۴.۶۶E+09	
۱۲۹۰		افزایش ٪۳۰	۰/۹۴		۲.۲۹E+10	۰/۲۱	۰/۴	۴.۳E+09	

ادامه جدول ۱۱- صرفه جویی در مصرف آب برای محصول برنج با بهبود بهره وری آب محصول (CWP) در هر کشور

شماره	کشور	افزایش %. CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره وری متوسط برنج (kg/m <sup>3</sup> 0/7 ≤ CWP ≤ 1/25)									
11	استرالیا		۰/۷۳	۱۹۹۸	1.41E+09	۰/۹۴	۱/۲۹	1.82E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۸		1.41E+09	۰/۹۴	۱/۱۷	1.66E+09	۱۶۶
		افزایش ٪۲۰	۰/۸۸		1.41E+09	۰/۹۴	۱/۰۸	1.52E+09	۳۰۴
		افزایش ٪۳۰	۰/۹۵		1.41E+09	۰/۹۴	۰/۹۹	1.4E+09	۴۲۱
12	هند		۰/۷۵	-۱۹۸۱ ۲۰۱۴	4.27E+11	۰/۲۸	۰/۳۸	1.61E+11	
		افزایش ٪۱۰	۰/۸۳		4.27E+11	۰/۲۸	۰/۳۴	1.47E+11	۱۴۶۵۹
		افزایش ٪۲۰	۰/۹		4.27E+11	۰/۲۸	۰/۳۱	1.34E+11	۲۶۸۷۴
		افزایش ٪۳۰	۰/۹۸		4.27E+11	۰/۲۸	۰/۲۹	1.24E+11	۳۷۲۱۱
۱۳	مالی		۰/۷۸	۲۰۰۵	4.14E+09	۰/۲۳	۰/۲۹	1.21E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۸۶		4.14E+09	۰/۲۳	۰/۲۷	1.1E+09	۱۱۰
		افزایش ٪۲۰	۰/۹۵		4.14E+09	۰/۲۳	۰/۲۴	9.94E+08	۲۱۹
		افزایش ٪۳۰	۱/۰۱		4.14E+09	۰/۲۳	۰/۲۳	9.33E+08	۲۸۰
۱۴	مصر		۰/۸۹	۲۰۰۷	7.04E+09	۰/۹۸	۱/۱	7.73E+09	
		افزایش ٪۱۰	۰/۹۸		7.04E+09	۰/۹۸	۱/۰	7.02E+09	۷۰۲
		افزایش ٪۲۰	۱/۰۷		7.04E+09	۰/۹۸	۰/۹۱	6.44E+09	۱۲۸۸
		افزایش ٪۳۰	۱/۱۶		7.04E+09	۰/۹۸	۰/۸۴	5.94E+09	1783



ادامه جدول ۱۱- صرفه جویی در مصرف آب برای محصول برنج با بهبود بهره وری آب محصول (CWP) در هر کشور

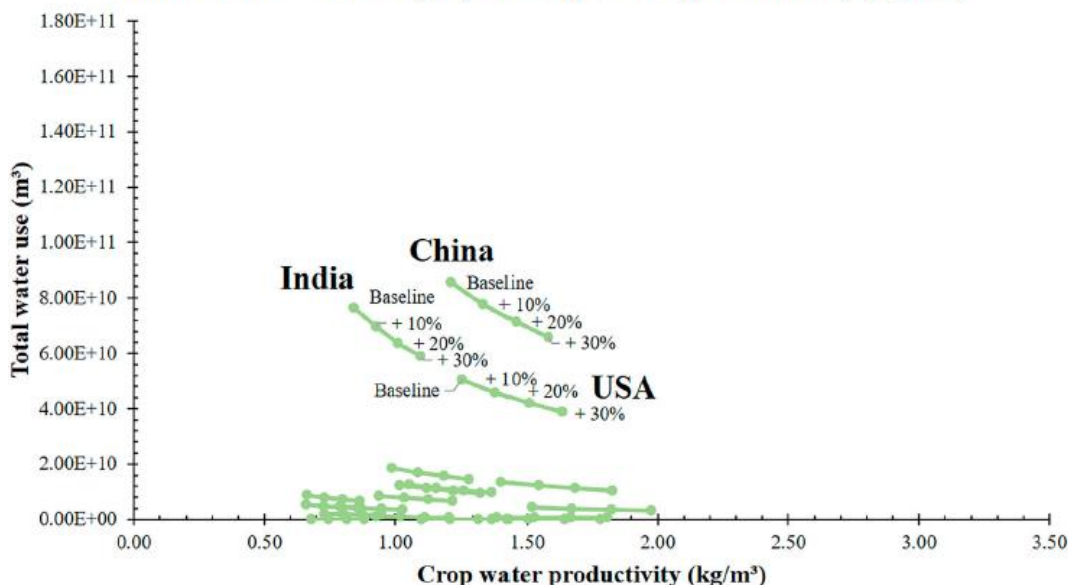
شماره	کشور	افزایش % CWP	میانگین CWP (kg/m <sup>3</sup> )	سال	مساحت تحت کشت (ha)	بهره وری (kg/m <sup>2</sup> )	مصرف آب (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	مصرف آب کل (m <sup>3</sup> )	صرفه جویی آب (میلیارد لیتر)
بهره وری بالای برنج (kg/m <sup>3</sup> CWP ≥ 1/25)									
15	ایالات متحده آمریکا		۱/۲۶	-۱۹۸۰ ۱۹۹۵	1.17E+10	۰/۶	۰/۴۸	5.54E+09	
		افزایش ٪۱۰	۱/۳۹		1.17E+10	۰/۶	۰/۴۳	5.04E+09	۵۰۴
		افزایش ٪۲۰	۱/۵۱		1.17E+10	۰/۶	۰/۴	4.62E+09	۹۲۳
16	فیلیپین		۱/۳۹	-۱۹۹۰ ۲۰۰۱	3.64E+10	۰/۲۹	۰/۲۱	7.62E+09	
		افزایش ٪۱۰	۱/۵۳		3.64E+10	۰/۲۹	۰/۱۹	6.93E+09	۶۹۳
		افزایش ٪۲۰	۱/۶۷		3.64E+10	۰/۲۹	۰/۱۷	6.35E+09	۱۲۷۰
17	چین		۱/۸۱	-۱۹۹۶ ۲۰۱۴	3.64E+10	۰/۲۹	۰/۱۶	5.86E+09	۱۷۵۹
		افزایش ٪۳۰	۱/۸۱		3.00E+11	۰/۶۴	۰/۴۶	1.37E+11	
		افزایش ٪۱۰	۱/۵۴		3.00E+11	۰/۶۴	۰/۴۲	1.24E+11	۱۲۴۴۲
		افزایش ٪۲۰	۱/۶۸		3.00E+11	۰/۶۴	۰/۳۸	1.14E+11	۲۲۸۱۱
		افزایش ٪۳۰	۱/۸۲		3.00E+11	۰/۶۴	۰/۳۵	1.05E+11	۳۱۵۸۴

یک راه برای تصور میزان آب صرفه جویی شده، تجسم این آب در قالب دریاچه‌ها و توانایی آنها برای تأمین حقایق زیست-محیطی، منابع آبیاری، و تغذیه آب زیرزمینی، است. به عنوان مثال، یک میلیارد لیتر آب یک دریاچه ۱۰۰ مترمکعبی را شکل خواهد داد. بنابراین، اگر میانگین CWP برای گندم در هند ۱۰٪، ۲۰٪ یا ۳۰٪ افزایش یابد می‌تواند منجر به صرفه جویی آب به تعداد ۶۹۷۴، ۱۲۷۵۰ و ۱۷۶۵۳ دریاچه ۱۰۰ مترمکعبی به ازای هر درصد افزایش CWP شود. میزان



صرفه‌جویی در مصرف آب با افزایش ناچیز میانگین CWP در تمام کشورها و برای انواع محصولات مورد مطالعه امکان‌پذیر است. براساس داده‌هایی این مطالعه، کشورهای با سطح زیر کشت تمایل به مصرف آب بیشتری دارند و دارای پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف آب هستند. این کشورها عبارتند از چین، هند و ایالات متحده آمریکا برای گندم (شکل ۱۵)، برزیل، چین و ایالات متحده آمریکا برای ذرت (شکل ۱۶)، و چین، هند و پاکستان برای برنج (شکل ۱۷).

Wheat total water use (m<sup>3</sup>) vs. crop water productivity (kg/m<sup>3</sup>)

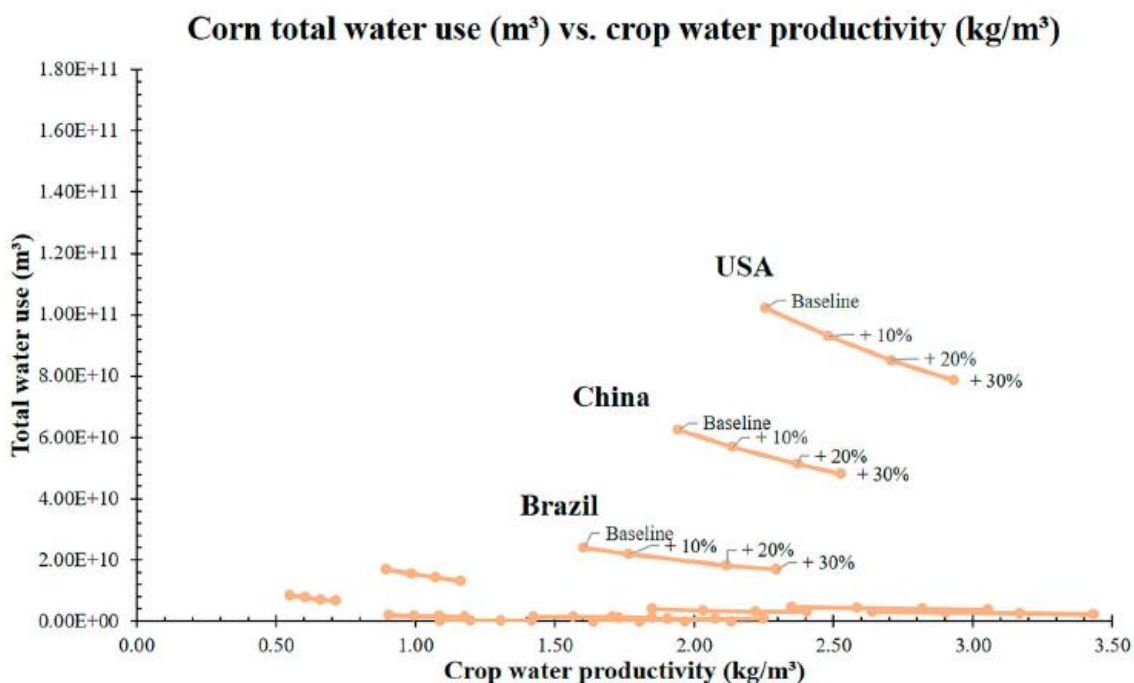


شکل ۱۵- مصرف کل آب در برابر بهره‌وری آب محصول (CWP) برای گندم. برآورد حجم کل مصرف آب محصول (متر مکعب) نسبت به افزایش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ میانگین CWP (کیلوگرم در مترمکعب) در مقادیر پایه در هر کشور در این مطالعه. صرفه‌جویی آب ناشی از افزایش ۱۰٪ CWP نشان می‌دهد که با افزایش CWP مصرف آب کاهش می‌یابد. بالاترین مصرف کنندگان آب برای محصول گندم در این مطالعه ایالات متحده آمریکا، هند و چین هستند.

#### ۵-۴- رویکرد افزایش صرفه‌جویی در مصرف آب

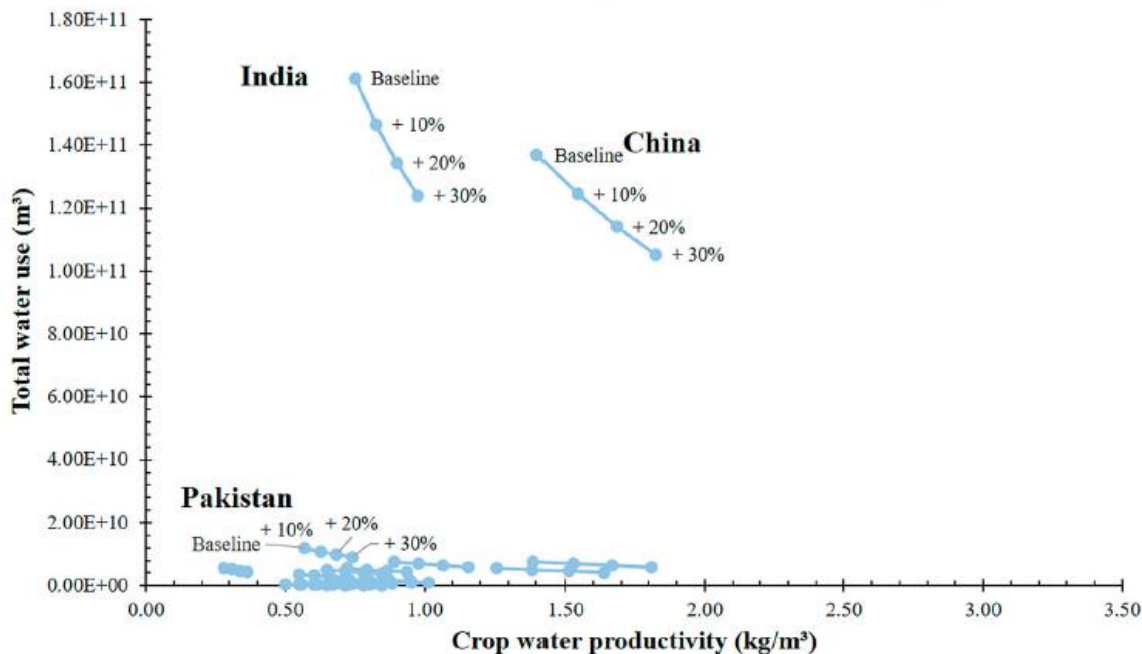
ارزیابی کامل و دقیق روش‌ها بهبود بهره‌وری آب محصول (CWP) خارج از محدوده این مطالعه است، با این حال، CWP را می‌توان به روش‌های مختلف بهبود داد. برای دستیابی به صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق افزایش CWP، تعدادی از محققین از جمله Kijne et al. (۲۰۰۳)، Bouman (۲۰۰۷)، Molden et al. (۲۰۱۰)، Brauman, Siebert, and Foley (۲۰۱۳) راهکارهایی را در خصوص بهبود CWP ارائه داده‌اند. برای افزایش CWP، می‌توان پیشرفت‌های چشمگیری در شیوه‌های مدیریت آب مانند مدرن‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های آبیاری ایجاد کرد، این به‌ویژه در مناطق با سطح گسترده آبیاری مانند ایالات متحده آمریکا و خاورمیانه می‌تواند مفید باشد (Playán and Mateas 2006).

برداشت آب برای آبیاری تکمیلی در مناطق کشاورزی خشک مانند غرب آسیا و شمال آفریقا (Oweis and Hachum 2006)، اعمال کم‌آبیاری در مناطق خشک که این روش در کشور چین نسبت به سایر مناطق خشک پیشرفت بیشتری داشته است (Geerts and Raes 2009) و استفاده مؤثر از آب در شرایط خشکسالی برای مناطقی که منابع آب محدودی دارند (Blum 2009).



شکل ۱۶- مصرف کل آب در برابر بهره‌وری آب محصول (CWP) برای ذرت. برآورد حجم کل مصرف آب محصول (متر مکعب) نسبت به افزایش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ میانگین CWP (کیلوگرم در مترمکعب) در مقادیر پایه در هر کشور در این مطالعه. صرفه‌جویی آب ناشی از افزایش ۱۰٪ CWP نشان می‌دهد که با افزایش CWP مصرف آب کاهش می‌یابد. بالاترین مصرف کنندگان آب برای محصول ذرت در این مطالعه ایالات متحده آمریکا، چین و برزیل هستند.

### Rice total water use ( $m^3$ ) vs. crop water productivity ( $kg/m^3$ )



شکل ۱۷- مصرف کل آب در برابر بهره‌وری آب محصول (CWP) برای برنج. برآورد حجم کل مصرف آب محصول (متر مکعب) نسبت به افزایش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ میانگین CWP (کیلوگرم در مترمکعب) در مقادیر پایه در هر کشور در این مطالعه. صرفه‌جویی آب ناشی از افزایش ۱۰٪ CWP نشان می‌دهد که با افزایش CWP مصرف آب کاهش می‌یابد. بالاترین مصرف کنندگان آب برای محصول برنج در این مطالعه هند، چین و پاکستان هستند.

علاوه بر این، راهکارهایی برای بهبود CWP پیشنهاد شده است که لازم است چهار محدوده اصلی برای بهبود CWP اولویت‌بندی شود که این محدوده‌ها شامل: مناطق دارای فقر بالا و CWP پایین (شامل بسیاری از کشورهای جنوب صحرای آفریقا و مناطقی از آسیای جنوبی و آمریکای لاتین)، کمبود آب زیاد و رقابت شدید برای آب (حوضه دریای آرال و رودخانه زرد)، توسعه کم منابع آب، و مناطقی که متأثر از تخریب اکوسیستم آب هستند مانند کم‌شدن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و خشک‌شدن رودخانه (Molden et al. 2007). استراتژی‌های احتمالی برای اجرای روش‌های بهبودهای CWP به درک بهتری از ردپای نهاده‌های آب و انرژی برای تولید غذا نیاز دارد (Khan et al. 2009).

#### ۴-۶- اندازه‌گیری بهره‌وری آب محصول: رویکردها و روش‌های دیگر

این تحقیق از طیف گسترده‌ای از مطالعات (جدول ۲) با رویکردهای مختلف گردآوری داده‌های CWP محصولات گوناگون در مناطق مختلف جهان با استفاده از روش سنجش از راه دور و غیر سنجش از راه دور استفاده کرده است. با این حال، جهت دستیابی به نتایج دقیق‌تر، بهتر است CWP از مناطق تحت کشت نقشه‌برداری شده و داده‌های ET بلند مدت از مدل تبخیر جهانی آمستردام (GLEAM; Martens et al. 2017) یا هر پایگاه داده جهانی دیگر که دارای داده‌های ET



باشد تهیه شود (Trabucco and Zomer 2019). جدیدترین داده‌های زمین‌های کشاورزی که با استفاده از ماهواره‌ی Landsat در مقیاس ۳۰ متر تهیه شده است اخیراً برای کل جهان منتشر شده‌اند (<https://lpdaac.usgs.gov/news/release-of-gfsad-30-meter-cropland-extentproducts/>; Xiong et al. ) (Thenkabail et al. 2009; Biradar et al. 2017; Teluguntla et al. 2018; Oliphant et al. 2019; Martens et al. (2016, 2017) توسط GLEAM داده‌های (al. 2008). نمونه‌هایی از استفاده از داده‌های GLEAM توسط (Good, Moore, and Mirallea (2017) and Forzieri et al. (2017) ارائه شده است. تعیین دقیق CWP با استفاده از روش‌ها و رویکردهای سنجش از راه دور می‌تواند شامل مراحل زیر باشد:

۱. تعیین وسعت زمین‌های زراعی
۲. تشخیص زمین‌های زراعی تحت کشت آبی و دیم
۳. نقشه‌برداری انواع محصولات در مزارع تحت کشت آبی و دیم
۴. کاربرد مدل بیان انرژی برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی (ETa) یا مصرف آب گیاه ( $m^3/m^3$ ; CWU) برای هر محصول در مناطق تحت کشت آبی و دیم
۵. تعیین بهره‌وری گیاه ( $kg/m^2$ ; CP)
۶. تعیین CWP با تقسیم CP بر CWU

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، فراتحلیلی بر بهره‌وری آب محصول (CWP) گندم، ذرت و برنج، که جزء سه محصول عمده جهان هستند، انجام شده است. این سه محصول ۳۱٫۹٪ از زمین‌های کشاورزی جهان معادل ۵۶۹/۳ میلیون هکتار از ۱٫۸۷۳ میلیارد هکتار کل اراضی زراعی را به اختصاص داده‌اند. تغییرات CWP براساس طبقه‌بندی اقلیمی Koppen-Geiger، عرض جغرافیایی و بافت خاک FAO تعیین شد. بهره‌وری آب هر سه محصول متفاوت بود. تقسیم‌بندی جهانی بهره‌وری آب محصول برای گندم عبارتند از: کم ( $CWP \leq 0/75$  کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط ( $0/75 \leq CWP \leq 1/1$  کیلوگرم بر مترمکعب) و زیاد ( $CWP \geq 1/1$  کیلوگرم بر مترمکعب). برای ذرت، تقسیم‌بندی جهانی بهره‌وری آب محصول عبارتند از: کم ( $CWP \leq 1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط ( $1/25 \leq CWP \leq 1/75$  کیلوگرم بر مترمکعب)، و زیاد ( $CWP \geq 1/75$  کیلوگرم بر مترمکعب). برای برنج نیز عبارتند از: کم ( $CWP \leq 0/7$  کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط ( $0/7 \leq CWP \leq 1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب) و زیاد ( $CWP \geq 1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب).

چین و ایالات متحده آمریکا جزو دو کشوری هستند که به طور مداوم دارای CWP بالایی برای هر سه محصول (گندم، ذرت و برنج) هستند. استرالیا و هند CWP متوسطی برای گندم و برنج دارند. با این حال، CWP ذرت در هند کم است. CWP گندم در کشورهای مصر، ترکیه، هلند، مکزیک و اسرائیل بالا است. رومانی، آرژانتین و مجارستان CWP بالایی برای ذرت دارند. و CWP برنج در فیلیپین بالا است. کشورهای دیگر CWP کم یا متوسط برای هر سه محصول دارند.

در سطح جهان، پتانسیل افزایش CWP برای هر سه محصول بسیار زیاد است. اگر CWP کم و متوسط سه محصول به طور اسمی به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش یابد، به طور بالقوه مشارکت در افزایش تولید جهانی غذا و صرفه‌جویی در مصرف آب چشمگیر خواهد بود. بر اساس داده‌های این مطالعه، محصولات با مصرف آب بالا بیشترین پتانسیل برای صرفه‌جویی در مصرف آب را دارند. مناطق با پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف آب برای گندم، ایالات متحده آمریکا، هند و چین (شکل ۱۵)؛ برای ذرت ایالات متحده آمریکا، چین، و برزیل (شکل ۱۶)؛ و برای برنج هند، چین و پاکستان هستند (شکل ۱۷). به عنوان مثال، با افزایش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ CWP برای محصول گندم در هند می‌توان به تعداد ۶۹۷۴ یا ۱۲۷۵۰، یا ۱۷۶۵۳ دریاچه به مساحت ۱۰۰ مترمکعب آب ذخیره نمود. به طور کلی، این مطالعه نشان داد که در مناطقی از جهان که به تناسب استفاده از آب برای محصولات CWP بیشتر یا کمتر است؛ از این رو تمرکز بر بهبود CWP در مناطقی که بیشترین میزان مصرف آب در محصولات را دارند، می‌تواند منجر به بیشترین صرفه‌جویی در مصرف آب شود.

## References

- Ahmad, M. U. D., I. Masih, and H. Turrall. 2004. "Diagnostic Analysis of Spatial and Temporal Variations in Crop Water Productivity: A Field Scale Analysis of the Rice-Wheat Cropping System of Punjab." *Journal of Applied Irrigation Science* 39 (1): 43–63.
- Al-Kaisi, M., A. Berrada, M. Stack, R. Allen, L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1997. "Evaluation of Irrigation Scheduling Program and Spring Wheat Yield Response in Southwestern Colorado." *Agricultural Water Management* 34 (2): 137–148.
- Ali, M. H., and M. S. U. Talukder. 2008. "Increasing Water Productivity in Crop Production – A Synthesis." *Agricultural Water Management* 95 (11): 1201–1213.
- Amir, J., J. Krikun, D. Orion, J. Putter, and S. Klitman. 1991. "Wheat Production in an Arid Environment. 1. Water-use Efficiency, as Affected by Management Practices." *Field Crops Research* 27 (4): 351–364.
- Bandyopadhyay, P. K., and S. Mallick. 2003. "Actual Evapotranspiration and Crop Coefficients of Wheat (*Triticum aestivum*) Under Varying Moisture Levels of Humid Tropical Canal Command Area." *Agricultural Water Management* 59 (1): 33–47.

Bastiaanssen, W. G. M., I. J. Miltenburg, and S. J. Zwart. 2010. Global-WP, Modelling and Mapping Global Water Productivity of Wheat, Maize and Rice. Report to FAO Land and Water Division. Rome, Italy: 115 pp.

Bastiaanssen, W. G., and P. Steduto. 2017. “The Water Productivity Score (WPS) at Global and Regional Level: Methodology and First Results From Remote Sensing Measurements of Wheat, Rice and Maize.” *Science of the Total Environment* 575: 595–611.

Bethune, M., N. Austin, and S. Maher. 2001. “Quantifying the Water Budget of Irrigated Rice in the Shepparton Irrigation Region, Australia.” *Irrigation Science* 20 (3): 99–105.

Bhuiyan, S. I., M. A. Sattar, and M. A. K. Khan. 1995. “Improving Water Use Efficiency in Rice Irrigation Through Wet-Seeding.” *Irrigation Science* 16 (1): 1–8.

Biradar, C. M., P. S. Thenkabail, A. Platonov, X. Xiao, R. Geerken, P. Noojipady, H. Turrall, and J. Vithanage. 2008. “Water Productivity Mapping Methods Using Remote Sensing.” *Journal of Applied Remote Sensing* 2 (1): 1–17.

Blum, A. 2009. “Effective Use of Water (EUW) and Not Water-Use Efficiency (WUE) Is the Target of Crop Yield Improvement Under Drought Stress.” *Field Crops Research* 112 (2–3): 119–123.

Bouman, B. A. M. 2007. “A Conceptual Framework for the Improvement of Crop Water Productivity at Different Spatial Scales.” *Agricultural Systems* 93 (1–3): 43–60.

Bouthiba, A., P. Debaeke, and S. A. Hamoudi. 2008. “Varietal Differences in the Response of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. Durum) to Irrigation Strategies in a Semi-Arid Region of Algeria.” *Irrigation Science* 26 (3): 239–251.

Brauman, K. A., S. Siebert, and J. A. Foley. 2013. “Improvements in Crop Water Productivity Increase Water Sustainability and Food Security – A Global Analysis.” *Environmental Research Letters* 8 (2): 1–7.

Cabangon, R. J., T. P. Tuong, and N. B. Abdullah. 2002. “Comparing Water Input and Water Productivity of Transplanted and Direct-Seeded Rice Production Systems.” *Agricultural Water Management* 57 (1): 11–31.



- Cai, X., and M. W. Rosegrant. 2003. "10 World Water Productivity: Current Situation and Future Options." *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement 1*: 163–178.
- Cai, X., B. Sharma, M. Matin, D. Sharma, and S. Gunasinghe. 2010. *An Assessment of Crop Water Productivity in the Indus and Ganges River Basins: Current Status and Scope for Improvement*. Vol. 140. IWMI.
- Cai, X., P. S. Thenkabail, C. M. Biradar, A. Platonov, M. Gumma, V. Dheeravath, Y. Cohen, et al. 2009. "Water Productivity Mapping Using Remote Sensing Data of Various Resolutions to Support." *Journal of Applied Remote Sensing* 3 (1): 1–23.
- Cao, X., X. Chen, W. Zhang, A. Liao, L. Chen, Z. Chen, and J. Chen. 2016. "Global Cultivated Land Mapping at 30 m Spatial Resolution." *Science China Earth Sciences* 59 (12): 2275–2284.
- Carr, T., H. Yang, and C. Ray. 2016. "Temporal Variations of Water Productivity in Irrigated Corn: An Analysis of Factors Influencing Yield and Water Use Across Central Nebraska." *PLoS one* 11 (8): 1–23.
- Caviglia, O. P., and V. O. Sadras. 2001. "Effect of Nitrogen Supply on Crop Conductance, Water- and Radiation-Use Efficiency of Wheat." *Field Crops Research* 69 (3): 259–266.
- Cayci, G., L. K. Heng, H. S. Öztürk, D. Sürek, C. Kütük, and M. Sağlam. 2009. "Crop Yield and Water Use Efficiency in Semi-Arid Region of Turkey." *Soil and Tillage Research* 103 (1): 65–72.
- Chapagain, A., and A. Y. Hoekstra. 2004. *Water Footprints of Nations*. Value of Water Research Report Series. No. 16.
- Claverie, M., V. Demarez, B. Duchemin, O. Hagolle, D. Ducrot, C. Marais-Sicre, J. F. Dejoux, et al. 2012. "Maize and Sunflower Biomass Estimation in Southwest France Using High Spatial and Temporal Resolution Remote Sensing Data." *Remote Sensing of Environment* 124: 844–857.
- Corbeels, M., G. Hofman, and O. Van Cleemput. 1998. "Analysis of Water Use by Wheat Grown on a Cracking Clay Soil in a Semi-Arid Mediterranean Environment: Weather and Nitrogen Effects." *Agricultural Water Management* 38 (2): 147–167.

- Craciun, I., and M. Craciun. 1999. "Water and Nitrogen Use Efficiency Under Limited Water Supply for Maize to Increase Land Productivity." In *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*, 87–94. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Cuevas, A., M. Febrero, and R. Fraiman. 2004. "An ANOVA Test for Functional Data." *Computational Statistics & Data Analysis* 47 (1): 111–122.
- Deju, Z., and L. Jingwen. 1993. "The Water-use Efficiency of Winter Wheat and Maize on a Salt-affected Soil in the Huang Huai Hai River Plain of China." *Agricultural Water Management* 23 (1): 67–82.
- de Vries, M. E., J. Rodenburg, B. V. Bado, A. Sow, P. A. Leffelaar, and K. E. Giller. 2010. "Rice Production with Less Irrigation Water Is Possible in a Sahelian Environment." *Field Crops Research* 116 (1–2): 154–164.
- Deyong, Y., S. Hongbo, S. Peijun, Z. Wenquan, and P. Yaozhong. 2009. "How Does the Conversion of Land Cover to Urban Use Affect net Primary Productivity? A Case Study in Shenzhen City, China." *Agricultural and Forest Meteorology* 149 (11): 2054–2060.
- Dong, B., R. Loeve, Y. H. Li, C. D. Chen, L. Deng, and D. Molden. 2001. "Water Productivity in the Zhanghe Irrigation System: Issues of Scale." Barker, R., Loeve, pp. 23–25.
- El-Bably, A. Z., M. E. Meleha, A. A. Abd Allah, and W. M. El-Khoby. 2008, November. "Increasing Rice Productivity, Water use Efficiency, Water Saving and Rice Productivity in North Delta, Egypt." 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum, Riyadh, Saudi Arabia (pp. 16–19).
- FAO. 1974. *FAO-UNESCO Soil Map of the World, 1:5.000.000 Volume I Legend*. Paris: UNESCO.
- FAO. 1988. *UNESCO Soil Map of the World, Revised Legend, with Corrections and Updates*. *World Soil Resources Report*, 60, p.140.
- FAO. 2007. *Digital Soil Map of the World*. Rome: FAO-UN Land and Water Division.

- FAO. 2009a. How to Feed the World in 2050. High Level Expert Forum – Agricultural Development Economics Division Economic and Social Development Department. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO. 2009b. Global Agriculture Towards 2050. High Level Expert Forum - Agricultural Development Economics Division Economic and Social Development Department. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO. 2016. FAOSTAT Crop Data – Global Area Harvested, Yield, Production Quantity. Food and Agriculture Organization of the United Nations – Statistics Division (EES). Nov. 2016.
- Fengrui, L., Z. Songling, and G. T. Geballe. 2000. “Water Use Patterns and Agronomic Performance for Some Cropping Systems With and Without Fallow Crops in a Semi-Arid Environment of Northwest China.” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 79 (2–3): 129–142.
- Fernández, J. E., F. Moreno, J. M. Murillo, J. A. Cayuela, E. Fernández-Boy, and F. Cabrera. 1996. “Water Use and Yield of Maize with Two Levels of Nitrogen Fertilization in SW Spain.” *Agricultural Water Management* 29 (2): 215–233.
- Foley, J. A. 2015. “Can We Feed the World and Sustain the Planet?” *Scientific American* 24: 84–89.
- Foley, J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, E. S. Cassidy, J. S. Gerber, M. Johnston, N. D. Mueller, et al. 2011. “Solutions for a Cultivated Planet.” *Nature* 478 (7369): 1–5.
- Forzieri, G., R. Alkama, D. G. Miralles, and A. Cescatti. 2017. “Satellites Reveal Contrasting Responses of Regional Climate to the Widespread Greening of Earth.” *Science* 356: 1180–1184.
- Geerts, S., and D. Raes. 2009. “Deficit Irrigation as an On-farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas.” *Agricultural Water Management* 96 (9): 1275–1284.
- Gencoglan, C., and A. Yazar. 1999. “The Effects of Deficit Irrigations on Corn Yield and Water Use Efficiency.” *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23 (2): 233–242.
- Good, S. P., G. W. Moore, and D. G. Miralles. 2017. “A Mesic Maximum in Biological Water Use Demarcates Biome Sensitivity to Aridity Shifts.” *Nature Ecology & Evolution* 2017: 1883–1888.

- Gordon, L. J., C. M. Finlayson, and M. Falkenmark. 2010. "Managing Water in Agriculture for Food Production and Other Ecosystem Services." *Agricultural Water Management* 97 (4): 512–519.
- Gordon, L. J., G. D. Peterson, and E. M. Bennett. 2008. "Agricultural Modifications of Hydrological Flows Create Ecological Surprises." *Trends in Ecology & Evolution* 23 (4): 211–219.
- Hafeez, M. M., B. A. M. Bouman, N. Van de Giesen, and P. Vlek. 2007. "Scale Effects on Water Use and Water Productivity in a Rice-Based Irrigation System (UPRIIS) in the Philippines." *Agricultural Water Management* 92 (1–2): 81–89.
- Howell, T. A., A. Yazar, A. D. Schneider, D. A. Dusek, and K. S. Copeland. 1995. "Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation." *Transactions of the ASAE* 38 (6): 1737–1747.
- Igbadun, H. E., H. F. Mahoo, A. K. Tarimo, and B. A. Salim. 2006. "Crop Water Productivity of an Irrigated Maize Crop in Mkoji sub-Catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania." *Agricultural Water Management* 85 (1–2): 141–150.
- Irmak, S., M. J. Burgert, H. S. Yang, K. G. Cassman, D. T. Walters, W. R. Rathje, J. O. Payero, et al. 2012. "Large-scale On-farm Implementation of Soil Moisture-based Irrigation Management Strategies for Increasing Maize Water Productivity." *Transactions of the ASABE* 55 (3): 881–894.
- Jehangir, W. A., I. Masih, S. Ahmed, M. A. Gill, M. Ahmad, R. A. Mann, M. R. Chaudhary, A. S. Qureshi, and H. Turrall. 2007. *Sustaining Crop Water Productivity in Rice-Wheat Systems of South Asia: A Case Study From the Punjab, Pakistan*. Vol. 115. Columbo: IWMI.
- Jin, M., R. Zhang, L. Sun, and Y. Gao. 1999. "Temporal and Spatial Soil Water Management: A Case Study in the Heilonggang Region, PR China." *Agricultural Water Management* 42 (2): 173–187.
- Kamilov, B., N. Ibragimov, S. Evett, and L. Heng. 2002, October. "Use of Neutron Probe for Investigations of Winter Wheat Irrigation Scheduling in Automorphic and Semi-Hydromorphic Soils of Uzbekistan." *Proceedings International Workshop on Conservation Agriculture for*

Sustainable Wheat Production in Rotation with Cotton in Limited Water Resource Areas (pp. 225–229).

D. J. FOLEY ET AL. Kang, S., W. Shi, and J. Zhang. 2000. “An Improved Water-use Efficiency for Maize Grown Under Regulated Deficit Irrigation.” *Field Crops Research* 67 (3): 207–214.

Kar, G., H. N. Verma, and R. Singh. 2006. “Effects of Winter Crop and Supplemental Irrigation on Crop Yield, Water Use Efficiency and Profitability in Rainfed Rice Based Cropping System of Eastern India.” *Agricultural Water Management* 79 (3): 280–292.

Karam, F., J. Breidy, C. Stephan, and J. Roupael. 2003. “Evapotranspiration, Yield and Water Use Efficiency of Drip Irrigated Corn in the Bekaa Valley of Lebanon.” *Agricultural Water Management* 63 (2): 125–137.

Khan, S., M. A. Khan, M. A. Hanjra, and J. Mu. 2009. “Pathways to Reduce the Environmental Footprints of Water and Energy Inputs in Food Production.” *Food Policy* 34 (2): 141–149.

Kijne, J. W., T. P. Tuong, J. Bennett, B. Bouman, and T. Oweis. 2003. “Ensuring Food Security via Improvement in Crop Water Productivity.” *Challenge Program on Water and Food Background Paper 1*: 1–41.

Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel. 2006. “World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated.” *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3): 259–263.

Krupnik, T. J., J. Rodenburg, V. R. Haden, D. Mbaye, and C. Shennan. 2012. “Genotypic Trade-Offs Between Water Productivity and Weed Competition Under the System of Rice Intensification in the Sahel.” *Agricultural Water Management* 115: 156–166.

Kruse, E. G., D. F. Champion, and R. E. Yoder. 1991. “High Saline Water-Table Effect on Wheat Irrigation.” In *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*, 335–343. Honolulu: ASCE.

Kumari, M., O. Singh, and D. Meena. 2017. “Crop Water Requirement, Water Productivity and Comparative Advantage of Crop Production in Different Regions of Uttar Pradesh, India.” *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6 (7): 2043–2052.

- Lage, M., A. Bamouh, T. Badawi, and M. El Mourid. 2004. "Productivité de l'eau pour une culture du riz irrigué (*Oryza sativa* L.) conduit sous différents modes d'irrigation dans la région du Gharb (Maroc)." *Projet INCO-WADEMED Actes du Si minaire* 19–23.
- Li, H., L. Zheng, Y. Lei, C. Li, Z. Liu, and S. Zhang. 2008. "Estimation of Water Consumption and Crop Water Productivity of Winter Wheat in North China Plain Using Remote Sensing Technology." *Agricultural Water Management* 95 (11): 1271–1278.
- Liang, K., X. Zhong, N. Huang, R. M. Lampayan, J. Pan, K. Tian, and Y. Liu. 2016. "Grain Yield, Water Productivity and CH<sub>4</sub> Emission of Irrigated Rice in Response to Water Management in South China." *Agricultural Water Management* 163: 319–331.
- Libardi, P., S. Moraes, A. Saad, Q. De Jong Van Lier, O. Vieira, and R. Tuon. 1999. "Nuclear Techniques to Evaluate Water Use of Field Crops Irrigated in Different Growth Stages." In *Developments in Plant and Soil Sciences*. Vol. 84., edited by C. R. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera, and D. Nielsen, 109–120. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Licker, R., M. Johnston, J. A. Foley, C. Barford, C. J. Kucharik, C. Monfreda, and N. Ramankutty. 2010. "Mind the Gap: How Do Climate and Agricultural Management Explain the 'Yield Gap' of Croplands Around the World?" *Global Ecology and Biogeography* 19 (6): 769–782.
- Liu, W. Z., and Y. S. Li. 1995. "Crop Yield Response to Water and Fertilizer in Loess Tableland of China: A Field Research." *Pedosphere* 5 (3): 259–266.
- Liu, J., M. Liu, H. Tian, D. Zhuang, Z. Zhang, W. Zhang, X. Tang, and X. Deng. 2005. "Spatial and Temporal Patterns of China's Cropland During 1990–2000: An Analysis Based on Landsat TM Data." *Remote Sensing of Environment* 98 (4): 442–456.
- Mahajan, G., T. S. Bharaj, and J. Timsina. 2009. "Yield and Water Productivity of Rice as Affected by Time of Transplanting in Punjab, India." *Agricultural Water Management* 96 (3): 525–532.
- Mainuddin, M., and M. Kirby. 2009. "Spatial and Temporal Trends of Water Productivity in the Lower Mekong River Basin." *Agricultural Water Management* 96 (11): 1567–1578.

- Mandal, K. G., K. M. Hati, A. K. Misra, K. K. Bandyopadhyay, and M. Mohanty. 2005. "Irrigation and Nutrient Effects on Growth and Water–Yield Relationship of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Central India." *Journal of Agronomy and Crop Science* 191 (6): 416–425.
- Marshall, M., and P. Thenkabail. 2015a. "Advantage of Hyperspectral EO-1 Hyperion Over Multispectral IKONOS, GeoEye-1, WorldView-2, Landsat ETM+, and MODIS Vegetation Indices in Crop Biomass Estimation." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 108: 205–218.
- Marshall, M., and P. Thenkabail. 2015b. ". Developing In Situ Non-destructive Estimates of Crop Biomass to Address Issues of Scale in Remote Sensing." *Remote Sensing* 7 (1): 808–835.
- Marshall, M., P. Thenkabail, T. Biggs, and K. Post. 2016. "Hyperspectral Narrowband and Multispectral Broadband Indices for Remote Sensing of Crop Evapotranspiration and Its Components (Transpiration and Soil Evaporation)." *Agricultural and Forest Meteorology* 218–219: 122–134.
- Martens, B., D. G. Miralles, H. Lievens, D. Fernández-Prieto, and N. E. C. Verhoest. 2016. "Improving Terrestrial Evaporation Estimates Over Continental Australia Through Assimilation of SMOS Soil Moisture." *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 48: 146–162.
- Martens, B., D. G. Miralles, H. Lievens, R. van der Schalie, R. A. M. de Jeu, D. Fernández-Prieto, H. E. Beck, W. A. Dorigo, and N. E. C. Verhoest. 2017. "GLEAM v3: Satellite-Based Land Evaporation and Root-Zone Soil Moisture." *Geoscientific Model Development* 10: 1903–1925.
- Mdemu, M. V., C. Rodgers, P. L. G. Vlek, and J. J. Borgadi. 2009. "Water Productivity (WP) in Reservoir Irrigated Schemes in the Upper East Region (UER) of Ghana." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 34 (4–5): 324–328.
- Mekonnen, M. M., and A. Y. Hoekstra. 2011. "The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products." *Hydrology and Earth System Sciences* 15 (5): 1577–1600.
- Mekonnen, M. M., and A. Y. Hoekstra. 2014. "Water Footprint Benchmarks for Crop Production: A First Global Assessment." *Ecological Indicators* 46: 214–223.



- Mishra, H. S., T. R. Rathore, and R. C. Pant. 1990. "Effect of Intermittent Irrigation on Groundwater Table Contribution, Irrigation Requirement and Yield of Rice in Mollisols of the Tarai Region." *Agricultural Water Management* 18 (3): 231–241.
- Mishra, H. S., T. R. Rathore, and R. C. Pant. 1997. "Root Growth, Water Potential, and Yield of Irrigated Rice." *Irrigation Science* 17 (2): 69–75.
- Mishra, H., T. Rathore, and U. Savita. 2001. "Water-use Efficiency of Irrigated Winter Maize Under Cool Weather Conditions of India." *Irrigation Science* 21 (1): 27–33.
- Mishra, H. S., T. R. Rathore, and V. S. Tomar. 1995. "Water Use Efficiency of Irrigated Wheat in the Tarai Region of India." *Irrigation Science* 16 (2): 75–80.
- Moayeri, M., H. Siadat, E. Pazira, F. Abbasi, F. Kaveh, and T. Y. Oweis. 2011. "Assessment of Maize Water Productivity in Southern Parts of the Karkheh River Basin, Iran." *World Applied Sciences Journal* 13 (7): 1586–1594.
- Molden, D. 1997. "Accounting for Water Use and Productivity International Irrigation Management Institute System Wide Initiative for Water Management (SWIM) Paper 1." Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M. A. Hanjra, and J. Kijne. 2010. "Improving Agricultural Water Productivity: Between Optimism and Caution." *Agricultural Water Management* 97 (4): 528–535.
- Molden, D., T. Y. Oweis, P. Steduto, J. W. Kijne, M. A. Hanjra, P. S. Bindraban, B. A. M. Bouman, et al. 2007. "Pathways for Increasing Agricultural Water Productivity." *Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Taylor and Francis AS.
- Molle, F., and J. Berkoff. 2006. *Cities Versus Agriculture: Revisiting Intersectoral Water Transfers, Potential Gains and Conflicts*, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Research Report, 10. Colombo: International Water Management Institute.
- Monfreda, C., N. Ramankutty, and J. A. Foley. 2008. "Farming the Planet: 2. Geographic Distribution of Crop Areas, Yields, Physiological Types, and Net Primary Production in the Year 2000." *Global Biogeochemical Cycles* 22 (1): 1–19.

- Mrabet, R. 2002. "Wheat Yield and Water Use Efficiency Under Contrasting Residue and Tillage Management Systems in a Semiarid Area of Morocco." *Experimental Agriculture* 38 (2): 237–248.
- Navarro Dujmovich, M., C. Bongiorno, and A. Confalone. 1996, November. "Evapotranspiration Efficiency of Corn Grown Under Rainfed Conditions." *Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, San Antonio Convention Center, San Antonio, Texas (pp. 1056–1057).
- Nhamo, L., T. Mabhaudhi, and M. Magombeyi. 2016. "Improving Water Sustainability and Food Security Through Increased Crop Water Productivity in Malawi." *Water* 8 (9): 1–12.
- Norwood, C. A. 2000. "Water Use and Yield of Limited-irrigated and Dryland Corn." *Soil Science Society of America Journal* 64 (1): 365–370.
- Nwadukwe, P. O., and V. O. Chude. 1998. "Manipulation of the Irrigation Schedule of Rice (*Oryza sativa* L.) as a Means of Maximizing Water Use Efficiency and Irrigation Efficiency in the Semi-arid Tropics." *Journal of Arid Environments* 40 (3): 331–339.
- Oktem, A., M. Simsek, and A. G. Oktem. 2003. "Deficit Irrigation Effects on Sweet Corn (*Zea mays Saccharata* Sturt) with Drip Irrigation System in a Semi-Arid Region: I. Water-Yield Relationship." *Agricultural Water Management* 61 (1): 63–74.
- Oliphant, A., P. S. Thenkabail, P. Teluguntla, J. Xiong, M. K. Gumma, R. G. Congalton, and K. Yadav. 2019. "Mapping Cropland Extent of Southeast and Northeast Asia Using Multi-Year Time-Series Landsat 30-m Data Using Random Forest Classifier on Google Earth Engine." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 81: 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.014>
- Oweis, T., and A. Hachum. 2006. "Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Productivity of dry Farming Systems in West Asia and North Africa." *Agricultural Water Management* 80 (1–3): 57–73.
- Oweis, T., H. Zhang, and M. Pala. 2000. "Water use Efficiency of Rainfed and Irrigated Bread Wheat in a Mediterranean Environment." *Agronomy Journal* 92 (2): 231–238.

- Pandey, R. K., J. W. Maranville, and A. Admou. 2001. "Tropical Wheat Response to Irrigation and Nitrogen in a Sahelian Environment. I. Grain Yield, Yield Components and Water use Efficiency." *European Journal of Agronomy* 15 (2): 93–105.
- Pardey, P. G., J. M. Beddow, T. M. Hurley, T. K. Beatty, and V. R. Eidman. 2014. "A Bounds Analysis of World Food Futures: Global Agriculture Through to 2050." *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 58 (4):571–589.
- Platonov, A., P. Thenkabail, C. Biradar, X. Cai, M. Gumma, V. Dheeravath, Y. Cohen, et al. 2008. "Water Productivity Mapping (WPM) Using Landsat ETM+ Data for the Irrigated Croplands of the Syrdarya River Basin in Central Asia." *Sensors* 8 (12): 8156–8180.
- Playán, E., and L. Mateos. 2006. "Modernization and Optimization of Irrigation Systems to Increase Water Productivity." *Agricultural Water Management* 80 (1–3): 100–116.
- Raes, D., B. Sy, and L. V. Passel. 1993. "The Water Balance of Rice Irrigation Schemes in the Senegal River Delta." In *Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land Use*, Leuven (Belgium), 14–17 Sep 1992.
- Rahman, S. M., M. I. Khalil, and M. F. Ahmed. 1995. "Yield-water Relations and Nitrogen Utilization by Wheat in Saltaffected Soils of Bangladesh." *Agricultural Water Management* 28 (1): 49–56.
- Regan, K. L., K. H. M. Siddique, D. Tennant, and D. G. Abrecht. 1997. "Grain Yield and Water Use Efficiency of Early Maturing Wheat in Low Rainfall Mediterranean Environments." *Australian Journal of Agricultural Research* 48 (5):595–604.
- Renault, D., and W. W. Wallender. 2000. "Nutritional Water Productivity and Diets." *Agricultural Water Management* 45 (3): 275–296.
- Rockström, J., and J. Barron. 2007. "Water Productivity in Rainfed Systems: Overview of Challenges and Analysis of Opportunities in Water Scarcity Prone Savannahs." *Irrigation Science* 25 (3): 299–311.
- Roel, A., J. L. Heilman, and G. N. McCauley. 1999. "Water Use and Plant Response in Two Rice Irrigation Methods." *Agricultural Water Management* 39 (1): 35–46.

- Roygard, J. K., M. M. Alley, and R. Khosla. 2002. "No-till Corn Yields and Water Balance in the Mid-Atlantic Coastal Plain." *Agronomy Journal* 94 (3): 612–623.
- Sadler, E. J., P. J. Bauer, W. J. Busscher, and J. A. Millen. 2000. "Site-specific Analysis of a Droughted Corn Crop: II. Water Use and Stress." *Agronomy Journal* 92 (3): 403–410.
- Sastri, A. S., B. L. Chandrakar, and B. R. Chandrawanshi. 1985. "Evapotranspiration and Water Use of Rice in Central India." *International Rice Research Newsletter* 10: 30–31.
- Schlegel, I. 2010. "Physiological and Agronomic Responses of Selected Rice Genotypes to Irrigation Management in the Sahel." Doctoral diss., MSc thesis, Hohenheim University, Hohenheim, Germany.
- Schneider, A., and T. Howell. 2001. "Scheduling Deficit Wheat Irrigation with Data from an Evapotranspiration Network." *Transactions of the ASAE* 44 (6): 1617–1623.
- Seckler, D., D. Molden, and R. Sakthivadivel. 2003. "The Concept of Efficiency in Water Resources Management and Policy." *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* 1: 37–51.
- Sezen, S. M., and A. Yazar. 1996. "Determination of Water-Yield Relationship of Wheat Under Cukurova Conditions." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 20 (1): 41–48.
- Sharma, D. K., A. Kumar, and K. N. Singh. 1990. "Effect of Irrigation Scheduling on Growth, Yield and Evapotranspiration of Wheat in Sodic Soils." *Agricultural Water Management* 18 (3): 267–276.
- Sharma, N. K., J. S. Samra, and H. P. Singh. 2001. "Influence of Boundary Plantation of Poplar (*Populus deltoides* M.) on Soil–Water use and Water use Efficiency of Wheat." *Agricultural Water Management* 51 (3): 173–185.
- Shi, Q., X. Zheng, A. Zhu, M. Li, S. Fu, F. Liu, H. Hengsdijk, P. Henstra, and P. Bindraban. 2003. "September Effects of Intermittent Irrigation on Growth, Yield and Water Use Efficiency of Rice in a Field Lysimeter Experiment." *Proceedings of the International Symposium on Transitions in Agriculture for Enhancing Water Productivity, Killikulam, India.*

- Shih, S. F., G. S. Rahi, G. H. Snyder, D. S. Harrison, and A. G. Smajstrla. 1983. "Rice Yield, Biomass, and Leaf Area Related to Evapotranspiration." *Transactions of the ASAE* 26 (5): 1458–1464.
- Shunqing, A., L. Gengshan, and G. Anhong. 2003. "Consumption of Available Soil Water Stored at Planting by Winter Wheat." *Agricultural Water Management* 63 (2): 99–107.
- Siddique, K. H. M., D. Tennant, M. W. Perry, and R. K. Belford. 1990. "Water Use and Water Use Efficiency of Old and Modern Wheat Cultivars in a Mediterranean-type Environment." *Australian Journal of Agricultural Research* 41 (3): 431–447.
- Siebert, S., and P. Döll. 2010. "Quantifying Blue and Green Virtual Water Contents in Global Crop Production as Well as Potential Production Losses Without Irrigation." *Journal of Hydrology* 384 (3–4): 198–217.
- Singh, R. V., and H. S. Chauhan. 1996, November. "Irrigation Scheduling in Wheat Under Shallow Groundwater Table Conditions." *Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, San Antonio Convention Center, San Antonio, Texas (pp. 103–108).
- Singh, A. K., B. U. Choudhury, and B. A. M. Bouman. 2002. "Effects of Rice Establishment Methods on Crop." In *Water-wise Rice Production*, edited by B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, and B. Hardy, 237–246. Los Baños: International Rice Research Institute.
- Singh, K. B., P. R. Gajri, and V. K. Arora. 2001. "Modelling the Effects of Soil and Water Management Practices on the Water Balance and Performance of Rice." *Agricultural Water Management* 49 (2): 77–95.
- Singh, R., J. C. Van Dam, and R. A. Feddes. 2006. "Water Productivity Analysis of Irrigated Crops in Sirsa District, India." *Agricultural Water Management* 82 (3): 253–278.
- Steele, D. D., E. C. Stegman, and B. L. Gregor. 1994. "Field Comparison of Irrigation Scheduling Methods for Corn." *Transactions of the ASAE* 37 (4): 1197–1203.
- Stocker, T., Q. Dahe, G-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. Midgley. 2014. "Climate Change 2013: The Physical Science Basis." In *Climate Change*

2013: *The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sun, C., and L. Ren. 2014. “Assessing Crop Yield and Crop Water Productivity and Optimizing Irrigation Scheduling of Winter Wheat and Summer Maize in the Haihe Plain Using SWAT Model.” *Hydrological Processes* 28 (4): 2478–2498.

Szalókiné, I. Z., and S. Szalóki. 2002. “Relationships of Water-and Nutrient Supply, Yield and Evapotranspiration of Maize.” *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 106 (3–4): 197–213.

Teixeira, A. D. C., F. B. Hernandez, M. Scherer-Warren, R. G. Andrade, D. D. C. Victoria, E. L. Bolfe, P. S. Thenkabail, and R. A. M. Franco. 2015. “Water Productivity Studies From Earth Observation Data: Characterization, Modeling, and Mapping Water Use and Water Productivity.” *Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studies* 3: 101–126.

Teluguntla, P., P. S. Thenkabail, A. Oliphant, J. Xiong, M. K. Gumma, R. G. Congalton, K. Yadav, and A. Huete. 2018. “A 30-m Landsat-Derived Cropland Extent Product of Australia and China Using Random Forest Machine Learning Algorithm on Google Earth Engine Cloud Computing Platform.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 144: 325–340. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.017>.

Thenkabail, P. S. 2010. “Global Croplands and Their Importance for Water and Food Security in the Twenty-First Century: Towards an Ever Green Revolution that Combines a Second Green Revolution with a Blue Revolution.” *Remote Sensing – Guest Editorial for Special Issue Global Croplands* 2 (9): 2305–2312.

Thenkabail, P. S. 2017. “Global 30-m Cropland Extent Map for the Nominal Year 2015: Derived Using Landsat-8 Time-Series Data and Machine Learning Algorithms Computed on Google Earth Engine Cloud.” 20th William T. Pecora Memorial remote sensing Symposium. Pecora 20 – observing a changing earth: Science for Decisions, Monitoring, assessment, and Projection, Sioux Falls, South Dakota, USA, November 13–16, 2017.

Thenkabail, P. S., C. M. Biradar, P. Noojipady, V. Dheeravath, Y. Li, M. Velpuri, M. Gumma, et al. 2009. “Global Irrigated Area Map (GIAM), Derived From Remote Sensing, for the End of the Last Millennium.” *International Journal of Remote Sensing* 30 (14): 3679–3733.

Thenkabail, P. S., M. A. Hanjra, V. Dheeravath, and M. Gumma. 2010. “A Holistic View of Global Croplands and Their Water Use for Ensuring Global Food Security in the 21st Century Through Advanced Remote Sensing and Non-remote Sensing Approaches.” *Remote Sensing* 2 (1): 211–261.

Thenkabail, P. S., M. A. Hanjra, V. Dheeravath, and M. Gumma. 2011. *Global Croplands and Their Water Use From Remote Sensing and Nonremote Sensing Perspectives*, 383–419. Milton Park: CRC Press. Theodorsson-Norheim, E. 1986. “Kruskal-Wallis Test: BASIC Computer Program to Perform Nonparametric OneWay Analysis of Variance and Multiple Comparisons on Ranks of Several Independent Samples.” *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 23 (1): 57–62.

Trabucco, A., and R. Zomer. 2019. “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET0) Climate Database v2. figshare.” Fileset. doi:10.6084/m9.figshare.7504448.v3.

United Nations, Dept. of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. New York: United Nations.

Vaghefi, S., K. Abbaspour, M. Faramarzi, R. Srinivasan, and J. Arnold. 2017. *Modeling Crop Water Productivity Using a Coupled SWAT-MODSIM Model*. Vol. 9. Water.

Vermeulen, S. J., A. J. Challinor, P. K. Thornton, B. M. Campbell, N. Eriyagama, J. M. Vervoort, J. Kinyangi, et al. 2013.

“Addressing Uncertainty in Adaptation Planning for Agriculture.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (21): 8357–8362.

Viets, F. G. 1962. “Fertilizers and the Efficient Use of Water.” In *Advances in Agronomy*. Vol. 14, 223–264. Cambridge: Academic Press.



- Wada, Y., L. P. H. Van Beek, and M. F. Bierkens. 2012. “Nonsustainable Groundwater Sustaining Irrigation: A Global Assessment.” *Water Resources Research* 48 (6): 1–18.
- Waheed, R. A., M. H. Naqvi, G. R. Tahir, and S. H. M. Naqvi. 1996. *Some Studies on Pre-planned Controlled Soil Moisture Irrigation Scheduling of Field Crops* (No. IAEA-TECDOC–888).
- Wang, H., L. Zhang, W. R. Dawes, and C. Liu. 2001. “Improving Water Use Efficiency of Irrigated Crops in the North China Plain – Measurements and Modelling.” *Agricultural Water Management* 48 (2): 151–167.
- WaterWatch. 2003. *Crop and Water Productivity of the Pakistan Wheat and Rice Systems*. 1-6. In *Technical Report*. Netherlands: Wageningen.
- Xianqun, X. 1996, November. “The Combined Field Experiment for Determining Evapotranspiration in North China Plain.” In *Proceedings of the International Conference Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, 69–74. San Antonio, TX: San Antonio Convention Center.
- Xinyuan, W. A. N. G., L. Mengyu, L. Xionan, and M. Xuesen. 1993. “Water Use and Water Use Efficiency of Winter Wheat in a Water-deficient and Salt-affected Area in Hebei Province.” In *Water Use Efficiency in Agriculture: Proceedings of the Binational China-Israel Workshop*, April (pp. 22–26).
- Xiong, J., P. S. Thenkabail, J. C. Tilton, M. K. Gumma, P. Teluguntla, A. Oliphant, R. G. Congalton, K. Yadav, and N. Gorelick. 2017. “Nominal 30-m Cropland Extent Map of Continental Africa by Integrating Pixel-Based and ObjectBased Algorithms Using Sentinel-2 and Landsat-8 Data on Google Earth Engine.” *Remote Sensing* 9 (10): 225–244. <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/10/1065>.
- Yazar, A., S. M. Sezen, and B. Gencel. 2002. “Drip Irrigation of Corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) Area in Turkey.” *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage* 51 (4): 293–300.
- Zhang, X., D. Pei, and C. Hu. 2003. “Conserving Groundwater for the North China Plain.” *Irrigation Science* 21: 159–166.

Zhang, J., X. Sui, B. Li, B. Su, J. Li, and D. Zhou. 1998. "An Improved Water-use Efficiency for Winter Wheat Grown Under Reduced Irrigation." *Field Crops Research* 59: 91–98.

Zhang, H., X. Wang, M. You, and C. Liu. 1999. "Water-yield Relations and Water-use Efficiency of Winter Wheat in the North China Plain." *Irrigation Science* 19: 37–45.

Zhao, J., M. Li, P. Guo, C. Zhang, and Q. Tan. 2017. "Agricultural Water Productivity Oriented Water Resources Allocation Based on the Coordination of Multiple Factors." *Water* 9 (7): 1–22.

Zwart, S. J., and W. G. Bastiaanssen. 2004. "Review of Measured Crop Water Productivity Values for Irrigated Wheat, Rice, Cotton and Maize." *Agricultural Water Management* 69 (2): 115–133.

Zwart, S. J., and W. G. Bastiaanssen. 2007. "SEBAL for Detecting Spatial Variation of Water Productivity and Scope for Improvement in Eight Irrigated Wheat Systems." *Agricultural Water Management* 89 (3): 287–296.

Zwart, S. J., W. G. Bastiaanssen, C. de Fraiture, and D. J. Molden. 2010. "A Global Benchmark Map of Water Productivity for Rainfed and Irrigated Wheat." *Agricultural Water Management* 97 (10): 1617–1627.

Zwart, S. J., and L. M. Leclert. 2010. "A Remote Sensing-Based Irrigation Performance Assessment: A Case Study of the Office du Niger in Mali." *Irrigation Science* 28 (5): 371–385.