Ar
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 993-1003

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۱۰۰۳-۹۹۳

برآورد و پهنه‌بندی ردپای آب در تولید گندم (مطالعه موردی: استان خوزستان)

زینب عنافجه[۱*]، محمد بنایان اول[۲]، پرویز رضوانی مقدم[۳]، بهرام اندرزیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۴

چکیده

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه گندم، شرایط بحرانی کمبود آب در نظام‌های تولید و عدم بررسی ردپای آب گندم در خوزستان، در این مطالعه ردپای آب سبز، آبی و خاکستری محصول استراتژیک گندم برآورد گردید. مناطق مورد مطالعه شامل: شهرهای اهواز، دزفول، شوشتر، بهبهان، ایذه و خرمشهر می‌باشند. ردپای آب کل گندم از مجموع ردپای آب سبز، آب آبی و آب خاکستری به دست آمد، سپس رابطه ردپای آب گندم با عملکرد واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بین مناطق مورد مطالعه خرمشهر به مقدار آب بیشتری (۱۷۰۴ متر مکعب بر تن) جهت تولید محصول نیاز دارد و پس از آن اهواز (۱۲۲۸ متر مکعب بر تن)، بهبهان (۱۱۶۰ متر مکعب بر تن)، ایذه (۱۰۱۲ متر مکعب بر تن)، دزفول (۹۵۹ متر مکعب بر تن) و شوشتر (۹۱۵ متر مکعب بر تن) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. از نظر ردپای آب سبز، ایذه برای تولید ۱ تن محصول گندم، به ۷۷۸ متر مکعب آب سبز نیاز دارد و پس از آن، خرمشهر در رتبه دوم با ۴۵۸ مترمکعب آب سبز قرار دارد. این در حالی است که ایذه کم‌ترین میزان ردپای آب آبی را داراست و پهنه‌بندی استان خوزستان از نظر این جزء از ردپای آب گندم نشان می‌دهد که ردپای آب آبی در نیمه جنوبی استان بیشتر از نیمه شمالی می‌باشد. ردپای آب خاکستری نیز از روند مشابه آب آبی پیروی می کند. چنانچه شهرستان شوشتر با بیشترین عملکرد در واحد سطح کمترین ردپای آب را دارد، و خرمشهر کمترین عملکرد گندم و بیشترین ردپای آب را در بین سایر شهرستان‌های مورد مطالعه داراست.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، ردپای آب، عملکرد گندم

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت و متعاقب آن، افزایش فعالیت‌های اقتصادی و آب مصرفی در بخش کشاورزی، زمینه‌های اصلی پیدایش بحران جهانی آب در سال‌های اخیر بوده است (Zhang et al., 2017). بر اساس پیش‌بینی‌ها، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۲ میلیارد نفر می‌رسد که این مسأله، باعث اعمال فشار مضاعف بر منابع محدود آبی می‌گردد (Chapagain and Tickner, 2012). قرار گرفتن کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک از یک طرف و افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های مختلف از سوی دیگر منجر به بروز مشکلاتی برای تأمین تقاضای رو به رشد آب شده است. این مشکلات در بخش کشاورزی که بیش از ۹۳ درصد آب قابل استحصال کشور در آن مصرف می‌شود، شدیدتر است (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۲). از سوی دیگر متوسط بارندگی در ایران حدود یک سوم متوسط جهانی بوده و از این منظر نیز ایران در طبقه مناطق کم‌باران دنیا قرار می‌گیرد. علاوه بر موارد فوق‌الذکر، متوسط پتانسیل تبخیر سالیانه در ایران، سه برابر متوسط تبخیر جهانی است که این مسئله در کنار اقلیم خشک و بارندگی اندک، می‌تواند کمبود و بحران منابع آبی در ایران را نشان دهد (نصرآبادی، ۱۳۹۴).

لذا از آنجایی‌که میزان آب مصرفی پایه هر محصول در هر منطقه تحت تأثیر اقلیم هر منطقه، میزان تولیدات، الگوی مصرفی مردم، عملیات کشاورزی و راندمان کاربرد آب متغیر است، بنابراین توسعه روش‌های مدیریتی کارآمد و جدید که بتوان با آن مقدار آب واقعی مصرفی را محاسبه کرد، امری لازم و ضروری است. به نحوی که در پاسخ به افزایش نیاز به دست یابی دانشی جهت چگونگی مصرف آب در بخش‌های مختلف با هدف حل نسبی معضل جهانی بحران آب، بسیاری از محققان مفاهیم بسیار گسترده و متنوعی را ارایه نمودند که از آن میان، می‌توان به اصطلاح آب مجازی اشاره نمود. این مفهوم برای اولین بار با تعریف میزان آب

۱- دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی (بوم شناسی زراعی)، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: anafjeh_z@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

مورد نیاز برای تولید یک کالا، توسط آلن در سال ۱۹۹۸ ارائه شد (Allen et al., 1998).

مفهوم ردپای آب به عنوان شاخصی از کمیت، زمان و مکان مصرف آب شیرین، در سال ۲۰۰۲ توسط هوکسترا ارائه گردید که حجم مصرف آب، آلودگی و همچنین مکان آن را نشان می‌دهد. این مفهوم پس از انجام اصلاحاتی در روش‌های برآورد و محاسبه، در مجموعه‌ای از انتشارات مؤسسه IHE یونسکو به عنوان یک شاخص قابل اتکا معرفی شد (Hoekstra et al., 2011).

ردپای آب معمولاً به سه جزء تقسیم می‌شود: آب آبی، آب سبز و آب خاکستری (Van Oel et al., 2009). ردپای آب سبز، تعرق آب باران از گیاه است و ردپای آب آبی، تبخیر آب آبیاری از زمین زراعی است. در حالی‌که ردپای آب خاکستری حجم آبی است که به واسطه تولید کالا آلوده می‌شود (Hoekstra et al., 2011)، و معادل حجم آبی است که برای رقیق کردن یا رفع آلودگی آب و رسیدن کیفیت آن به سطح استاندارد و قابل قبول مورد نیاز است (Hoekstra and Chapagain, 2008). از آنجا که مهم‌ترین آلاینده با بیشترین میزان مصرف در نظر گرفته می‌شود، مقادیر آلودگی مربوط به آفت‌کش‌ها و غیره بدلیل اینکه ناچیز است، نادیده گرفته می‌شود و ردپای آب خاکستری در کشاورزی عمدتاً ناشی از آلودگی حاصل از کاربرد کودهای شیمیایی می‌باشد (Hoekstra et al., 2009). در ایران نیز، از آنجا که مقدار ماده آلی خاک در اغلب نقاط پایین بوده و بیشتر گیاهان دچار کمبود نیتروژن هستند، بنابراین مهم‌ترین راه تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان، مصرف کودهای نیتروژنی است (فعله‌گری و همکاران، ۱۳۹۵؛ سید شریفی و همکاران، ۱۳۹۶).

از آنجایی‌که بخش کشاورزی بزرگ ترین مصرف کننده‌ی آب شیرین در جهان بوده و حجمی در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از منابع آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد، لذا استفاده از مفهوم ردپای آب در تعدیل مصرف آب در این بخش اهمیت بیشتری خواهد داشت (Hoekstra et al., 2011). به همین دلیل تعیین عوامل اثرگذار بر میزان ردپای آب محصولات کشاورزی با هدف ارایه راهکارهای کاربردی جهت کاهش آب مصرفی و حفظ منافع اقتصادی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای دست‌یابی به کشاورزی پایدار در مناطق کم‌آب محسوب شود.

در مطالعه‌ای در مکزیک بر روی گندم به علت پایین بودن عملکرد و راندمان مصرف آب، مقدار آب آبی بالا و در حدود ۱۲۵۰-۶۲۵ متر مکعب بر تن برآورد شد. از طرفی جزء سبز به دلیل شرایط آب و هوایی که گندم در آن رشد می‌کند کم بود و ردپای خاکستری گندم ۱۹۳۶۴ متر مکعب بر تن بود. همچنین بیان شد که ردپای آب نه تنها استفاده از منابع را مورد ارزیابی قرار می‌دهد بلکه تأثیرات و کمبودهایی را که باعث ایجاد چنین استفاده‌هایی می‌شود را ارزیابی می‌کند. روشی با این خصوصیات می‌تواند هم برای تحقیقات علمی و هم برای عموم مردم، اطلاعات مناسب‌تری برای تصمیم‌گیری تهیه کند (Carole et al., 2011). در چین ردپای آب گندم و ذرت از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۵ ارزیابی شد و نشان داده شد که ردپای کل آب گندم ۱۵۸۰ مترمکعب بر تن بود و سهم ردپای سبز، آبی و خاکستری به ترتیب ۵۲، ۲۹ و ۱۹ درصد بود. برای ذرت نیز ردپای کل آب ۱۲۷۵ مترمکعب بر تن بدست آمد و ردپای سبز، آبی و خاکستری به ترتیب ۷۳، ۳ و ۲۴ درصد از ردپای آب کل را تشکیل می‌داد. در این مطالعه بیان شد که بخش عمده ردپای کل آب از آب سبز به ویژه برای تولید ذرت حاصل می شود و این نشان می دهد که باید در آینده بیشتر به مدیریت آب باران توجه شود. به طور کلی ۱۹٪ و ۲۴٪ از کل ردپای آب برای رفع آلودگی آب کشاورزی برای گندم و ذرت مورد نیاز هستند، که این مقدار بسیار بالاتر از میانگین جهانی است و این نشان می‌دهد که بازده مصرف کود بایستی در آینده بهبود یابد (Yuping et al., 2018).

کاپاگن و هوکسترا در مطالعه‌ای بیان داشتند ردپای آب ایران نسبتاً زیاد و به میزان ١٦٢٤ مترمکعب در سال می‌باشد. که بخشی به علت عملکرد پایین و بخشی دیگر به علت تبخیر و تعرق بالای ناشی از شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک کشور است (Chapagain and Hoekstra, 2007). همچنین مطالعات مختلف نشان داد که گندم در مقایسه با سایر محصولات دارای ردپای آب کل و آب سبز بیشتری می‌باشد. چنانچه فرزام ردپای آب گندم را برای ایران ۱۲۳۵ متر مکعب بر تن در سال برآورد کرد (Farzam, 2015).

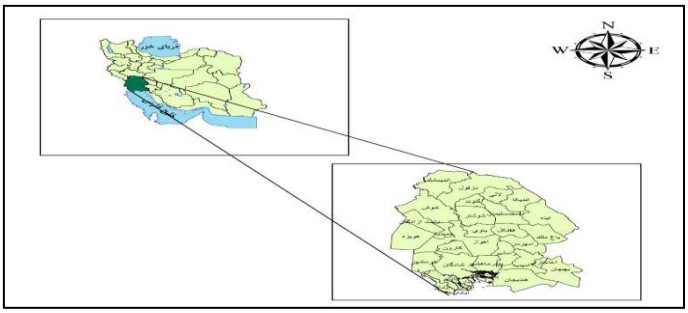
بنابراین با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه گندم، شرایط بحرانی کمبود آب در نظام‌های تولید و عدم بررسی ردپای آب گندم در خوزستان، این مطالعه با هدف برآورد ردپای آب و بررسی ارتباط ردپای آب و عملکرد واقعی گندم در خوزستان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی پژوهش استان خوزستان است که با مساحت ۶۴۷۶۴ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و از لحاظ توپوگرافی به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود (شکل ۱). سال‌های آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز در جدول ۱ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی واقع در استان خوزستان

مجموع ردپای آب[1] WF یک عدد مفرد برای سادگی مقایسات می‌دهد و مجموع چند عدد است که اطلاعات زیادی در مورد منبع آب مصرفی به ما نمی‌گوید، اما به دلیل ارزش اقتصادی و محیطی متفاوت ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری به طور جداگانه محاسبه خواهند شد، که در زیر آورده شده است.

حجم آب مصرف شده برای تولید گیاه زراعی (WFc, m^3 ha^{-1}) از دو بخش تشکیل شده است:

$$WFc=WF_{evaporative}+ WF_{non\text{-}evaporative} \quad (۱)$$

$$WF_{evaporative}= WF_{green}+WF_{blue} \quad (۲)$$

$$WF_{non\text{-}evaporative}=WF_{gray} \quad (۳)$$

ارزیابی تبخیر و تعرق سبز و آبی از طریق معادله‌های زیر انجام شد (Hoekstra et al., 2011).

$$WF_{crop,green}=ET_{green}/Yield \quad (۴)$$

$$WF_{crop,blue}=ET_{blue}/Yield \quad (۵)$$

$$WF_{crop,grey}=(\alpha\times NAR/C_{maximum}\text{-}C_{natural})\ /Yield \quad (۶)$$

در این معادلات $WF_{crop,green}$: ردپای آب سبز بر حسب مترمکعب بر تن، $WF_{crop,blue}$: ردپای آب آبی بر حسب مترمکعب بر تن، $WF_{crop,grey}$: ردپای آب خاکستری بر حسب مترمکعب بر تن، ET_{green}: تبخیر و تعرق آب سبز بر حسب میلی‌متر، ET_{blue}: تبخیر و تعرق آب آبی بر حسب میلی‌متر و Yield عملکرد بر حسب تن در هکتار می‌باشد و اطلاعات مربوط به عملکرد هر شهرستان از جهاد کشاورزی اقتباس شد.

ردپای آب خاکستری در واقع نسبت حجم آلودگی به تفاوت بین حداکثر غلظت آلودگی (بالاترین غلظت قابل قبول) و غلظت آلودگی نرمال (آلودگی قابل انتظار) می‌باشد. در این معادله NAR: میزان مصرف نیتروژن بر حسب کیلوگرم در هکتار و α ضریب آلودگی نیتراتی می‌باشد که از ۳ تا ۱۲ درصد متغیر است (Chapagain et al., 2006؛ Hoekstra et al., 2011)، که در این مطالعه ۷ درصد در نظر گرفته شد. محدوده مجاز نیترات در بسترهای سطحی و زیر زمینی آب که توسط EU تعیین شد ۵۰ میلی‌گرم نیترات در هر لیتر است. استانداردی که توسط EPA در سال ۲۰۰۵ پیشنهاد شد ۱۰ میلی‌گرم نیتروژن در هر لیتر بود که برابر ۴۵ میلی‌گرم نیترات در هر لیتر است. در این مطالعه از حد تعیین شده توسط EU استفاده کرده‌ایم که ۱۰ میلی‌گرم در هر لیتر بود تا حجم آب مورد نیاز برای رقیق کردن جریانات برگشتی را تا حد مجاز اندازه‌گیری شود (Hoekstra et al., 2009 ;Chapagain et al., 2006).

جهت محاسبه تبخیر و تعرق سبز و آبی از معادلات ۷ و ۸ استفاده شد.

$$ET_{green} = \min\ (ET_C, P_{effective}) \quad (۷)$$

$$ET_{blue} = IR = ET_C - ET_{green} \quad (۸)$$

که در این معادلات ET_c: تبخیر و تعرق محصول (میلی‌متر در روز)، $P_{effective}$: بارندگی مؤثر (میلی‌متر) و IR: نیاز خالص آبیاری (مترمکعب) می‌باشد. در معادله ۷ منظور حداقل تبخیر و تعرق گیاه زراعی یا حداقل باران مؤثر است با این توضیح هر کدام که کمتر باشد استفاده می‌شود.

تبخیر و تعرق محصول توسط یک اندازه‌گیری از تبخیر و تعرق گیاه مرجع (معادله ۹) برآورد می‌شود (Allen et al., 1998).

$$ET_c= kc\times ET_0 \quad (۹)$$

که در این معادله ET_c تبخیر و تعرق محصول (میلی‌متر در روز)، k_c ضریب گیاهی (بی‌بعد) و ET_0 تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز) می‌باشد که با استفاده از مدل CropWat محاسبه شدند.

هدف اصلی از تعیین تبخیر و تعرق مرجع، محاسبه تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد. در این تحقیق به منظور محاسبه تبخیر و تعرق گیاه زراعی از نرم افزار CropWat 9.3 استفاده گردید. این نرم‌افزار برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با استفاده روش استاندارد فائو پنمن مانتیث انجام می‌دهد.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{9000}{T+273} U_{2m}(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_{2m})} \quad (۱۰)$$

که در آن: ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) بر حسب میلی‌متر در روز، R_n: تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G: شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)،

1- Water footprint

www.SID.ir

Archive of SID

U_{2m}: میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری، e_s: فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a: فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، es-ea: کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، $\triangle$: شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، γ: ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشد.

ورودی‌های این مدل شامل میانگین دمای هوا، میانگین رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و سرعت باد می‌باشد (Allen et al., 1998) که از ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان گرفته شد. در جدول ۱ مختصات ایستگاه‌های مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری
اهواز	۴۸°۴´	۳۰°۲۲´	۲۲	۱۹۸۵-۲۰۱۶
دزفول	۴۸°۲۵´	۳۲°۱۶´	۸۳	۱۹۹۲-۲۰۱۶
شوشتر	۴۸°۲۵´	۳۲°۳´	۶۷	۱۹۹۵-۲۰۱۶
خرمشهر	۴۸°۱۱´	۳۰°۲۶´	۵	۱۹۸۳-۲۰۱۲
بهبهان	۵۰°۱۴´	۳۰°۳۶´	۳۱۳	۱۹۹۴-۲۰۱۳
ایذه	۴۹°۵۲´	۳۱°۵۰´	۷۶۰	۱۹۹۳-۲۰۱۴

پس از برآورد ردپای آب، توزیع و رابطه ردپا با عملکرد واقعی در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه برای اعمال روش درون‌یابی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ردپای آب و عملکرد واقعی از روش عکس مجذور فاصله استفاده شد. بدین ترتیب استان خوزستان به پهنه‌هایی همگن با حداکثر شباهت از نظر ردپای آب کل، ردپای آب سبز، ردپای آب آبی و ردپای آب خاکستری و عملکرد واقعی تقسیم شد.

نتایج و بحث

پس از برآورد تبخیر و تعرق محصول و مقایسه آن با بارندگی مؤثر، تبخیر و تعرق سبز (حداقل تبخیر و تعرق محصول یا بارندگی مؤثر) محاسبه گردید. که مقادیر آن در جدول ۲ آورده شده است. آبابایی و رمضانی اعتدالی تبخیر و تعرق گیاه گندم را برای خوزستان ۴۲۵ میلی‌متر اندازه‌گیری کردند، در حالیکه در این مطالعه این مقدار ۲۱۷ میلی‌متر به دست آمد. دلیل این تفاوت می‌تواند استفاده از مدل‌های متنوع در محاسبه تبخیر و تعرق و دوره متفاوت مطالعه باشد که در نهایت منجر به حصول عملکردهای متفاوت و ردپاهای مختلف می‌شود.

ایذه به علت بارندگی مؤثر بالاتر دارای تبخیر و تعرق سبز بیشتری نسبت به دیگر مناطق مورد مطالعه است پس از آن دزفول در رتبه دوم قرار دارد و بالعکس گندم در خرمشهر به علت نیاز خالص آبیاری بیشتر و بارندگی پایین‌تر، کم‌ترین تبخیر و تعرق سبز را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

تبخیر و تعرق آبی از اختلاف بین تبخیر و تعرق محصول و تبخیر و تعرق سبز به دست می‌آید که مقادیر آن در جدول ۲ آورده شده است. بیشترین درصد تبخیر و تعرق آبی در این مطالعه متعلق به خرمشهر و پس از آن بهبهان می‌باشد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهند همیشه تبخیر و تعرق بالای سبز و آبی منجر به بیشترین ردپای آب نخواهد شد. بنابراین مقدار عملکرد و نوع منطقه کشت محصول نیز بر محاسبه ردپای کل آب تأثیرگذار می‌باشند (جدول ۲).

فرزام میانگین تبخیر و تعرق سبز و آبی را در طول دوره رشد گندم از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایران، به ترتیب ۱۱۳ و ۱۲۴ متر مکعب بر تن محاسبه کرد. در حالی که در مطالعه ما میانگین تبخیر و تعرق سبز (۱۴۱ متر مکعب بر تن) از متوسط تبخیر و تعرق آبی (۸۱ متر مکعب بر تن) بیشتر بود (Farzam, 2015).

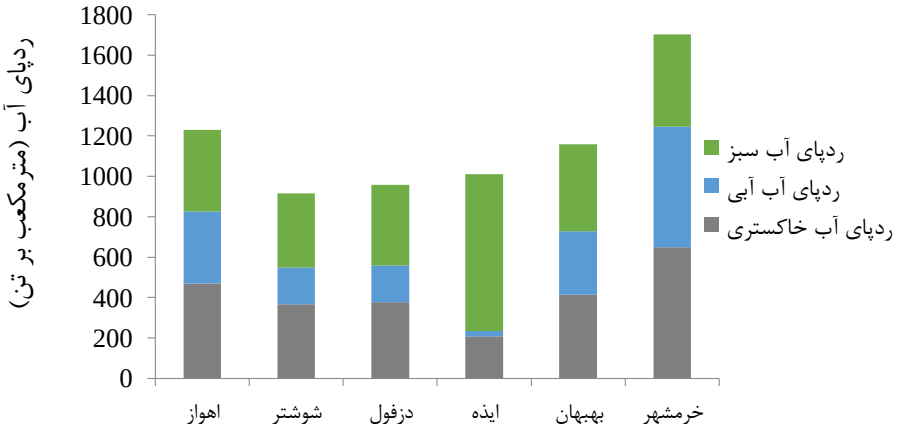
جدول ۲- مقدار تبخیر و تعرق سبز، آبی و تبخیر و تعرق گندم در شهرهای مورد مطالعه

ایستگاه	تبخیر و تعرق سبز	تبخیر و تعرق آبی	تبخیر و تعرق محصول	بارندگی مؤثر
اهواز	۱۱۹	۱۰۵	۲۲۵	۱۷۱
دزفول	۱۴۸	۶۷	۲۱۵	۲۳۹
شوشتر	۱۳۹	۷۰	۲۰۹	۲۳۶
خرمشهر	۹۹	۱۲۸	۲۲۷	۱۲۷
بهبهان	۱۴۶	۱۰۷	۲۲۷	۲۵۸
ایذه	۱۹۶	۷	۲۰۲	۴۴۰

www.SID.ir

Archive of SID

با مقایسه ردپای آب سبز، آب آبی و آب خاکستری گندم در شهرهای مختلف (شکل ۲) می‌توان به این نتیجه رسید که در تمامی شهرهای مورد بررسی ردپای آب خاکستری بیشتر از ردپای آب آبی است، در واقع آن میزان از آب آبی که پس از مصرف آلوده شده و برای گیاه قابل استفاده نیست آب خاکستری را تشکیل می‌دهد. به هر اندازه که مصرف و نیاز آبیاری بیشتر باشد، حجم آب آلوده شده در نتیجه آبشویی کودهای نیتروژنه مصرف شده در زراعت گندم بیشتر خواهد بود. همچنین با مشاهده این شکل متوجه می‌شویم که در تمامی شهرهای مورد مطالعه به غیر از خرمشهر مقدار آب سبز بیشتر از آب آبی است. زیرا در خرمشهر به دلیل تبخیر و تعرق بالاتر، به مقدار آب بیشتری (۱۷۰۴ متر مکعب بر تن) جهت تولید محصول نیاز دارد. عملکرد نیز در این شهر در مقایسه با دیگر شهرها پایین‌تر است که باعث افزایش مقدار نهایی ردپای آب شده است.



شکل ۲- ردپای آب سبز، آبی و خاکستری گندم در شهرهای مختلف خوزستان

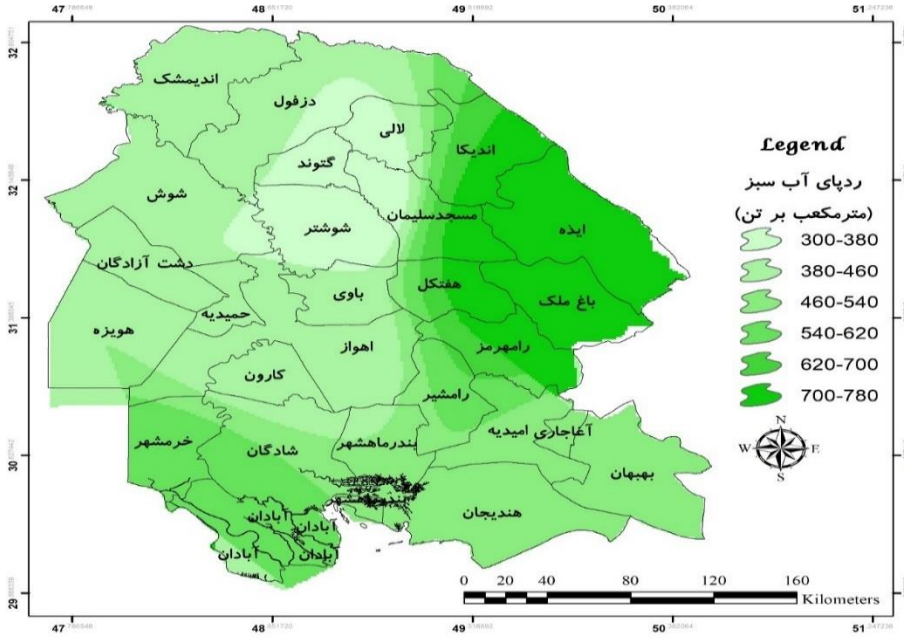
یافته‌های این بررسی با مطالعات قبلی مطابقت دارد که آب سبز، نقش برجسته‌ای در تولید محصول ایفا می‌کند. همان‌طور که توسط راک استرام و همکاران نشان داده شد در بیشتر کشورها آب سبز بیشترین نقش را در تولید محصول دارد (Rockstrom et al., 2009). ایشان در سال ۲۰۰۳ نشان دادند که در مناطقی که میزان بارندگی (آب سبز) زیاد است می‌توان بهره‌وری آب را از طریق افزایش عملکرد محصول در واحد سطح و بدون نیاز به آب آبی اضافی بهبود بخشید. که نتایج راک استرام و همکاران نیز تأیید کننده این مطلب می‌باشد (Rockstrom et al., 2007). اما به هر حال، تولید محصول گندم بدون استفاده از آب آبی تقریباً غیرممکن است. به طور کلی، تولید غلات بدون مصرف آب آبی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Rost et al., 2009 و Siebert and Doll, 2010). بنابراین یک هماهنگی دقیق از مصرف آب آبی و سبز در تولید محصول موردنیاز است.

بر اساس نتایج این مطالعه، در قسمت‌های شرقی استان خوزستان نسبت به دیگر مناطق، میزان ردپای آب سبز بیشتر بوده و قسمت‌های جنوب غرب و جنوب شرق در رتبه‌های بعدی قرار دارند. دلیل بالا بودن مقدار ردپای آب سبز گندم در شهر ایذه و بهبهان، ارتفاع زیاد این شهرها و در نتیجه بارندگی بیشتر آن‌ها نسبت به سایر مناطق است. خرمشهر نیز به دلیل قرار گرفتن در مجاورت دریا از نزولات بیشتری برخوردار است (شکل ۳). جزء ردپای آب آبی گندم در نیمه جنوبی استان به علت کمبود بارندگی مؤثر و نیاز آبیاری بیشتر زراعت گندم، بیشتر از شهرهای واقع در نیمه شمالی می‌باشد (شکل ۴). با توجه به جدول ۳ ردپای آب آبی از ۲۶ تا ۵۹۶ متر مکعب بر تن متغیر است. این نوسان نشان دهنده ارتفاع از سطح دریای متفاوت شهرهای مورد مطالعه در این بررسی می‌باشد. شهر ایذه کم‌ترین ردپای آب آبی را دارد (شکل ۴) که نشان دهنده نیاز خالص آبیاری بسیار کمتر در مقایسه با سایر شهرهای مورد بررسی و نقش کمتر آبیاری نسبت به نزولات آسمانی در کشت گندم در این شهرستان می‌باشد. بالعکس در خرمشهر مقدار تبخیر و تعرق آبی بالاتر از شهرهای دیگر است که به معنای نیاز خالص آبیاری بیشتر و بارندگی مؤثر کمتر آن است. از طرفی عملکرد گندم در این منطقه کمتر از دیگر مناطق مورد مطالعه می‌باشد که نتیجه این عوامل ردپای آب آبی بسیار بیشتر خرمشهر در مقایسه با سایر شهرها است. در خرمشهر ردپای آب آبی سهم بیشتری (۳۹ درصد) را در مقایسه با آب سبز به خود اختصاص می‌دهد و بیانگر وابستگی بیشتر گندم این شهر به منابع آب‌های سطحی و زیرمینی است (شکل ۴).

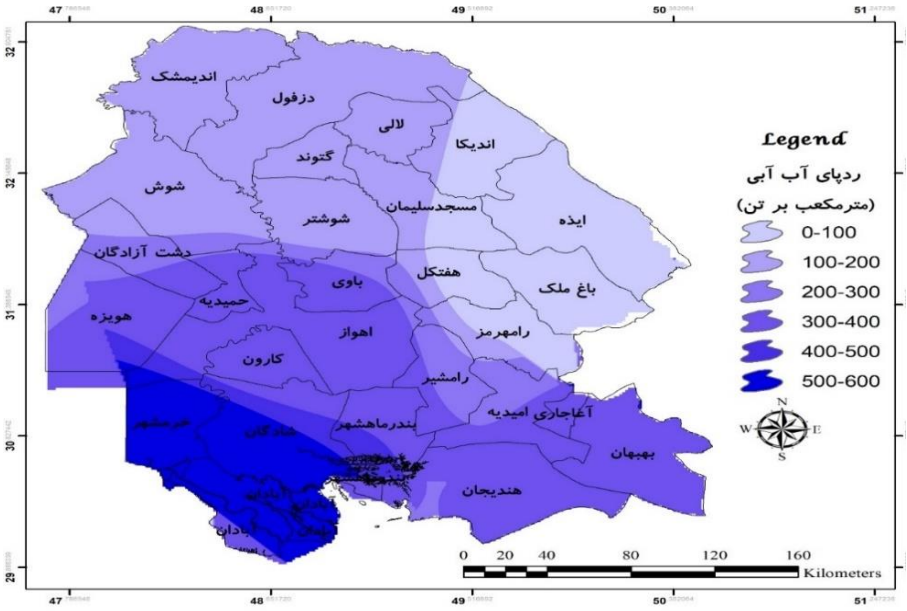
www.SID.ir

Archive of SID

از آنجا که آب آبی‌ای که از دسترس گیاه خارج شـده و بـرای آن قابل استفاده نمی‌باشد، ردپای آب خاکستری را تشکیل می‌دهد، توزیع ردپای آب خاکستری در استان مشابه آب آبی می‌باشد (شکل ۵) و در مناطقی که میزان ردپای آب آبی گندم بالا است آلودگی آب‌ها ناشـی از مصرف کودهای نیتروژنه نیز زیاد می‌باشد. میزان ردپای کل آب در منـاطق مختلـف استان متفاوت می‌باشد. به طوری که مناطق جنوبی و جنوب غربی استان، میزان ردپای آب بیشـتری نسـبت بـه منـاطق شمالی و شرقی دارند (شکل ۵).



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی ردپای آب سبز گندم در شهرستان‌های استان خوزستان



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی ردپای آب آبی گندم در شهرستان‌های استان خوزستان

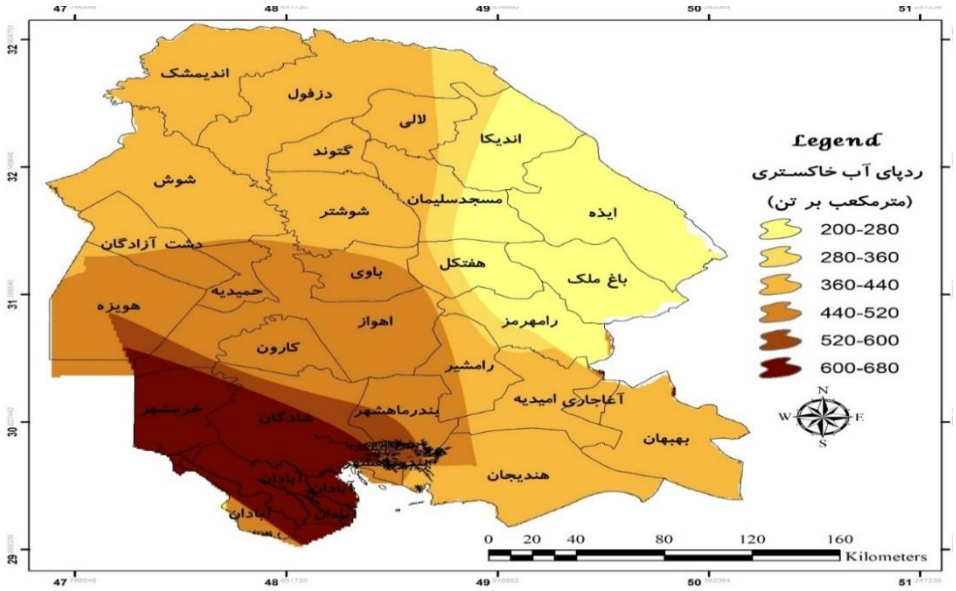
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- عملکرد محصول، ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و ردپای آب کل گندم در شهرهای مورد مطالعه

ایستگاه	عملکرد (تن در هکتار)	ردپای آب سبز (مترمکعب بر تن)	ردپای آب آبی (مترمکعب بر تن)	ردپای آب خاکستری (مترمکعب بر تن)	ردپای آب کل (مترمکعب بر تن)
اهواز	۲/۹	۴۰۱	۳۵۶	۴۷۱	۱۲۲۸
دزفول	۳/۷	۴۰۰	۱۸۱	۳۷۸	۹۵۹
خرمشهر	۲/۱	۴۵۸	۵۹۶	۶۵۰	۱۷۰۴
بهبهان	۳/۴	۴۳۱	۳۱۶	۴۱۳	۱۱۶۰
ایذه	۲/۵	۷۷۸	۲۶	۲۰۸	۱۰۱۲

مقدار ردپای آب خاکستری در اهواز و خرمشهر به علت عملکرد پایین گندم در هکتار بالاتر بود و در بهبهان، دزفول، شوشتر و ایذه به ترتیب کاهش می‌یابد. به خاطر اینکه زراعت گندم در ایذه به صورت دیم بوده و کود نیتروژن به طور معمول قبل از بارندگی به زمین داده می‌شود، از آب آبیاری بسیار کمتری استفاده می‌گردد و در نتیجه مصرف کود نیتروژنه در این منطقه کاهش می‌یابد، لذا از ردپای آب خاکستری بسیار کمتری برخوردار و آلودگی زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای نیتروژن‌دار کاهش چشمگیری می‌یابد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی ردپای آب خاکستری گندم در شهرستان‌های استان خوزستان

مطالعات بسیار کمی در خصوص محاسبه ردپای آب خاکستری انجام شده است. زیرا اندازه‌گیری این جزء از ردپا مشکل بوده و عوامل متعددی در تشکیل آن نقش دارند که با توجه به منطقه متفاوت می‌باشند. در پژوهش فرزام مقدار ردپای آب خاکستری محصولات مختلف بسیار پایین برآورد شد و دلیل آن را ابهام در این فرض دانسته‌اند که آیا ردپای آب خاکستری جزئی از ردپای آب خواهد بود یا خیر؟ (Farzam, 2015).

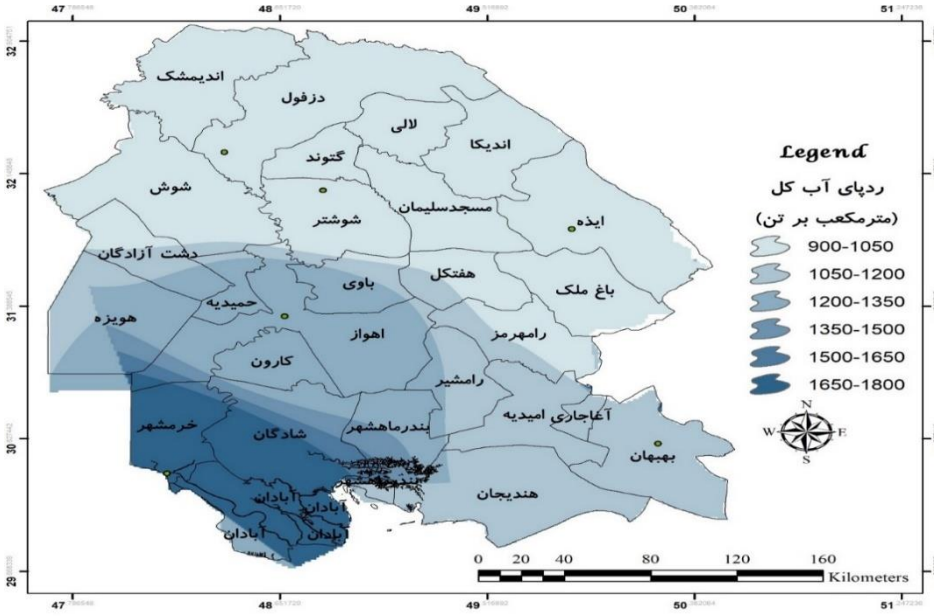
نتایج پژوهش نشان داد ردپای کل آب برای شهرهای شوشتر، دزفول، ایذه، بهبهان، اهواز و خرمشهر به‌ترتیب ۹۱۵، ۹۵۹، ۱۰۱۲، ۱۱۶۰، ۱۲۲۸ و ۱۷۰۴ متر مکعب بر تن می‌باشد (جدول ۳). نسبت بالای ردپای آب سبز در مقایسه با ردپای آب آبی (۴۱ درصد در مقایسه با ۲۴ درصد) اهمیت بارندگی را تأیید می‌کند. سهم ردپای آب خاکستری ۳۵ درصد است، اما این یک تخمین محتاطانه است زیرا در این مطالعه تنها آلودگی ناشی از کودهای نیتراته در نظر گرفته شد و سایر آلودگی‌ها را از جمله کودهای فسفره و آفت‌کش‌ها را ناچیز در نظر گرفته شد.

شهر خرمشهر در بین دیگر شهرهای مورد مطالعه در استان خوزستان به مقدار آب بیشتری (۱۷۰۴ متر مکعب بر تن) جهت تولید محصول نیاز دارد که به علت تفاوت در تبخیر و تعرق این شهر با سایر شهرها می‌باشد (جدول ۳). دلیل دیگر این اختلاف، عملکرد محصول پایین این شهر می‌باشد که باعث افزایش مقدار نهایی ردپای آب شده است.

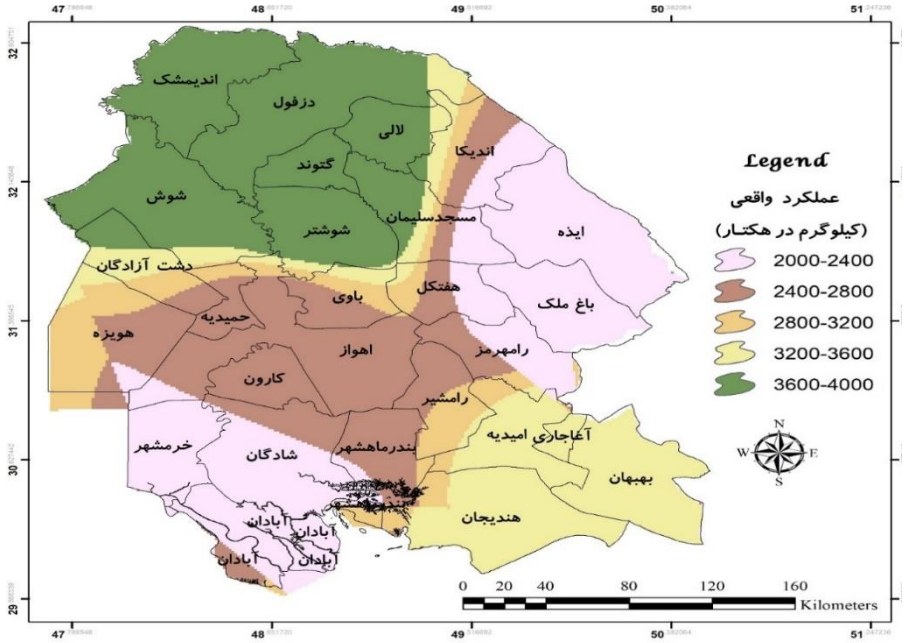
www.SID.ir

Archive of SID

میانگین ردپای کل آب بین شهرستان‌های مورد بررسی در این مطالعه کمتر از مقدار بدست آمده در مطالعه آبابایی و رمضانی اعتدالی (۴۱۲۳ متر مکعب بر تن) بود (Ababaei and Ramezani Etedali, 2014). میانگین ردپای آب در این بررسی در حدود ۱۱۶۳ مترمکعب بر تن می‌باشد (جدول ۳). به عبارت دیگر ۲۹۶۰ مترمکعب کمتر از ردپای آب حاصل از مطالعه آبابایی و اعتدالی است که ۲۸ درصد کمتر از برآورد آن‌ها می‌باشد. که دلیل این اختلاف می‌تواند استفاده از روش‌های متفاوت محاسبه تبخیر و تعرق و دوره متفاوت مطالعه باشد که به عملکردهای متفاوت و در نتیجه مقادیر مختلف ردپای آب منجر می‌شود. همچنین آبابایی و اعتدالی در محاسبه ردپای آب کل، ردپای آب سفید (۱۳۷۲ متر مکعب بر تن) را نیز در نظر گرفته‌اند که باعث زیاد شدن مقدار نهایی ردپای آب شده است. شکل ۶ توزیع ردپای کل آب گندم را در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی ردپای آب کل گندم در شهرستان‌های استان خوزستان



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی عملکرد واقعی گندم در شهرستان‌های استان خوزستان

www.SID.ir

Archive of SID

در این بررسی دشت‌های شمالی و جنوب شرقی حوزه در مقایسه با نواحی جنوبی و غربی استعداد بیشتری در تولید گندم دارند (شکل ۷). این نتایج نشان می‌دهد که نقش عوامل اقلیمی در کشت گندم بسیار مؤثر بوده است. به طوری که شوشتر و دزفول که در شمال استان قرار دارند عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه دارند (جدول ۳). اما باید توجه داشت که مناطقی که عملکرد بیشتری دارند، از ردپای آب کمتری برخوردارند و بالعکس. بطوریکه خرمشهر کم‌ترین عملکرد گندم (۲۱۵۲ کیلوگرم در هکتار) را دارد اما ردپای آب بیشتری را در بین سایر شهرستان‌های مورد مطالعه داراست؛ و در مقابل شهرستان شوشتر با بیشترین عملکرد در واحد سطح (۳۸۱۳ کیلوگرم در هکتار) به علت تبخیر و تعرق محصول بیشتر کم‌ترین ردپای آب را دارد. بنابراین تبخیر و تعرق بالا و در نتیجه خشکی بیشتر، جزئی از ذات این مناطق است.

نتایج بیدادی و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد که از بین عوامل اقلیمی و توپوگرافی مؤثر بر کشت گندم، نقش عوامل اقلیمی بیشتر است. به طوری که وزن مجموع عوامل اقلیمی مؤثر معادل ۰/۶۵ و وزن مجموع عوامل توپوگرافی معادل ۰/۱۶ تعیین شد. همچنین بیان کردند که از میان عوامل اقلیمی بارش در گندم بیشترین اهمیت را نسبت به سایر عوامل اقلیمی داشت (بیدادی و همکاران، ۱۳۹۴).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد ردپای کل آب برای شهرهای شوشتر، دزفول، ایذه، بهبهان، اهواز و خرمشهر به‌ترتیب ۹۱۵، ۹۵۹، ۱۰۱۲، ۱۱۶۰، ۱۲۲۸ و ۱۷۰۴ مترمکعب بر تن می‌باشد. میزان ردپای آب سبز در قسمت‌های شرقی استان خوزستان نسبت به دیگر مناطق بیشتر بوده و قسمت‌های جنوب غرب و جنوب شرق در رتبه‌های بعدی قرار دارند و ردپای آب آبی گندم در نیمه جنوبی استان به علت کمبود بارندگی مؤثر و نیاز آبیاری بیشتر زراعت گندم، بیشتر از شهرهای واقع در نیمه شمالی می‌باشد. سهم ردپای آب خاکستری ۳۵ درصد است و توزیع آن در استان مشابه آب آبی می‌باشد؛ و در مناطقی که میزان ردپای آب آبی گندم بالا است آلودگی آب‌ها ناشی از مصرف کودهای نیتروژنه نیز زیاد می‌باشد.

میزان ردپای کل آب در مناطق جنوبی و جنوب غربی استان، نسبت به مناطق شمالی و شرقی بیشتری بود. در این بررسی دشت‌های شمالی و جنوب شرقی حوزه در مقایسه با نواحی جنوبی و غربی استعداد بیشتری در تولید گندم دارند و در نهایت ، مناطقی که عملکرد بیشتری دارند، از ردپای آب کمتری برخوردارند و بالعکس. زیرا هرچه عملکرد افزایش یابد از مقدار ردپای آب کاسته می‌شود.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر در مناطقی که میزان بارندگی (آب سبز) زیاد است می‌توان بهره‌وری آب را از طریق افزایش عملکرد محصول در واحد سطح و بدون نیاز به آب آبی اضافی بهبود بخشید. اما به هر حال، تولید محصول گندم بدون استفاده از آب آبی تقریباً غیرممکن است، بنابراین یک هماهنگی دقیق از مصرف آب آبی و سبز در تولید محصول موردنیاز است. همچنین با توجه به اینکه ارقام مختلف گندم از نظر کارایی مصرف آب یکسان نیستند لذا توصیه می‌شود ارقام با کارایی مصرف آب و نیتروژن بیشتر مورد مطالعه و استفاده قرار گیرند.

منابع

بیدادی، م.ج.، کامکار، ب.، عبدی، ا. و کاظمی، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت گندم دیم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه قره سو). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۵ (۱): ۱۳۱-۱۴۳.

حسین‌زاد، ج.، کاظمیه، ف.، جوادی، ا. و غفوری، ه. ۱۳۹۲. زمینه‌ها و سازوکارهای مدیریت آب کشاورزی در دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک. ۲۳ (۲): ۸۵-۹۸.

فعله گری، ح.، قبادی، م.، محمدی، غ.، جلالی هنرمند، س. ۱۳۹۵. بررسی صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم تحت سطوح مختلف نیتروژن و آبیاری. نشریه فناوری تولیدات گیاهی. ۱۶ (۲): ۹۷-۱۰۹.

سید شریفی، ر.، افسری، ، سید شریفی، ر. ۱۳۹۶. تاثیر مقادیر کود نیتروژن در مراحل مختلف رشدی بر انتقال مجدد ماده خشک و صفات موثر بر انباشت ماده خشک در دانه جو (*Hordeum vulgare* L.). نشریه فرایند و کارکرد گیاهی. ۶ (۱۹): ۳۳۷-۳۵۰.

نصرآبادی، ا. ۱۳۹۴. شواهد زیست محیطی بحران آب ایران و برخی راه حلها. فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی. ۴ (۱۵): ۶۵-۸۹.

Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. 2014. Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. Journal of Environmental Process. 1: 193-205.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome.

Carole, F., Sylvie, T. and Nydia, S. 2011. Assessment of the Water Footprint of Wheat in Mexico. Towards life cycle management. pp. 161-170.

www.SID.ir

Archive of SID

savannahs. Journal of Irrigation Science. 25 (3): 299-311.

Rockstrom, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S. and Gerten, D. 2009. Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change. Journal of Water Resource Research. 45, W00A12, http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006767.

Rost, S., Gerten, D., Hoff, H., Lucht, W., Falkenmark, M. and Rockstrom, J. 2009. Global potential to increase crop production through water management in rainfed agriculture. Environmental Research Letters 4, doi:10.1088/1748-9326/4/4/044002.

Siebert, S. and Doll, P. 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. Journal of Hydrology. 384: 198-207.

Van Oel, P.R., Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2009. The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. Journal of Ecological Economics .69: 82–92

Yuping, H., Dongdong, J., La, Z., Sabine, S., Jose-Miguel, S., Huiping, H. and Chunying, Wang. 2018. Assessing the Water Footprint of Wheat and Maize in Haihe River Basin, Northern China (1956–2015). Journal of Water. 10: 1-18.

Zhang, Y., Huang, K., Yu, Y. and Yang, B. 2017. Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006 e 2015.

Chapagain, A.K and Tickner, D. 2012. Water Footprint: Help or Hindrance? Journal of Water Alternatives. 5 (3): 563-581.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, .H.H.G. and Gautam, R. 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Journal of Ecological Economics. 60: 186-203.

Farzam, N. 2015. Green and blue waterfootprint of growing crops in Iran and Finland: a case study of six primary crops during 2007-2012. MSc Thesis, Helsinki University.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London, UK: Earthscan.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Journal of Water Resource. Manage. 21 (1): 35–48.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2009. Water footprint manual: state of the art 2009. Water Footprint Network, Enscheda, the Netherlands.

Rockstrom, J. and Barron, J. 2007. Water productivity in rainfed systems: overview of challenges and analysis of opportunities in water scarcity prone

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 993-1003

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۱۰۰۳-۹۹۳

Estimation and Zoning of Water Footprints in Wheat Production (Case Study: Khuzestan Province)

Z. Anafjeh [1]*, M. Banayan Aval[2], P. Rezvani Moghadam[3], B. Andarzian [4]

Recived: Jan.01, 2020 Accepted: Feb.23, 2020

Abstract

In this study, green, blue and gray water footprints of wheat product were estimated. The studied areas were Ahvaz, Dezful, Shooshtar, Behbahan, Izeh and Khorramshahr. The total water footprint of wheat was obtained from the sum of green, blue and grey water footprint. Then, the relationship between wheat water footprint and actual yield was compared. The results showed that among the study areas, Khorramshahr needed more water (1704 m^3 t^{-1}) to produce the product and thereafter, Ahvaz (1228 m^3 t^{-1}), Behbahan (1083 m^3 t^{-1}), Izeh (1012 m^3 t^{-1}), Dezful (959 m^3 t^{-1}) and Shushtar (915 m^3 t^{-1}). To produce 1 ton of wheat, Izeh needs 778 cubic meters of green water, and after that, Khorramshahr was ranked second with 458 cubic meters of green water. However, Izeh had the lowest blue water footprint, and the zoning of Khuzestan province in terms of the blue water footprint of wheat showed that the blue water footprint in the southern half of the province is more than the northern half. Grey water footprints also follow a similar blue-water trend. Whereas Shooshtar has the lowest water footprint with the highest yield, and Khorramshahr has the lowest wheat yield and the highest water footprint among the other studied cities.

Keywords: Water footprint, Wheat yield, Zoning

1- Ph.D. in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad
3- Professor, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad
4- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Khuzestan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: anafjeh_z@yahoo.com)

www.SID.ir