

Investigation of Economic Productivity of Crop Products in Sistan and Baluchestan Province by Water Footprint Approach

HALIMEH PIRI¹*, RAMIN SARANI¹

1. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.

(Received: Sep. 29, 2019- Revised: Feb. 6, 2020- Accepted: Feb. 19, 2020)

ABSTRACT

Water management in agricultural sector is essential as the most important consumer of water. Assessing the actual amount of water used by different crops could be very effective in identifying and providing appropriate solutions to reduce agricultural water consumption. In this study, water footprint and partial irrigation water supply index were used to investigate the amount of water consumed by crops in Sistan and Baluchistan Province. The water footprint is a complete index, representing the actual amount of water consumed based on climatic condition in each area. Water footprint was evaluated on the basis of four components; green, blue, gray and white water footprints. Water productivity of different crops was also studied from an economic point of view. The results showed among the crop and orchard products, the wheat and pistachio showed the highest green water footprints, respectively. In terms of blue water footprint, maize, pomegranate and grape had the lowest amount. In terms of gray water footprint, wheat and pistachio had the highest values. In terms of white water footprint, wheat and pistachio had the highest values. In terms of overall water footprint, wheat and pistachio had the highest values. Among the crop products, barley and wheat had the lowest economic productivity and maize had the highest value. Among the orchard products, bananas had the highest economic productivity (2562.64x1000 riyals per cubic meter) and pistachio had the lowest one (29.4x1000 riyals per cubic meter). The values of relative irrigation water supply index were higher than one, indicating all crops are over-irrigated. Therefore, considering the high water footprint in the products produced in the province, the priority should be given to plant crops in each area based on the water footprint. Also, deficit irrigation methods should be used to increase irrigation water productivity.

Keywords: Water Productivity, Relative Irrigation Supply Index, White Water Footprint.

بررسی بهره‌وری اقتصادی محصولات کشاورزی استان سیستان و بلوچستان با رویکرد ردپای آب

حلیمه پیری^{۱*}، رامین سارانی^۱

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰)

چکیده

مدیریت آب در بخش کشاورزی به‌عنوان مهمترین مصرف‌کننده آب ضروری است. ارزیابی مقدار آب واقعی مورد استفاده محصولات مختلف کشاورزی می‌تواند در شناخت و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش مصرف آب کشاورزی بسیار مؤثر باشد. در این تحقیق جهت بررسی مقدار آب مورد مصرف محصولات تولیدی استان سیستان و بلوچستان از شاخص‌های ردپای آب و شاخص تأمین نسبی آب آبیاری استفاده شد. شاخص ردپای آب به‌عنوان یک شاخص جامع نشان‌دهنده مقدار واقعی آب مصرفی بر اساس شرایط و اقلیم هر منطقه می‌باشد. ردپای آب در چهار جزء ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بهره‌وری آب محصولات مختلف از دیدگاه اقتصادی بررسی شد. نتایج نشان داد در بین محصولات زراعی و باغی به‌ترتیب گندم و پسته بالاترین ردپای آب سبز را داشتند. از نظر ردپای آبی، ذرت، انار و انگور دارای کمترین ردپای آبی بودند. از نظر ردپای آب خاکستری، گندم و پسته به‌ترتیب بالاترین ردپای آب خاکستری را دارا بودند. از دیدگاه ردپای آب سفید نیز گندم و پسته بیشترین ردپای آب را داشتند. در مجموع ردپای آب، گندم از بین محصولات زراعی و پسته از محصولات باغی بالاترین ردپای آب را دارا بودند. از دیدگاه بهره‌وری اقتصادی از بین محصولات زراعی، جو و گندم کمترین بهره‌وری اقتصادی و ذرت خوشه‌ای بیشترین بهره‌وری اقتصادی را داشت. از محصولات باغی، موز با ۲۵۶۲/۶۴ هزار ریال بر متر مکعب بیشترین و پسته با ۲۹/۴ هزار ریال بر متر مکعب کمترین بهره‌وری اقتصادی را دارا بودند. مقادیر شاخص تأمین نسبی آب آبیاری بیشتر از یک به‌دست آمد که نشان می‌دهد تمامی محصولات بیش از اندازه آبیاری می‌شوند. بنابراین با توجه به بالا بودن ردپای آب در محصولات تولیدی استان بایستی اولویت کاشت محصولات در هر منطقه بر اساس ردپای آب مورد توجه قرار گیرد. همچنین جهت افزایش بهره‌وری آب آبیاری از روش‌های کم‌آبیاری استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، شاخص تأمین نسبی آبیاری، ردپای آب سفید.

مقدمه

طریق توسعه اراضی کشاورزی با محدودیت‌های جدی تأمین آب مواجه است. بنابراین اطلاع از نیاز آبی و مقدار واقعی آب مصرفی محصولات کشاورزی به‌منظور هرگونه برنامه‌ریزی در مدیریت پایدار منابع آب و رسیدن به تعادل آبی متناسب با منابع موجود، امری بدیهی است. میزان آب مصرفی پایه و ردپای آب هر محصول تحت تأثیر اقلیم منطقه، میزان تولیدات، الگوی مصرفی، عملیات کشاورزی و راندمان کاربرد آب متغیر است، لذا نیاز به شاخصی است که بتوان با آن نیاز واقعی هر محصول را مورد ارزیابی قرار داد. یکی از جدیدترین شاخص‌ها در بحث مدیریت پایدار منابع آب، شاخص ردپای آب^۱ می‌باشد که توسط هواکسترا در سال ۲۰۰۲ معرفی شد. ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین است که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف‌کننده یا تولیدکننده محصور نمی‌شود بلکه در این شاخص

آب به‌عنوان کالایی اقتصادی-اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نیاز روزافزون به آب در همه ابعاد زندگی بشر، باعث شده تا آب به‌عنوان کالایی نادر و کمیاب در دسترس جوامع قرار گیرد. اهمیت آب در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که منابع آب تجدیدپذیر محدودتری دارند، بیشتر نمود پیدا کرده و ضرورت مدیریت منابع آب با نگرشی جامع و دقیق را ایجاب می‌کند. محققان معتقدند که افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، تقاضای رو به رشد برای محصولات کشاورزی و تغییر اقلیم و همچنین تغییر شرایط اجتماعی-اقتصادی، تقاضا برای آب کشاورزی را در آینده افزایش داده و مخاطرات جدی برای امنیت غذایی آینده و توسعه پایدار محیط زیست فراهم نمود (Milly et al., 2005; Rosegrant et al., 2009). از طرفی افزایش تولیدات کشاورزی از

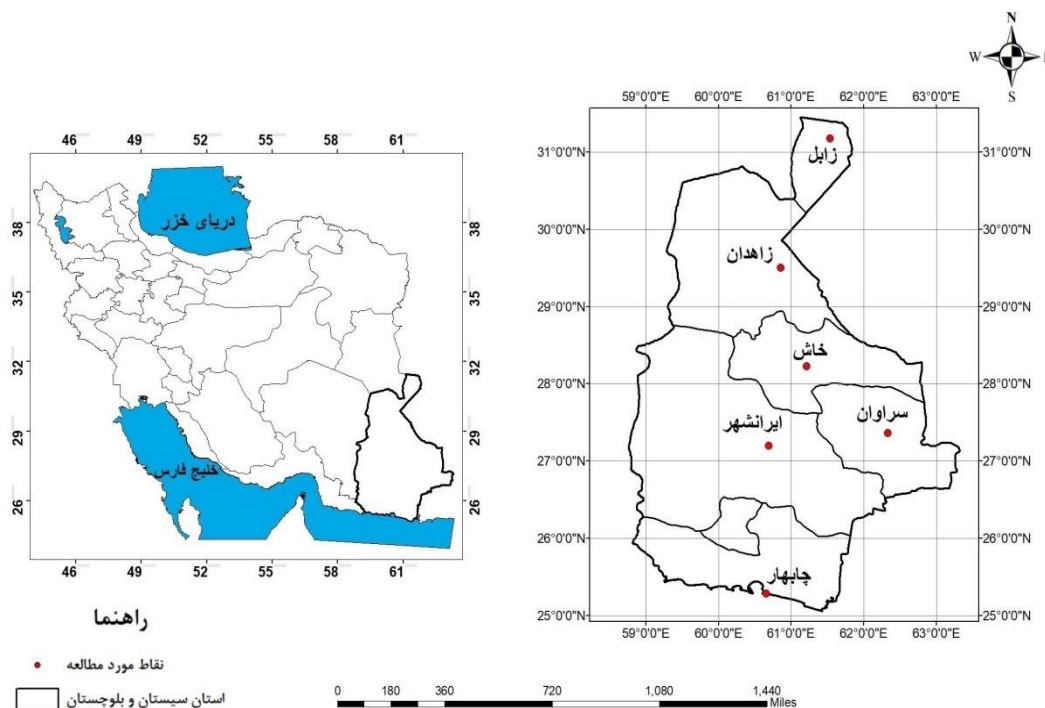
تا ۲۰۱۴ میلادی حدود ۲۰۵۳ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که سهم آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به ترتیب ۳۱، ۲۵، ۲ و ۴۲ درصد است. از مجموع ردپای آب در تولید محصولات اصلی منطقه، سهم آب خاکستری و سفید حدود ۴۴ درصد است. پایین بودن راندمان سیستم‌های آبیاری و مصرف زیاد کودهای ازته باعث افزایش سهم آب سفید و خاکستری در منطقه بود. همان‌گونه که تحقیقات نشان داد، بررسی اجزای مختلف ردپای آب و تعیین سهم هریک از اجزای آن در میزان تجارت آب مجازی در بخش کشاورزی، کمک شایانی به درک شرایط کنونی و بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به خصوص در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، می‌نماید. اما با وجود این که این شاخص برای ارزیابی ارتباط بین آب مورد استفاده و عملکرد محصول مناسب است، نمی‌تواند اطلاعاتی در مورد کمبود آب در مزرعه یا بیش‌آبیاری ارائه دهد. لذا در این تحقیق به منظور ارزیابی بهتر آب مصرفی در بخش کشاورزی، ضمن محاسبه ردپای آب محصولات زراعی غالب کشت شده در استان سیستان و بلوچستان به بررسی مدیریت آبیاری با استفاده از شاخص تأمین نسبی آب آبیاری پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، استان سیستان و بلوچستان با طول جغرافیایی شرقی ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی شمالی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۹ دقیقه واقع در جنوب شرق ایران می‌باشد. این استان با وسعتی معادل ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع پهناورترین استان کشور می‌باشد. این استان از دو ناحیه سیستان و بلوچستان تشکیل یافته است که از لحاظ طبیعی با یکدیگر کاملاً متفاوت هستند. ناحیه سیستان ۸۱۱۷ کیلومتر مربع، در قسمت شمالی این استان قرار دارد و حوزه مسطح و مسدودی است که از آبرفت‌های دلتای قدیمی و فعلی رود هیرمند تشکیل شده است. ناحیه بلوچستان به مساحت ۱۷۹۳۸۵ کیلومتر مربع منطقه وسیع کوهستانی است که حد شمالی آن کویر لوت و حد جنوبی آن دریای عمان است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. عمده فعالیت کشاورزی استان از لحاظ مقدار تولید و سطح زیرکشت، در شش شهرستان زابل، زاهدان، خاش، ایرانشهر، چابهار و سراوان می‌باشد. بنابراین اطلاعات مورد نیاز از جمله مقدار تولید، سطح زیر کشت محصولات، عملکرد و نیاز آبی از جهاد کشاورزی استان اخذ گردید.

استفاده غیرمستقیم از آب نیز در نظر گرفته می‌شود. ردپای آب قادر است ارتباط بین مصارف انسانی از آب شیرین و میزان استفاده از آب در ساخت نوع خاصی از کالا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد (Hoekstra et al., 2011). ردپای آب شامل سه مؤلفه می‌باشد. ردپای آب آبی و ردپای آب سبز که دربرگیرنده مصارف آب از منابع آب آبی و سبز می‌باشد و ردپای آب خاکستری (Van Oel et al., 2008). تاکنون مطالعات زیادی برای ارزیابی این شاخص در حوزه‌های مختلف انجام شده است. در ابتدا بیشتر مطالعات برای تخمین هر سه جزء ردپای آب (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) در مقیاس کل جهان صورت گرفت ولی سپس با توجه به اهمیت روز افزون مدیریت منابع آب در مقیاس کوچک‌تر، ارزیابی این شاخص به صورت محلی دارای اهمیت شد (Lovarelli et al., 2016). Zhuo and Hoekstra (2017) تأثیرات اقدامات مدیریت مختلف کشاورزی از جمله راندمان آبیاری، بهره‌وری مصرف آب و ردپای آب آبی و سبز را برای محصول گندم زمستانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کم‌آبیاری بیشترین تأثیر را در افزایش راندمان مصرف آب آبی داشته است، بدین ترتیب که راندمان آبیاری ۵ درصد افزایش و ردپای آب آبی ۳۸ درصد کاهش یافته است. (Aligholina et al., 2017). ردپای آب برای محصولات عمده حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را بررسی کردند. نتایج نشان داد بیشترین مقدار ردپای آب مربوط به گندم در ایستگاه مراغه بوده است که در آن ردپای آب آبی ۱۷۷۹/۷۷ مترمکعب بر تن، ردپای آب سبز ۷۲۹/۹۶ مترمکعب بر تن و ردپای آب واقعی ۲۱۵۰/۹۱ مترمکعب بر تن می‌باشد. (Hoekstra and Chapagain, 2007). ردپای آب دو کشور مراکش (اقلیم خشک و نیمه-خشک) و هلند (اقلیم مرطوب) را محاسبه نمودند. مطالعات آن‌ها نشان داد که هر دو کشور، بیشتر واردکننده آب مجازی هستند تا صادرکننده آن و این موضوع آن‌ها را به منابع آبی دیگر نقاط جهان وابسته می‌کند. مراکش ۱۴ درصد و هلند بیش از ۹۵ درصد به منابع آب خارجی وابسته هستند. (Pahlow et al., 2015). ارزیابی سهم اجزای مختلف ردپای آب در بخش کشاورزی افریقای جنوبی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ میلادی سالانه حدود ۱۰۸۶۷، ۵۳۲ و ۱۰۸۹ میلیون متر مکعب از این کشور به صورت آب سبز، آب آبی و آب خاکستری خارج می‌شود. این مقدار آب مجازی صادر شده، در حدود ۲۲ درصد رد پای آب بخش کشاورزی این کشور را تشکیل می‌دهد. (Ramezani Etedali et al., 2017). بحران آب در منطقه قزوین برای محصولات غالب منطقه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد مجموع ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی آبی و دیم منطقه برای سال‌های ۲۰۰۳



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

محاسبات ردپای آب

اجزای ردپای آب در این تحقیق شامل ردپای آب سبز^۱، ردپای آب آبی^۲، ردپای آب خاکستری^۳ و رد پای آب سفید^۴ می‌باشد. ردپای آب آبی، به حجم آب آبیاری مصرفی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) که جهت تولید محصول به گیاه داده می‌شود، اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی مؤثر مرتبط است و به حجم آبی اطلاق می‌شود که در مناطق غیراشباع خاک به صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود و گیاه از آن استفاده می‌کند. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای از بین بردن آلودگی‌های ایجاد شده ناشی از کشت گیاه و تولید محصول در محیط استفاده شده‌اند، مورد نیاز است. Ababai and Ramezani Etedali (2014) مفهوم آب سفید را ارائه دادند که در واقع حجم تلفات آب آبیاری را بیان می‌نماید. بنابراین ردپای آب کل^۵ به صورت رابطه (۱) بیان می‌گردد.

(رابطه ۱)

$$WF_t = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{gray} + WF_{white}$$

که در آن: WF_t : ردپای کل، WF_{green} : ردپای آب سبز، WF_{blue} : ردپای آب آبی، WF_{gray} : ردپای آب خاکستری و WF_{white} : ردپای آب سفید می‌باشد.

هر کدام از اجزای ردپای آب به شرح زیر محاسبه گردید:

ردپای آب سبز

مصرف آب در این دوره با توجه به محاسبه تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد که در نهایت به صورت عددی با واحد مترمکعب بر تن بیان می‌شود. ردپای آب سبز محصول از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن: WF_{green} ردپای آب سبز (متر مکعب بر تن)، Y عملکرد گیاه (تن در هکتار) و CWU_{green} مقدار مصرف آب سبز گیاه (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

مقدار مصرف آب سبز گیاه از مجموع تبخیر و تعرق روزانه در طی فصل رشد گیاه به دست می‌آید:

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^T ET_{green} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه (۳)، T طول دوره رشد گیاه (روز)، ET_{green} تبخیر و تعرق آب سبز (میلی‌متر در سال)، عدد ۱۰ تبخیر و تعرق را از میلی‌متر (ارتفاع) به حجم آب در سطح زمین (مترمکعب در هکتار) تبدیل می‌کند.

در این رابطه فرض شده است تنها وقتی آب سبز موجود در خاک برای استفاده گیاه کافی نباشد، گیاه از آب آبی موجود استفاده می‌کند (Yousefi et al., 2016). از این رو، تبخیر و تعرق سبز گیاه از روش ارائه شده توسط (Hoekstra et al., 2011) به دست می‌آید:

$$ET_{green} = \min(ET_c, P_e) \quad (\text{رابطه ۴})$$

4. White Water Footprint
5. Total Water Footprint

1. Green Water Footprint
2. Blue Water Footprint
3. Gray Water Footprint

ردپای آب سفید

Ababai and Ramezani Etedali (2014) جزء دیگری از مجموع ردپای آب را تشریح نمودند که تحت عنوان آب سفید نام‌گذاری شده است. این جزء، حجم تلفات آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) را مورد توجه قرار می‌دهد و به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$WF_{white} = \frac{10 \times (GI - CWU_{blue})}{Y} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در آن: GI نیاز ناخالص آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

شاخص تأمین نسبی آب آبیاری

شاخص تأمین نسبی آب آبیاری^۱ مفهومی است که به منظور ارزیابی مدیریت آبیاری استفاده می‌گردد و نشان‌دهنده وضعیت تأمین آب در مقابل نیاز آبی گیاه می‌باشد. این شاخص توسط مؤسسه بین‌المللی فناوری و پژوهش در آبیاری و زهکشی^۲ (IPTRID) معرفی گردید و در سال‌های اخیر به عنوان یک ابزار قدرتمند در ارزیابی مدیریت آبیاری در نقاط مختلف دنیا و در مناطق فاریاب و اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است (Aligholina et al., 2017). مقدار این شاخص از رابطه (۱۰) محاسبه گردید:

$$RIS = \frac{WAg}{10 \times (ET_c - P_e)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

که در آن: WAg حجم آب آبیاری است که برای تولید محصول در مزرعه مورد استفاده قرار گرفته است (مترمکعب در هکتار)، ET_c تبخیر و تعرق (میلی‌متر در سال)، P_e باران موثر (میلی‌متر در سال)، عدد ۱۰ برای تبدیل عمق آب از میلی‌متر (ارتفاع) به حجم آب در سطح زمین (مترمکعب در هکتار) به کار رفته است. در صورت تأمین آب مورد نیاز گیاه مقدار این شاخص برابر ۱ می‌باشد. مقادیر بیشتر از یک این شاخص نشان‌دهنده بیش‌آبیاری و مقادیر کمتر از یک آن نشان می‌دهد کم‌آبیاری اتفاق افتاده است.

بهره‌وری اقتصادی آب

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب^۳ بهترین شاخص برای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی یا سود خالص به ازای واحد آب مصرفی در هکتار می‌باشد که نه تنها میزان سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌نماید، بلکه اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشکی که با محدودیت شدید آب مواجه هستند، دارد. این شاخص می‌تواند منابع کمیاب آب را به کشتهایی اختصاص دهد که با کمترین واحد مصرف آب، بیشترین سود را نصیب بهره‌برداران نماید. به

که در آن: ET_c مقدار تبخیر و تعرق گیاه و P_e مقدار باران مؤثر می‌باشد.

ردپای آب آبی

ردپای آب آبی نیز به طور مشابه ردپای آب سبز محاسبه می‌شود و به صورت رابطه (۵) ارائه می‌گردد:

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^T ET_{blue} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_e) \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن: CWU_{blue} مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه (مترمکعب در هکتار) و ET_{blue} تبخیر و تعرق آب آبی (میلی‌متر در سال) می‌باشد.

ردپای آب خاکستری

یکی دیگر از اجزای ردپای آب در تولید محصول، حجم آب مورد نیاز برای رقیق سازی کودهای کشاورزی موجود در رواناب یا نفوذ عمقی است که به آن آب خاکستری گفته می‌شود (Hoekstra et al., 2011). در این پژوهش، ردپای آب خاکستری تنها برای کودهای نیتروژن به‌عنوان منبع آلودگی آب محاسبه شده است. بدین منظور تنها استفاده از کود از ته به عنوان منبع ایجاد آلودگی مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات مربوط به میانگین میزان کود از ته ۲۵ از جهاد کشاورزی استان گرفته شد. محاسبه بر اساس روش ارائه شده توسط (Chapagain et al., 2006) و (Hoekstra et al., 2011) می‌باشد. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا با توجه به پژوهش (Chapagain et al., 2006) حداکثر غلظت مجاز نیتروژن در منابع آب سطحی و زیرزمینی را ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر توصیه کرده است. این استاندارد از زمانی اتخاذ شد که آب‌های ناشی از فعالیت کشاورزی دوباره جمع‌آوری می‌شدند و بعد از انتقال به منابع اولیه خود، در مصارف شهری مورد استفاده قرار می‌گرفتند. لذا لازم بود تا غلظت این عامل کمتر از یک آستانه قرار گیرد. از آنجایی که هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد غلظت طبیعی نیتروژن در آب و محیط در دسترس نبود، مقدار آن در این مطالعه صفر در نظر گرفته شد (Mekonnen and Hoekstra, 2010).

$$WF_{gray} = \frac{\alpha \times NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن: α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR مقدار مصرف کود نیتروژن برای گیاه (کیلوگرم بر هکتار)، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار) و C_{Nat} غلظت نیتروژن در آب دریافت کننده است.

محاسبات با نرم افزار CROPWAT، Excel انجام شد.

منظور محاسبه بهره‌وری آب در تولید محصولات، اطلاعات هزینه و درآمد از آمارنامه سال ۱۳۹۷ جهاد کشاورزی به دست آمد. با محاسبه سود به دست آمده از هر هکتار محصول و تقسیم آن بر کل ردپای آب آن محصول، بهره‌وری آب محاسبه شد.

نتایج و بحث

ردپای آب

سطح زیر کشت، و عملکرد محصولات شهرستان‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است.

متوسط ردپای آب در چهار بخش آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید در جدول (۲) آورده شده است.

$$\text{NBPD} = \frac{\text{NB}}{\text{TWF}} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن: TWF کل حجم آب مصرف شده برای تولید محصول (مترمکعب در هکتار)، NB سودخالص (ریال) و NBPD بهره‌وری آب (ریال بر متر مکعب) است.

جدول ۱- اطلاعات محصولات و شهرستان‌های مورد مطالعه

| شهرستان | محصول | سطح زیر کشت (هکتار) | عملکرد (کیلوگرم در هکتار) | تبخیر و تعرق (میلی‌متر) | نیاز آبیاری (میلی‌متر) | باران موثر (میلی‌متر) |
|----------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| زابل | خریزه | ۳۰۰۰ | ۲۸۱۴۵/۵ | ۶۷۴/۹ | ۶۶۲/۹ | ۱۲ |
| | هندوانه | ۲۵۰۰ | ۲۹۱۸۶/۲ | ۷۸۵/۸ | ۷۷۱/۸ | ۱۴ |
| | گندم | ۴۲۰۰۰ | ۲۳۴۸۱/۴ | ۵۸۷/۲ | ۵۶۴/۲ | ۲۳ |
| | ذرت خوشه‌ای | ۱۰۰۰ | ۴۱۲۳۷/۳ | ۶۵۹/۳ | ۶۵۴/۳ | ۵ |
| زاهدان | گندم | ۶۵۰۰ | ۲۱۵۸/۶ | ۴۶۸/۳ | ۳۹۸/۳ | ۷۰ |
| | جو | ۲۴۰۰ | ۱۹۸۹/۳ | ۴۲۱/۴ | ۳۶۱/۴ | ۶۰ |
| | زردآلو | ۳۲۰ | ۱۰۵۴۳/۷ | ۷۶۹/۸ | ۷۱۹/۸ | ۵۰ |
| | پسته | ۴۱۰۰ | ۱۵۴۶/۵ | ۵۰۲/۷ | ۴۶۲/۷ | ۴۰ |
| خاش | زردآلو | ۶۱۵ | ۱۰۹۷۶/۵ | ۶۹۴/۹ | ۶۴۴/۹ | ۵۰ |
| | پسته | ۴۵۸۰ | ۱۲۴۵/۳ | ۴۸۹/۵ | ۴۴۹/۵ | ۴۰ |
| | انار | ۶۵۰ | ۱۳۴۶۷/۷ | ۶۵۳/۴ | ۶۱۱/۴ | ۴۲ |
| | انگور | ۶۸۰ | ۱۱۲۵۴/۶ | ۵۸۶/۵ | ۵۴۶/۵ | ۴۰ |
| سراوان | خرما | ۱۳۰۰۰ | ۴۸۶۴/۲ | ۶۹۲/۸ | ۶۰۷/۸ | ۸۵ |
| | انار | ۳۷ | ۹۸۴۶/۷ | ۷۰۱/۲ | ۶۶۶/۲ | ۳۵ |
| | انگور | ۳۸ | ۸۹۲۴/۷ | ۶۴۸/۱ | ۵۶۳/۱ | ۸۵ |
| | گندم | ۷۸۰۰ | ۲۳۱۴/۴ | ۵۱۴/۲ | ۴۳۹/۲ | ۷۵ |
| ایرانشهر | خرما | ۱۲۴۰۰ | ۴۱۲۶/۹ | ۶۲۷/۳ | ۵۵۷/۳ | ۷۰ |
| | گندم | ۶۵۰۰ | ۲۸۴۹/۵ | ۵۲۴/۲ | ۴۴۴/۲ | ۸۰ |
| | هندوانه | ۱۱۳۰۰ | ۳۱۱۵۶/۵ | ۷۶۴/۵ | ۷۵۴/۵ | ۱۰ |
| | ذرت خوشه‌ای | ۱۵۰۰ | ۴۳۲۷۵/۶ | ۶۸۹/۴ | ۶۸۰/۴ | ۹ |
| چابهار | گوجه‌فرنگی | ۳۲۰۰ | ۲۰۱۴۶/۴ | ۶۵۲/۳ | ۵۸۹/۳ | ۶۳ |
| | هندوانه | ۹۶۰۰ | ۳۱۲۴۶/۶ | ۶۲۸/۵ | ۵۵۶/۵ | ۷۲ |
| | گندم | ۲۷۰ | ۲۵۴۱/۷ | ۴۹۸/۶ | ۴۳۵/۶ | ۶۳ |
| | موز | ۷۵۰۰ | ۲۸۴۱۵/۵ | ۷۲۵/۶ | ۷۰۰/۶ | ۲۵ |

می‌توان به بیشتر بودن باران موثر در فصل کشت گندم نسبت داد. همچنین مشاهده می‌گردد در بین محصولات باغی و زراعی استان، گندم دارای بیشترین ردپای آب است. بالاتر بودن ردپای آب در گندم به علت بالاتر بودن ردپای آب سفید و آبی در این محصول می‌باشد. (Ababai and Ramezani Etedali (2014) نیز

همان‌گونه که از جدول (۲) مشاهده می‌گردد سهم آب سبز در تولید محصولات استان سیستان و بلوچستان بسیار پایین است که علت آن بارندگی‌های بسیار کم و خشکسالی‌های شدید در این استان کویری کشور می‌باشد. در محصولات زمستانه مانند گندم مقدار ردپای آب سبز بیشتر از سایر محصولات بود که علت آن را

متعلق به ذرت خوشه‌ای می‌باشد که به‌صورت عمده در دو شهرستان زابل و ایرانشهر (به ترتیب ۴۸۴ و ۴۸۵/۵۶ متر مکعب بر تن) کشت می‌گردد.

در تحقیق خود بالا بودن ردپای آب در گندم را به علت بالاتر بودن ردپای آب سفید در این محصول بیان کردند. کمترین ردپای آب در بین محصولات مورد مطالعه استان سیستان و بلوچستان

جدول ۲- مقادیر ردپای آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید محصولات در شهرستان‌های مورد مطالعه

| شهر | محصول | ردپای آب سبز | ردپای آب آبی | ردپای آب خاکستری | ردپای آب سفید | مجموع ردپای آب |
|----------|-------------|--------------|--------------|------------------|---------------|----------------|
| زابل | خریزه | ۱۰/۵ | ۲۳۵/۵۲ | ۲۱/۳۱ | ۳۵۳/۲۸ | ۶۲۰/۶۳ |
| | هندوانه | ۱۱/۳ | ۲۶۴/۴۴ | ۳۰/۸۳ | ۳۹۶/۶۶ | ۷۰۳/۲۳ |
| | گندم | ۲۵۸/۶ | ۲۴۰۲/۴۸ | ۵۹۶/۱۵ | ۳۶۰۳/۷۳ | ۶۸۶۰/۹۶ |
| | ذرت خوشه‌ای | ۱۰/۱ | ۱۵۸/۶۶ | ۷۷/۲۳ | ۲۳۸ | ۴۸۴ |
| زاهدان | گندم | ۳۵۶/۸ | ۱۸۴۵/۱۷ | ۶۴۸/۵۶ | ۲۷۶۷/۷۶ | ۵۶۱۸/۳۱ |
| | جو | ۳۲۱/۴ | ۱۸۱۶/۷۱ | ۸۵۴/۵۷ | ۲۷۲۵/۰۸ | ۵۷۱۷/۷۷ |
| | زردآلو | ۵۷/۸ | ۶۸۲/۶۸ | ۱۴/۲۲ | ۱۰۲۴/۰۲ | ۱۷۷۸/۷۳ |
| | پسته | ۲۶۱/۲ | ۲۹۹۱/۹۱ | ۲۳۹/۲۴ | ۴۴۸۷/۸۷ | ۷۹۸۰/۲۴ |
| خاش | زردآلو | ۴۸/۹ | ۵۸۷/۵۲ | ۱۳/۶۶ | ۸۸۱/۲۹ | ۱۵۳۱/۳۸ |
| | پسته | ۳۴۲/۶ | ۳۶۰۹/۵۷ | ۲۹۷/۱۱ | ۵۴۱۴/۳۵ | ۹۶۶۳/۴۷ |
| | انار | ۴۲/۳ | ۴۵۳/۹۷ | ۸/۹۱ | ۶۸۰/۹۶ | ۱۱۸۶/۱۴ |
| | انگور | ۴۵/۶ | ۴۸۵/۵۷ | ۱۰/۶۶ | ۷۲۸/۳۶ | ۱۲۷۰/۲۱ |
| سراوان | خرما | ۱۸۲/۳ | ۱۲۴۹/۵۳ | ۲۴/۶۷ | ۱۸۷۴/۳ | ۳۳۳۰/۸۱ |
| | انار | ۲۸/۶ | ۶۷/۶۵ | ۱/۲۱ | ۱۰۱/۴۸ | ۱۷۳۳/۳۷ |
| | انگور | ۲۷/۵ | ۶۳/۰۹ | ۱/۳۴ | ۹۴/۶۴ | ۱۶۱۸/۴۳ |
| | گندم | ۳۲۸/۹ | ۱۸۹۷/۶۸ | ۶۰۴/۹ | ۲۸۴۶/۵۲ | ۵۶۷۸/۰۱ |
| ایرانشهر | خرما | ۱۷۰/۵ | ۱۳۵۰/۴ | ۲۹/۰۷ | ۲۰۲۵/۶۱ | ۳۵۷۵/۵۹ |
| | گندم | ۲۸۷/۹ | ۱۵۵۸/۸۷ | ۴۹۱/۳۱ | ۲۳۳۸/۳ | ۴۶۷۶/۳۸ |
| | هندوانه | ۲۰/۴ | ۲۴۲/۱۶ | ۲۸/۸۸ | ۳۶۳/۲۴ | ۶۵۴/۶۹ |
| | ذرت خوشه‌ای | ۱۸/۹ | ۱۵۷/۲۲ | ۷۳/۵۹ | ۲۳۵/۸۳ | ۴۸۵/۵۶ |
| چابهار | گوجه‌فرنگی | ۴۵/۶ | ۲۹۲/۵ | ۲۳/۸۲ | ۴۳۸/۷۶ | ۸۰۰/۶۹ |
| | هندوانه | ۳۸/۴ | ۱۷۸/۰۹ | ۲۸/۸ | ۲۶۷/۱۴ | ۵۱۲/۴۵ |
| | گندم | ۳۰۰/۴ | ۱۷۱۳/۸۱ | ۵۵۰/۸۱ | ۲۵۷۰/۷۲ | ۵۱۳۵/۷۴ |
| | موز | ۲۴/۹ | ۲۴۶/۵۵ | ۸/۴۴ | ۳۶۹/۸۳ | ۶۴۹/۷۳ |

دارد. گندم با ۳۶۰۳/۷۳ مترمکعب بر تن بیشترین مقدار ردپای آب سفید را دارا بود. در شهرستان زابل در فصل کشت گندم، جهاد کشاورزی و اداره آب منطقه‌ای سهمی از آب ذخیره شده در چاه‌نیمه‌ها را به کشاورزی اختصاص می‌دهند و آب در کانال-های آبرسانی رها می‌شود. این رهاسازی بدون اعمال مدیریت صحیح باعث می‌گردد کشاورزان به هر میزان که تمایل داشته باشند اراضی خود را آبیاری نمایند و این عمل باعث بالا رفتن ردپای آب سفید در تولید گندم می‌شود. ذرت خوشه‌ای با ۲۳۸ مترمکعب بر تن کمترین ردپای آب سفید را داشت. کاهش آب در فصل کشت این محصول و مقاوم بودن این گیاه به شرایط

با توجه به جدول (۲) در شهرستان زابل، بیشترین ردپای آب (۶۸۶۰/۹۶ مترمکعب بر تن) مربوط به گیاه گندم می‌باشد و ذرت خوشه‌ای با ۴۸۴ مترمکعب بر تن کمترین ردپای آب را دارا بود. هندوانه با ۷۰۳/۲۳ و خربزه با ۶۲۰/۶۳ مترمکعب بر تن بعد از گندم در رتبه‌ای دوم و سوم قرار گرفتند. علت بالاتر بودن ردپای آب در محصول گندم نسبت به سایر محصولات شهرستان زابل، پایین بودن عملکرد در واحد سطح این محصول نسبت به سایر محصولات می‌باشد. (Arabi et al. (2012 و Aligholina et al. (2017) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابه دست یافتند و بیان داشتند از بین محصولات زراعی غلات بیشترین مصرف آب را

با توجه به جدول (۲) در شهرستان سراوان از بین محصولات باغی، خرما بیشترین ردپای آب (۳۳۳۰/۸۱) مترمکعب بر تن) را دارد. البته در این شهرستان گندم نیز کشت می‌شود که ردپای آب (۵۶۷۸/۰۱) مترمکعب بر تن) در آن بالاتر از سایر محصولات می‌باشد. بالا بودن ردپای آب در محصول خرما به علت بالاتر بودن ردپای آب آبی و سفید است. ردپای آب سبز در خرما نسبت به انار و انگور تفاوت زیادی دارد که علت آن عملکرد پایین خرما در واحد سطح می‌باشد. کمترین ردپای آب خاکستری (۱/۲۱) مترمکعب بر تن) برای محصول انار است. ردپای آب خاکستری برای انگور نیز کم و تقریباً نزدیک به انار (۱/۳۴) مترمکعب بر تن) می‌باشد. سایر اجزای ردپای آب نیز برای دو محصول انار و انگور نزدیک به یکدیگر است که نشان‌دهنده‌ی اعمال مدیریت یکسان در تولید این دو محصول است. گندم با ۶۰۴/۹ مترمکعب بر تن بیشترین ردپای خاکستری را دارا بود.

در بین محصولات زراعی ایران‌شهر، گندم با ۴۶۷۶/۳۸ مترمکعب بر تن بیشترین ردپای آب را دارا می‌باشد. تمام اجزای ردپای آب در این محصول نسبت به سایر محصولات زراعی بالاتر است. ردپای آب خاکستری نیز در این محصول ۴۹۱/۳۱ مترمکعب بر تن بوده که با توجه به سطح زیاد زیر کشت این محصول در منطقه، باعث آلودگی زیاد منابع آب خواهد شد. همچنین ردپای آب سفید برای گندم ۲۳۳۸/۳ مترمکعب بر تن است که نشان‌دهنده ضعف مدیریت آب در کشت این محصول می‌باشد. عمده محصول باغی این منطقه درخت خرما است که بعد از گندم بالاترین ردپای آب (۳۷۷۵/۵۹) مترمکعب بر تن) را دارد. همچنین هندوانه و خرما به ترتیب با ۲۸/۸۸ و ۲۹/۰۷ مترمکعب بر تن کمترین ردپای آب خاکستری را دارا بودند.

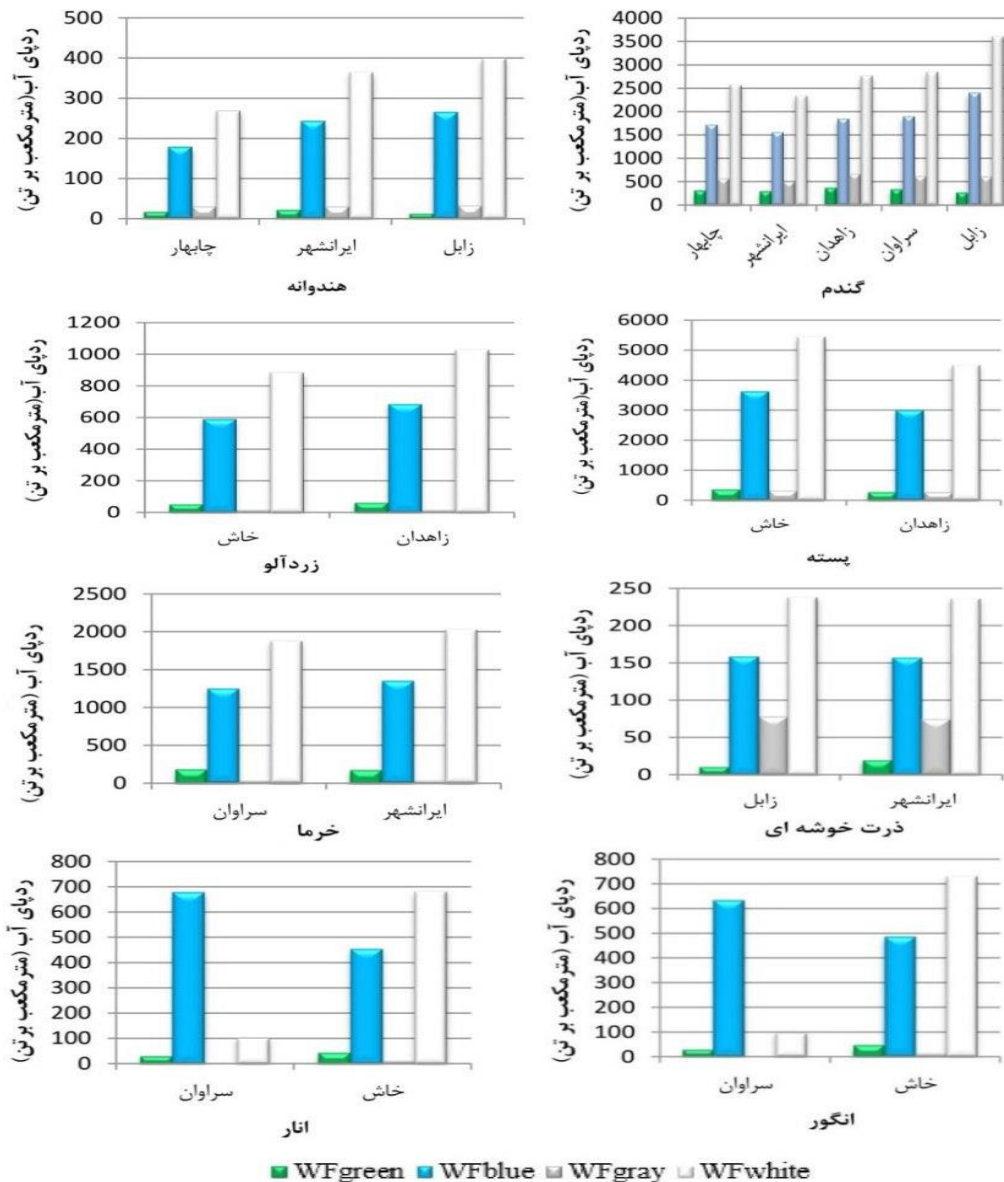
با توجه به جدول (۲) در شهرستان چابهار بیشترین ردپای آب متعلق به گندم است. در این شهرستان نیز تمام اجزای ردپای آب گندم از سایر محصولات بیشتر بود. هندوانه با ۵۱۲/۴۵ مترمکعب بر تن کمترین ردپای آب را دارد و بعد از آن موز و گوجه‌فرنگی در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. همچنین موز کمترین ردپای آب خاکستری (۸/۴۴) مترمکعب بر تن) را دارا است. گوجه‌فرنگی و هندوانه نیز مقادیر تقریباً مشابهی از نظر ردپای آب خاکستری دارند. بنابراین با توجه به پایین بودن ردپای آب در هندوانه نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه شهرستان چابهار، کشت این محصول در چابهار توصیه می‌گردد.

در این قسمت به منظور مقایسه محصولات مشترک شهرستان‌ها و این که کشت محصول در کدام شهرستان بهتر است، نمودار ردپای آب برای محصولات مشترک رسم گردید (شکل ۲).

کم‌آبی می‌تواند علت پایین بودن ردپای آب سفید در این محصول باشد. ردپای آب خاکستری (۵۹۶/۱۵) مترمکعب بر تن) نیز در محصول گندم بالاتر از سایر محصولات بود که علت آن نیز بیشتر بودن آب در فصل کشت این گیاه و تمایل زیاد کشاورزان به استفاده از کود جهت رشد و محصول بیشتر می‌باشد. کاهش مصرف کود در تولید خربزه و هندوانه و ارقام کشت‌شده که بومی منطقه سیستان می‌باشد، باعث کاهش ردپای خاکستری در این دو محصول نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه در منطقه شد. در واقع می‌توان گفت تولید این محصولات در منطقه زابل ارگانیک می‌باشد.

با توجه به جدول (۲) در شهرستان زاهدان از بین محصولات زراعی گندم و جو، بیشترین ردپای آب مربوط به گیاه جو (۵۷۱۷/۷۷) مترمکعب بر تن) بود. ردپای آب سبز، آبی و سفید در محصول گندم بیشتر از جو بود. اختلاف زیاد بین مجموع ردپاهای ناشی از ردپای خاکستری بود که مقدار آن در محصول جو بیشتر از محصول گندم بود و نشان از بالاتر بودن سهم جو در ایجاد آلودگی آب‌های منطقه می‌باشد. (Yousefi et al. 2016) در تحقیقی مشابه علت بالاتر بودن ردپای آب جو نسبت به گندم در شهرستان ورامین را بالاتر بودن ردپای آب خاکستری و مصرف بیشتر کود در این محصول بیان نمودند. بین محصولات باغی زردآلو و پسته، پسته با ۷۹۸۰/۲۴ مترمکعب بر تن، بالاترین ردپای آب را دارا بود. بالا بودن ردپای آب آبی و سفید در پسته باعث اختلاف زیاد ردپای آب این محصول باغی با زردآلو شده است. همچنین ردپای آب خاکستری (۱۴/۲۲) مترمکعب بر تن) در زردآلو نسبت به پسته خیلی کمتر می‌باشد که نشان‌دهنده ایجاد آلودگی کمتر زردآلو در اثر مصرف کود کمتر است. نتایج با (Yousefi et al. 2016) مطابقت داشت.

در شهرستان خاش به دلیل کوهستانی بودن منطقه، محصولات باغی بیشتر کشت می‌شوند که در بین محصولات باغی مورد مطالعه پسته با ۹۶۶۳/۴۷ مترمکعب بر تن بیشترین ردپای آب را دارد. در این شهرستان نیز مانند زاهدان بالا بودن ردپای آب پسته به علت بالاتر بودن ردپای آب آبی و سفید است. انار با ۱۱۸۶/۱۴ تن بر متر مکعب کمترین ردپای آب را داشت. از نظر ردپای آب سبز، زردآلو، انار و انگور تقریباً یکسان هستند. بالاتر بودن ردپای آب سبز در پسته نسبت به سایر محصولات را می‌توان به علت پایین بودن عملکرد در واحد سطح این محصول بیان نمود. سایر محصولات عملکرد بالاتری در واحد سطح دارند. ردپای آب خاکستری (۸/۹۱) مترمکعب بر تن) نیز در محصول انار از سایر محصولات باغی کمتر است.



شکل ۲- مقایسه رد پای آب محصولات مشترک شهرستان‌ها

گفت با توجه به بالاتر بودن ردپای آب سبز و کمتر بودن سایر اجزای ردپای آب و عملکرد بالاتر این محصول در زاهدان نسبت به خاش، کشت این محصول در زاهدان در اولویت اول می‌باشد. در مورد تولید زردآلو در استان می‌توان گفت شهرستان خاش نسبت به زاهدان با توجه به پایین‌تر بودن ردپای آب و تولید بیشتر محصول مناسب‌تر می‌باشد. درباره تولید ذرت خوشه‌ای می‌توان گفت ردپای آب در شهرستان‌های زابل و ایرانشهر تقریباً یکسان است ولی با توجه به این‌که ردپای آب سبز در ایرانشهر بیشتر و ردپای آب خاکستری در آن کمتر می‌باشد، کشت ذرت خوشه‌ای در این شهرستان نسبت به زابل در اولویت قرار می‌گیرد. در تولید خرما با توجه به پایین‌تر بودن ردپای آب در تمام اجزاء و عملکرد بهتر این محصول کشت آن در سراوان نسبت به ایرانشهر برتری دارد. انار و انگور نیز به دلیل پایین‌تر بودن ردپای آب و عملکرد

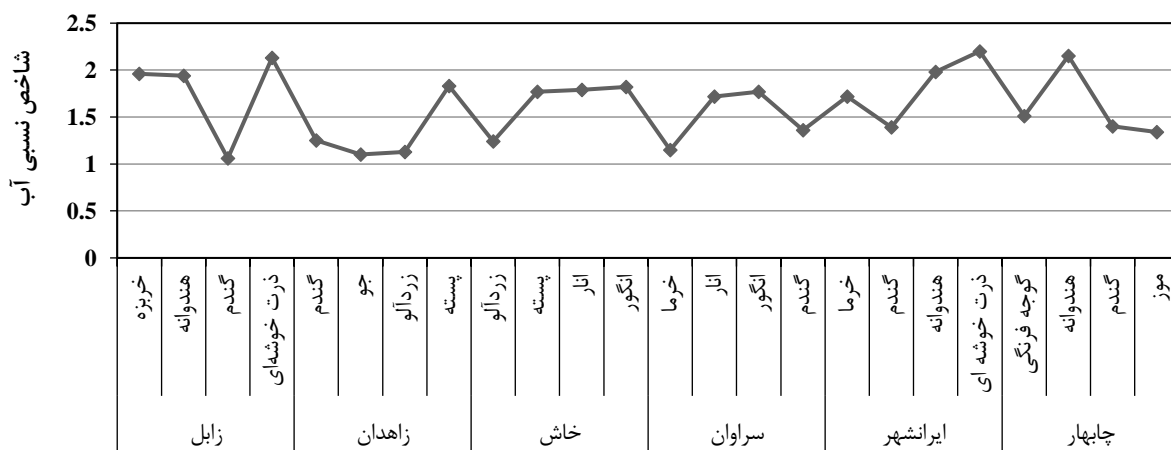
با توجه به شکل (۲)، تمام اجزای ردپای آب در تولید گندم در شهرستان ایرانشهر کمتر از سایر شهرستان‌ها می‌باشد. همچنین عملکرد گندم در این شهرستان نیز بالاتر از سایر شهرستان‌ها است. لذا کشت گندم در این منطقه مناسب‌تر می‌باشد. برای تولید هندوانه با توجه به عملکرد بالاتر و ردپای آب کمتر در شهرستان چابهار کشت این محصول در چابهار توصیه می‌گردد. همچنین در چابهار ردپای آب سبز در هندوانه بیشتر از سایر شهرستان‌ها است. نکته قابل توجه این است که هندوانه در چابهار در خارج از فصل کشت و برداشت می‌شود. هندوانه در چابهار از اواخر آبان کشت و در اوایل اسفند برداشت می‌شود. تولید هندوانه‌های خارج از فصل در چابهار موجب اشتغال و افزایش درآمد برای کشاورزان و صادرات آن به سایر نقاط کشور و حتی خارج از کشور شده است. در مورد محصول پسته می‌توان

بهتر در خاش نسبت به سراوان ارجحیت دارند.

ارزیابی شاخص تأمین نسبی آب آبیاری

شاخص ردپای آب، روش مناسبی برای ارزیابی ارتباط بین آب مورد استفاده و عملکرد محصول می‌باشد. اما این شاخص نمی‌تواند اطلاعاتی در مورد مدیریت آبیاری، کمبود آبیاری، بیش-آبیاری و یا آب مورد نیاز محصول در حین فرآیند رشد را در اختیار بگذارد (Aligholina et al., 2017). بنابراین به‌منظور

ارزیابی هرچه بهتر وضعیت آبیاری و آب مصرفی در بخش کشاورزی، از شاخص تأمین نسبی آب آبیاری برای تمامی محصولات مورد مطالعه استفاده شد. مقادیر این شاخص برای محصولات مختلف استان در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای تمامی محصولات، مقادیر شاخص نسبی آبیاری در همه ایستگاه‌ها بیشتر از یک بود که نشان می‌دهد، آبیاری بیش از اندازه در این مزارع انجام شده است.



شکل ۳- شاخص نسبی آب

آب در محصولات مختلف از داده‌های سال ۱۳۹۷ جهاد کشاورزی استفاده شد. نتایج در جدول (۳) آمده است. همان‌طور که از جدول (۳) مشاهده می‌گردد، ذرت خوشه-ای با ۶۷۳/۸۳ هزار ریال بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب را دارد و گندم نیز با ۱/۳۶ هزارریال کمترین بهره‌وری اقتصادی را دارد. همچنین خربزه و هندوانه به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. در زاهدان زردآلو با ۳۸۱/۴۴ هزار ریال به ازای هر مترمکعب آب بیشترین بهره‌وری آب را داشته و جو با ۰/۸۵ هزار ریال به ازای هر متر مکعب کمترین بهره‌وری را دارد. در خاش نیز زردآلو با ۴۶۸/۹۳ هزار ریال به ازای هر مترمکعب آب بیشترین بهره‌وری آب را داشت. انار با ۴۲۴/۲۸ هزارریال به ازای هر مترمکعب، بهره‌وری نزدیکی به زردآلو داشت. پسته با ۲۹/۴ هزارریال به ازای هر مترمکعب کمترین بهره‌وری اقتصادی را داشت. در شهرستان سراوان انگور با ۲۱۳/۹۳ هزارریال به ازای هر مترمکعب بیشترین بهره‌وری اقتصادی را داشت. انار نیز با ۲۰۸/۸۵ هزارریال به ازای هر مترمکعب بهره‌وری نزدیکی به انگور داشت. در شهرستان ایرانشهر ذرت خوشه‌ای با ۷۰۳/۲۷ هزارریال به ازای هر مترمکعب بیشترین بهره‌وری را داشت و گندم با ۲/۵۹ هزارریال به ازای هر مترمکعب کمترین بهره‌وری را دارا بود. در

با توجه به شکل (۳) کمترین مقدار شاخص نسبی آبیاری برای گیاهان زراعی گندم و جو می‌باشد که این به دلیل تأمین بیشتر آب ناشی از بارندگی و بالاتر بودن ردپای آب سبز در این دو محصول بوده است. تفاوت مقادیر شاخص نسبی آبیاری نشان-دهنده‌ی اختلاف در میزان بارندگی و مدیریت آبیاری می‌باشد. بیشترین مقدار این شاخص (۲/۲) متعلق به ذرت خوشه‌ای در شهرستان ایرانشهر است. (Aligholina et al. (2017) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که شاخص نسبی آبیاری برای گیاه گندم و جو نسبت به یونجه، گوجه‌فرنگی، ذرت و چغندرقلند کمتر است. در بین محصولات باغی خرما و زردآلو دارای مقادیر کمتر شاخص نسبی آبیاری هستند. مقایسه ردپای آب با شاخص نسبی آبیاری نشان داد محصولاتی که دارای ردپای آب بیشتری هستند، مقادیر شاخص نسبی آبیاری کمتری دارند. به‌عنوان نمونه گندم و جو با دارا بودن بالاترین ردپای آب، کمترین مقدار شاخص نسبی آبیاری را دارند. در تمامی شهرستان‌ها محصولات با ردپای آب بالا مقادیر شاخص نسبی آبیاری پایین‌تری داشتند. (Morillo et al. (2015) زمان کشت محصول و راندمان آبیاری را به‌عنوان عوامل اصلی در تفاوت شاخص نسبی آبیاری بیان نمودند.

بهره‌وری اقتصادی آب، NBPJ: جهت تعیین بهره‌وری

جو و گندم کمترین بهره‌وری اقتصادی آب را داشتند و ذرت خوشه‌ای بیشترین بهره‌وری را داشت. در بین محصولات باغی زردآلو و انگور بیشترین مقدار بهره‌وری را دارا بودند.

شهرستان چابهار موز با ۲۵۶۲/۴ هزارریال به ازای هر مترمکعب بیشترین بهره‌وری را داشت. هندوانه، گوجه‌فرنگی و گندم به ترتیب در رتبه‌های دوم تا سوم قرار گرفتند. همان‌طور که مشاهده شد در کل استان سیستان و بلوچستان در بین محصولات زراعی

جدول ۳- متوسط هزینه تولید، درآمد و بهره‌وری اقتصادی آب محصولات مختلف

| شهر | محصول | هزینه تولید (ریال) | متوسط عملکرد (کیلوگرم در هکتار) | متوسط درآمد (ریال) | سودخالص (ریال) | بهره‌وری اقتصادی آب (هزار ریال بر مترمکعب) |
|----------|-------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|----------------|--|
| زابل | خربزه | ۱۳۴۰۰۰۰۰ | ۲۸۱۴۵/۵ | ۴۷۸۴۷۳۵۰۰ | ۳۴۴۴۷۳۵۰۰ | ۵۵۵/۰۳ |
| | هندوانه | ۱۲۷۰۰۰۰۰۰ | ۲۹۱۸۶/۲ | ۳۵۰۲۳۴۴۰۰ | ۲۲۳۲۳۴۴۰۰ | ۳۱۷/۴۴ |
| | گندم | ۳۲۰۰۰۰۰۰ | ۲۳۴۸/۴ | ۴۱۳۳۱۸۴۰ | ۹۳۳۱۸۴۰ | ۱/۳۶ |
| | ذرت خوشه‌ای | ۴۵۰۰۰۰۰۰ | ۴۱۲۳۷/۳ | ۳۷۱۱۳۵۷۰۰ | ۳۲۶۱۳۵۷۰۰ | ۶۷۳/۸۳ |
| زاهدان | گندم | ۳۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۱۵۸/۶ | ۳۷۹۹۱۶۰۰ | ۷۹۹۱۶۰۰ | ۱/۴۲ |
| | جو | ۲۱۰۰۰۰۰۰ | ۱۹۸۹/۳ | ۲۵۸۶۰۹۰۰ | ۴۸۶۰۹۰۰ | ۰/۸۵ |
| | زردآلو | ۱۶۵۰۰۰۰۰۰ | ۱۰۵۴۳/۷ | ۸۴۳۴۹۶۰۰۰ | ۶۷۸۴۹۶۰۰۰ | ۳۸۱/۴۴ |
| | پسته | ۲۳۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۵۴۶/۵ | ۶۱۸۶۰۰۰۰۰ | ۵۹۵۶۰۰۰۰۰ | ۷۴/۶۳ |
| خاش | زردآلو | ۱۶۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۰۹۷۶/۵ | ۸۷۸۱۲۰۰۰۰ | ۷۱۸۱۲۰۰۰۰ | ۴۶۸/۹۳ |
| | پسته | ۲۱۴۰۰۰۰۰۰ | ۱۲۴۵/۳ | ۴۹۸۱۲۰۰۰۰ | ۲۸۴۱۲۰۰۰۰ | ۲۹/۴ |
| | انار | ۱۷۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۳۴۶۷/۷ | ۶۷۳۳۸۵۰۰۰ | ۵۰۳۳۸۵۰۰۰ | ۴۲۴/۳۸ |
| | انگور | ۱۲۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۱۱۲۵۴/۶ | ۵۶۲۷۳۰۰۰۰ | ۴۴۲۷۳۰۰۰۰ | ۳۴۸/۵۴ |
| سراوان | خرما | ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۴۸۶۴/۲ | ۳۸۹۱۳۶۰۰۰ | ۲۸۹۱۳۶۰۰۰ | ۸۶/۸ |
| | انار | ۱۵۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۹۸۴۶/۷ | ۵۱۲۰۲۸۴۰۰ | ۳۶۲۰۲۸۴۰۰ | ۲۰۸/۸۵ |
| | انگور | ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۸۹۲۴/۷ | ۴۴۶۲۳۵۰۰۰ | ۳۴۶۲۳۵۰۰۰ | ۲۱۳/۹۳ |
| | گندم | ۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۳۱۴/۴ | ۴۰۷۳۳۴۴۰۰ | ۱۰۷۳۳۴۴۰۰ | ۱/۸۹ |
| ایرانشهر | خرما | ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۴۱۲۶/۹ | ۳۳۰۱۵۲۰۰۰ | ۲۳۰۱۵۲۰۰۰ | ۶۴/۳۶ |
| | گندم | ۳۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۸۴۹/۵ | ۵۰۱۵۱۲۰۰ | ۱۲۱۵۱۲۰۰ | ۲/۵۹ |
| | هندوانه | ۱۳۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۳۱۱۵۶/۵ | ۳۷۳۸۷۸۰۰۰ | ۲۴۳۸۷۸۰۰۰ | ۳۷۲/۵ |
| | ذرت خوشه‌ای | ۴۸۰۰۰۰۰۰۰ | ۴۳۲۷۵/۶ | ۳۸۹۴۸۰۴۰۰ | ۳۴۱۴۸۰۴۰۰ | ۷۰۳/۲۷ |
| چابهار | گوجه‌فرنگی | ۱۲۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۰۱۴۶/۴ | ۳۶۲۶۳۵۲۰۰ | ۲۴۲۶۳۵۲۰۰ | ۳۰۳/۰۳ |
| | هندوانه | ۱۳۶۰۰۰۰۰۰۰ | ۳۱۲۴۶/۶ | ۳۴۲۴۸۸۸۰۰ | ۲۰۶۴۸۸۸۰۰ | ۴۰۲/۹ |
| | گندم | ۳۳۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۵۴۱/۷ | ۴۴۷۳۳۹۲۰ | ۱۱۷۳۳۹۲۰ | ۲/۲۸ |
| | موز | ۴۰۰۰۰۰۰۰۰ | ۲۸۴۱۵/۵ | ۱۷۰۴۹۳۰۰۰۰ | ۱۶۶۴۹۳۰۰۰۰ | ۲۵۶۲/۴ |

نتیجه‌گیری

پرداخته شد. نتایج نشان داد در بین محصولات زراعی گندم و در بین محصولات باغی پسته بالاترین ردپای آب سبز را داشتند. پایین بودن مقادیر ردپای آب سبز به دلیل ناکافی بودن بارش و باران مؤثر در این استان می‌باشد. از نظر ردپای آب آبی ذرت خوشه‌ای، انار و انگور کمترین ردپای آب آبی را داشتند. ردپای آب خاکستری نشان‌دهنده آلودگی ایجاد شده توسط محصول می‌باشد. از این نظر گندم بالاترین ردپای آب خاکستری را دارا بود و از بین محصولات باغی پسته بالاترین ردپای آب خاکستری را داشت. همچنین در این تحقیق مفهوم دیگری از ردپای آب با

مفهوم ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی به مدیریت و مکان‌یابی مناسب مصرف آب کشاورزی کمک فراوانی می‌کند. همچنین آگاهی از مقدار دقیق کل آب مصرفی و بهره‌وری آب مصرفی در جهت مدیریت منابع آب با توجه به بحران‌های آبی اخیر می‌تواند در جهت دستیابی به معیشت پایدار برای کشاورز و سیاستگذاران مفید باشد. در این تحقیق به بهره‌وری اقتصادی محصولات عمده استان سیستان و بلوچستان با رویکرد ردپای آب

همچنین با مدیریت صحیح تولید، راندمان آبیاری، مدیریت صحیح مصرف آب در بخش کشاورزی، کم‌آبایی و افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌توان اثر تغییرات فاکتورهای اقلیمی و کاهش بارندگی در استان را جبران نمود.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. کد پژوهانه: UOZ-GR-9618-58

نام ردپای آب سفید مورد بررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده‌ی میزان تلفات آب کشاورزی می‌باشد. از نظر ردپای آب سفید نیز گندم و پسته بیشترین ردپای آب را داشتند. از نظر بهره‌وری اقتصادی در بین محصولات زراعی، جو و گندم کمترین بهره‌وری اقتصادی و ذرت خوشه‌ای بیشترین بهره‌وری اقتصادی را دارا بودند. از محصولات باغی موز بیشترین و پسته کمترین بهره‌وری اقتصادی را داشتند. لذا با توجه به کمبود آب در استان سیستان و بلوچستان لزوم توجه به افزایش راندمان آب امری ضروری است.

REFERENCES

- Ababai, B., and Ramezani Etedali, H. (2014). *Estimation of Water Footprint Components in Wheat Production in Iran*. Water and Soil, 29(6), 1458-1468 (In Farsi)
- Aligholina, T., Rezaei, H., Bahmanesh, J., and Montasseri, J. (2017). Study of water footprint index for dominant crops in Lake Urmia catchment and its relationship with irrigation management. *Soil Science*, 27(4), 48-37. (In Farsi)
- Arabi, A., Alizadeh, A., Vahab Rajaei, Y., Kazem, J., and Naser, N. (2012). Agricultural Water availability in a changing climate, *Nature*, 438(7066), 347-350.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, London, UK, 203p.
- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2007). Water footprint of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, 21(1), 35-48.
- Lovarelli, D., Bacenetti, J. and Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, 548, 236-251.
- Mekonnen M.M., and Hoekstra A.Y. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1259-1276.
- Milly, P. C. D., Dunne K. A. and Vecchia A. V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate, *Nature*, 438(7066): 347-350.
- Morillo JG, Díaz JAR, Camacho E and Montesinos, P. (2015). Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops. *Cleaner Production* 87, 594-602.
- Pahlow M., Snowball J. and Fraser G. (2015). Water footprint assessment to inform water management and policy making in South Africa. *Water SA*, 41(3), 301-305.
- Ramezani Etedali, H., Shokouhi, A., and Mojtaba, A. (2017). Using the concept of virtual water footprint in producing basic products for crossing Qazvin water crisis. *Water and Soil*, 31(2), 433-422. (In Farsi)
- Rosegrant M. W., Ringler C. and Zhu T. (2009). Water for agriculture: Maintaining food security under growing scarcity, *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1): 205-222.
- Van oel, P.R., Mekonnen, M.M and Hoekstra, A.A. (2008). The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment. Value of Water Research Report Series No. 33, *UNESCOIHE, Delft, the Netherlands*.
- Yousefi, H., Mohammadi, A., Nourollahi, Y. and Sadatinejad, J. (2016). *Evaluation of water footprint index of Tehran province crops*. *Soil Conservation*, 24 (6), 85-67. (In Farsi)
- Zhuo, L. and Hoekstra, A.Y. (2017). The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 4, 185-194.