

## Water Use Assessment of Date in Sistan and Balouchestan Province Based on the Concept of Virtual Water

MEHRAN HEKMATNIA<sup>\*1</sup>, SEYED MAHDI HOSSEINI<sup>1</sup>, MAHDI SAFDARI<sup>1</sup>

1. Universiti of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

(Received: Oct. 2, 2019- Revised: Oct. 29, 2019- Accepted: Nov. 12, 2019)

### ABSTRACT

Date is one of the most important horticultural products in Iran, which plays an important role in added value of the agriculture, economy and food security. Water resources restriction is one of the main challenges of date product in different areas. Thus, consumption management and optimal use of water resources for production is essential. A practical approach to water resources management is estimation of crop water requirements and determination of water volume consumed in the process of crop production. Virtual water is a measure to estimate actual water use by different crops. Therefore in this research, date water requirement was firstly estimated by CROPWAT in Sistan and Baluchestan Province. Afterward, the volume of virtual water, water footprint, blue and Green water were calculated for growing seasons of 2011-2017. The results showed that the average date water requirement is  $21976.52 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  in this province. However, the amount of applied water was measured to be  $46659.58 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . This indicates a low water productivity for date production in this province, as the water productivity of date was calculated to be  $0.29 \text{ kg/m}^3$ . The average application of water for date production was estimated to be 399.67 million Cubic meters. Iranshahr, Saravan, Sarbaz and Nikshahr had the highest exploitation of water resources. The average virtual water for date production was found to be  $3.82 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ . The results of estimated footprint showed that this province has a low potential for using rainwater to irrigate date palm.

**Keywords:** Blue Water, Green Water, Water Use Efficiency, Water Footprint.

## ارزیابی مصرف آب خرما در استان سیستان و بلوچستان با تکیه بر مفهوم آب مجازی

مهران حکمت نیا<sup>\*</sup>، سید مهدی حسینی<sup>۱</sup>، مهدی صفدری<sup>۱</sup>

۱. دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۸/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۸/۲۱)

### چکیده

خرما یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران است که نقش به‌سزایی در ارزش افزوده بخش کشاورزی، اقتصاد و امنیت غذایی دارد. محدودیت منابع آب از اصلی‌ترین چالش‌های تولید این محصول در مناطق مختلف است؛ لذا مدیریت مصرف و استفاده بهینه از منابع آب در تولید امری ضروری است. یکی از راهکارهای عملی مدیریت منابع آب، برآورد نیاز آبی گیاه و تعیین مقدار حجم آب مصرفی در مراحل مختلف تولید محصول است. به منظور محاسبه میزان حجم آب مصرف‌شده توسط محصولات کشاورزی در مراحل رشد، از شاخص آب مجازی استفاده می‌شود. لذا در این تحقیق ابتدا نیاز آبی خرما در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل CROPWAT به‌دست آمد. سپس حجم آب مجازی، رد پای آب، مصرف آب آبی و مصرف آب سبز برای سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ محاسبه شد. نتایج نشان داد متوسط نیاز آبی خرما در این استان ۲۱۹۷۶/۵۲ مترمکعب بر هکتار است در صورتی که متوسط آب مصرف‌شده برای تولید این محصول ۴۶۶۵۹/۵۸ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری شد که نشان از بهره‌وری پایین مصرف آب به‌منظور تولید خرما در این استان دارد. به‌طوری که بهره‌وری آب خرما ۰/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. متوسط برداشت سالانه از منابع آب برای تولید خرما ۳۹۹/۶۷ میلیون مترمکعب برآورد شد. ایرانشهر، سراوان، سرباز و نیک‌شهر بیشترین میزان برداشت از منابع آب را داشتند. میانگین آب مجازی خرما ۳/۸۲ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. نتایج تخمین رد پای آب نشان داد این استان پتانسیل پایینی در استفاده از آب باران جهت آبیاری محصول خرما دارد.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب سبز، بهره‌وری مصرف آب، رد پای آب.

### مقدمه

کمبود آب ویژگی بارز مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Hekmatnia et al., 2018) و تولید محصولات کشاورزی را به مخاطره انداخته است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که این موضوع در کنار پدیده‌های اقلیمی مانند خشک‌سالی و گرم شدن زمین، پیامدهای ناگواری در تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی به‌دنبال دارد. از این رو جلوگیری از هدررفت آب و دستیابی به عملکرد مناسب امری مهم در کشاورزی محسوب می‌شود (Ahmad Pari et al., 2016). کشاورزی ایران وابسته به استحصال آب‌های زیرزمینی است و برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در چند دهه اخیر منجر به کاهش قابل ملاحظه سطح ایستایی این منابع شده است. در ایران بیش از ۹۰ درصد از منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Seyedan and Ghadami, 2018). (Firouzabadi, 2018) در صورتی که میانگین جهانی مصرف آب در بخش کشاورزی ۷۰ درصد است (Zhang and Anadon, 2014). همچنین بیش از ۹۰ درصد از اراضی کشور به‌صورت آبی کشت می‌شود که این امر منجر به برداشت قابل توجهی از منابع

آب سطحی و زیرزمینی می‌شود (Marwat Nashn et al., 2013). ایران کمتر از ۱ درصد از منابع آب تجدیدشونده دنیا را در اختیار دارد و طبق پیش‌بینی جمعیت ایران تا سال ۱۴۰۰ به بیش از ۱۰۰ میلیون نفر خواهد رسید که تولید غذا برای تامین نیاز غذایی این جمعیت در سال به بیش از ۱۵۰ میلیارد متر مکعب آب نیاز دارد که این حجم از منابع آب در ایران موجود نمی‌باشد (Arabi Yazdi et al., 2014). از این رو محدودیت منابع آب در ایران یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده توسعه کشاورزی می‌باشد.

خرما یکی از محصولات مهم باغی است که نقش مهمی در امنیت غذایی و اقتصاد ملی ایفا می‌کند. ایران با بیش از ۴۰۰ رقم خرما دارای غنی‌ترین ژرم‌پلاسما در جهان بوده که حدود ۵۰ رقم از این مجموعه دارای ارزش تجاری و صادراتی می‌باشند (Dehghani and Salamati, 2018). محصول خرما، به‌لحاظ ویژگی‌های تغذیه‌ای و پتانسیل ارزآوری، دارای جایگاه خاص در کشاورزی ایران است. ایران در سال ۲۰۱۷ با تولید ۱۱۸۵۱۶۵ تن، نزدیک به ۱۴/۵۱ درصد خرما را تولید کرده و از لحاظ تولید رتبه دوم را پس از کشور مصر در جهان به خود اختصاص

برداشت از منابع آب شیرین به منظور تولید محصولات کشاورزی را مشخص می‌کند (Rodriguez *et al.*, 2015) و اجزای این شاخص باید مطابق با شرایط جغرافیایی و آب و هوایی هر منطقه به صورت جداگانه برای هر محصول محاسبه شود (Pour Jafari, Nejad *et al.*, 2013). آب مجازی یک محصول حجم آبی است که در کل فرایند رشد و تولید محصول مصرف می‌شود. در واقع کل ردپای آب یک محصول، با عنوان محتوای آب مجازی آن محصول شناخته می‌شود (Hoekstra and Chapagain, 2011). ردپای آب به دو جزء تقسیم می‌شود. این دو جزء شامل ردپای آب آبی<sup>۳</sup> و ردپای آب سبز<sup>۴</sup> می‌باشد. ردپای آب سبز، آب حاصل از بارندگی است که در مراحل کشت گیاه در خاک ذخیره می‌شود و ردپای آب آبی نشان‌دهنده‌ی مقدار حجم آب استفاده شده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است و به طور سنتی، استفاده از سیستم‌های آبیاری به مفهوم استفاده از آب آبی است (Hoekstra, 2017).

مطالعات متعددی در سطح داخلی و بین‌المللی در خصوص، نیاز آبیاری، آب مجازی و ردپای آب خرما و سایر محصولات زراعی و باغی انجام شده است. FAO (2007) در گزارشی میزان مصرف سالانه آب به منظور تولید خرما در کشورهای اصلی تولید کننده این محصول را ذکر کرده است. براساس این گزارش مصرف سالانه آب به منظور کشت خرما در کشور عراق بین ۱۵۰۰۰ - ۲۰۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، الجزایر ۱۵۰۰۰ - ۳۵۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، مصر ۲۲۳۰۰ مترمکعب بر هکتار، هند ۲۲۰۰۰ - ۲۵۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، اردن ۲۵۰۰۰ - ۳۲۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، مراکش ۱۳۰۰۰ - ۲۰۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، آفریقای جنوبی ۲۵۰۰۰ و تونس ۲۳۶۰۰ مترمکعب بر هکتار می‌باشد. Alazba (2001) در مطالعه‌ای تبخیر و تعرق (ET<sub>c</sub>) و نیاز آبی سالانه خرما در هفت منطقه از کشور عربستان سعودی (مدینه، ریاض، نجران، قطیف، قصیم، بیشه و الخرج) را با استفاده از مدل Penman-Monteith در محیط نرم‌افزار CROPWAT بررسی کرد. نتایج نشان داد نیاز آبی سالانه خرما بسته به مناطق تحت کشت بین ۱۵۰۰۰ تا ۵۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار است و ET<sub>c</sub> سالانه بین ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر و از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. در تحقیقی دیگر Kasseem (2007) میانگین ET<sub>c</sub> در کشور عربستان را با استفاده از CROPWAT محاسبه کرد و نتایج نشان داد میزان ET<sub>c</sub> خرما به طور میانگین ۱۶۴۴ میلی‌متر است. Bhat *et al.* (2012) با بهره‌گیری از CROPWAT میزان نیاز آبی خرما را در شرایط محیطی کشور کویت ۲۷۳۳۶ مترمکعب بر هکتار

داده است (Abdpour *et al.*, 2017). میزان تولید خرما در کشور به حدود ۱/۲ میلیون تن در سال ۱۳۹۶ می‌رسد و سطح زیرکشت این محصول ۲۱۵۵۴۵ هکتار و متوسط عملکرد ۵۶۷۴ کیلوگرم در هکتار است. استان سیستان و بلوچستان با سهم ۱۸/۶ درصد از کل تولید خرما، جایگاه اول تولید خرما را در کشور به خود اختصاص داده و یکی از قطب‌های مهم تولید خرما در ایران می‌باشد. بررسی‌های به عمل آمده اسناد منتشره از دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی نشان داد میزان تولید خرما در استان سیستان و بلوچستان ۲۲۷۱۰۸ تن، سطح زیر کشت بارور، ۵۵۶۱۶ هکتار و عملکرد معادل ۴۰۸۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Ministry of Jihad agriculture statistical yearbook, 2018). همچنین بررسی این سند نشان داد که در حال حاضر حدود ۹۱ درصد از اراضی نخلستان‌های بارور کشور زیر کشت آبی بوده و بیش از ۹۵ درصد تولید خرما در کشور از این اراضی عاید می‌شود، به عبارت دیگر فقط حدود ۵ درصد از کل تولید خرما در کشور از اراضی زیر کشت دیم به عمل می‌آید. بنابراین در حال حاضر بدون انجام آبیاری تقریباً امکان تولید خرما در کشور وجود ندارد، زیرا که سهم تولید از اراضی دیم اولاً بسیار اندک بوده و ثانیاً تابع شرایط اقلیمی است که در سال‌های اخیر بسیار متغیر و ناپایدار بوده است. لذا آب، اولین و مهم‌ترین عامل محدودیت در تولید خرما در کشور محسوب می‌شود (Dehghani and Salamati, 2018). در نتیجه مدیریت منابع آب در تولید محصول خرما ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از راهکارها جهت مدیریت استفاده از منابع آب در تولید محصولات کشاورزی، تعیین مقدار واقعی حجم آبی است که در فرآیند تولید این محصول مصرف شده است (Allan, 1998). Allen (1998) مقدار آبی که در کل مراحل رشد و تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد را آب مجازی<sup>۱</sup> نامید (Zhuo *et al.*, 2016). با استفاده از مفهوم آب مجازی می‌توان تعیین کرد که برای تولید یک کالا یا محصول کشاورزی چقدر آب استفاده شده است و آگاهی از این مطلب، می‌تواند باعث مدیریت مصرف آب شود. (Allan, 1998). در مبانی نظری مربوط به آب مجازی، اصطلاح ردپای آب<sup>۲</sup> به تازگی مطرح شده و نشان‌دهنده میزان حجم مصرف آب به تفکیک منابع آب (آب‌های سطحی و زیرزمینی، آب باران) می‌باشد. اصطلاح ردپای آب مقدار مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب شیرین را نشان می‌دهد Arabi (Yazdi *et al.*, 2014). مفهوم آب مجازی و مفهوم ردپای آب ارتباط نزدیکی باهم دارند. ردپای آب شاخصی است که میزان

استفاده از CROPWAT وضعیت نیاز آبی کشت خرما را در جزیره‌ی قشم بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد متوسط نیاز آبی خرما ۲۲۶۰۰ مترمکعب در هکتار است. Karandish et al. (2018) متوسط نیاز آبی محصولات باغی استان سیستان و بلوچستان را بین ۷۹۶/۶ میلی‌متر (درختان دانه‌ریز) تا ۲۵۶۷/۸ میلی‌متر (درختان هسته‌دار) محاسبه کردند. کم‌ترین میزان آب مجازی مربوط به محصولات گرمسیری (۰/۸ مترمکعب بر کیلوگرم) و بیشترین مقدار آب مجازی مربوط به گروه محصولات خشک به دلیل نیاز آبی بالا و عملکرد پایین بود. همچنین با توجه به ارزش اقتصادی آب و آب مجازی بهترین مکان برای تولید محصولات نیمه‌گرمسیری، گرمسیری، هسته‌دار، دانه‌ریز و دانه‌دار، شهرستان سرباز و محصولات خشک شهرستان خاش را پیشنهاد دادند.

با توجه به بررسی منابع مشخص شد تحقیقاتی که در زمینه خرما انجام شده است متمرکز بر روی محاسبه نیاز آبی این محصول بوده و به شاخص‌های مصرف آب، میزان برداشت از منابع آبی، ردپای آب و بهره‌وری مصرف آب پرداخته نشده است. در این مطالعه علاوه بر محاسبات مربوط به نیاز آبی محصول خرما، به بررسی حجم آب مصرف شده به تفکیک مصرف آب آبی و مصرف آب سبز برای تولید خرما در استان سیستان و بلوچستان پرداخته می‌شود و میزان برداشت از منابع آب برای تولید خرما به تفکیک هر شهر مشخص خواهد شد. همچنین به تجزیه و تحلیل آب مجازی خرما به تفکیک مصرف آب آبی و مصرف آب سبز پرداخته می‌شود. جهت برآورد دقیق از وضعیت مصرف آب خرما ردپای آب آبی و ردپای آب سبز نیز محاسبه می‌شود و در نهایت میزان بهره‌وری مصرف آب جهت پی‌بردن به میزان هدررفت آب در نخلستان‌های خرما در استان سیستان و بلوچستان به تفکیک هر شهر، مشخص خواهد شد. تا کنون موارد ذکر شده مورد توجه قرار نگرفته و جنبه نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با وسعتی معادل ۱۸۱۷۸۵ کیلومتر مربع، در رده استان‌های پهناور کشور طبقه‌بندی می‌شود. این استان در محدوده جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع است (شکل ۱-الف) و گستره ارتفاعی این منطقه بین ۲۷ تا ۳۹۱۶ متر قرار دارد (شکل ۱-ب) (Karandish et al., 2018) با توجه به گزارشی که سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان ارائه داد، میانگین بارندگی سالانه حدود

محاسبه کرد و نشان داد بیشترین میزان  $ET_c$  مربوط به ماه ژوئیه (۴۰۷/۶۵ میلی‌متر) و کمترین میزان  $ET_c$  مربوط به ماه فوریه (۲۰/۷۴ میلی‌متر) است. Mekonnen and Hoekstra (2011) میانگین جهانی ردپای آب سبز و ردپای آب آبی به منظور تولید خرما را محاسبه کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد ردپای آب سبز کشت خرما ۰/۹۳۰ مترمکعب بر کیلوگرم و ردپای آب آبی ۱/۲۵۰ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشد و بر اساس شرایط جغرافیایی، اقلیمی و سیستم‌های آبیاری هر کشور متفاوت است. Al Qunaibet et al (2014) میانگین آب مجازی و میزان صادرات آب مجازی خرما را برای دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۰ کشور عربستان سعودی را محاسبه کردند. نتایج نشان داد میانگین آب مجازی خرما در دوره زمانی مورد بررسی ۴۴۰۰ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشد و بررسی صادرات آب مجازی این کشور نشان داد در مجموع در این سال‌ها ۴/۴ میلیارد مترمکعب آب مجازی به دنیا صادر کرده‌اند. Tian et al. (2018) با بهره‌گیری از روش داده ستانده، شاخص‌های آب مجازی را برای کشور چین برای دوره زمانی ۱۹۹۵-۲۰۰۹ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد صادرات و واردات آب مجازی کشور چین از طریق آب سبز انجام می‌شود. این کشور واردت آب مجازی سبز خود را از کشورهای نظیر برزیل، امریکا و هند وارد می‌کند و به آلمان و ژاپن آب مجازی سبز صادر می‌کند و نتیجه گرفتند کشور چین صادرکننده‌ی خالص آب مجازی است. Fu et al. (2018) به بررسی آب مجازی تولید غلات در کشور چین پرداخت و نتایج محاسبات آن‌ها نشان داد که جهت تولید غلات در کشور چین مقدار ۱/۲۹۳ مترمکعب بر کیلوگرم آب مجازی مصرف می‌شود. Zhang and Anadon (2014) میزان مصرف آب واقعی به منظور تولیدات محصولات کشاورزی چین برای سال ۲۰۰۷، میزان ۱۰۱ میلیارد مترمکعب تخمین زدند. این میزان ۳۹ درصد از کل مصرف آب شیرین کشور چین می‌باشد.

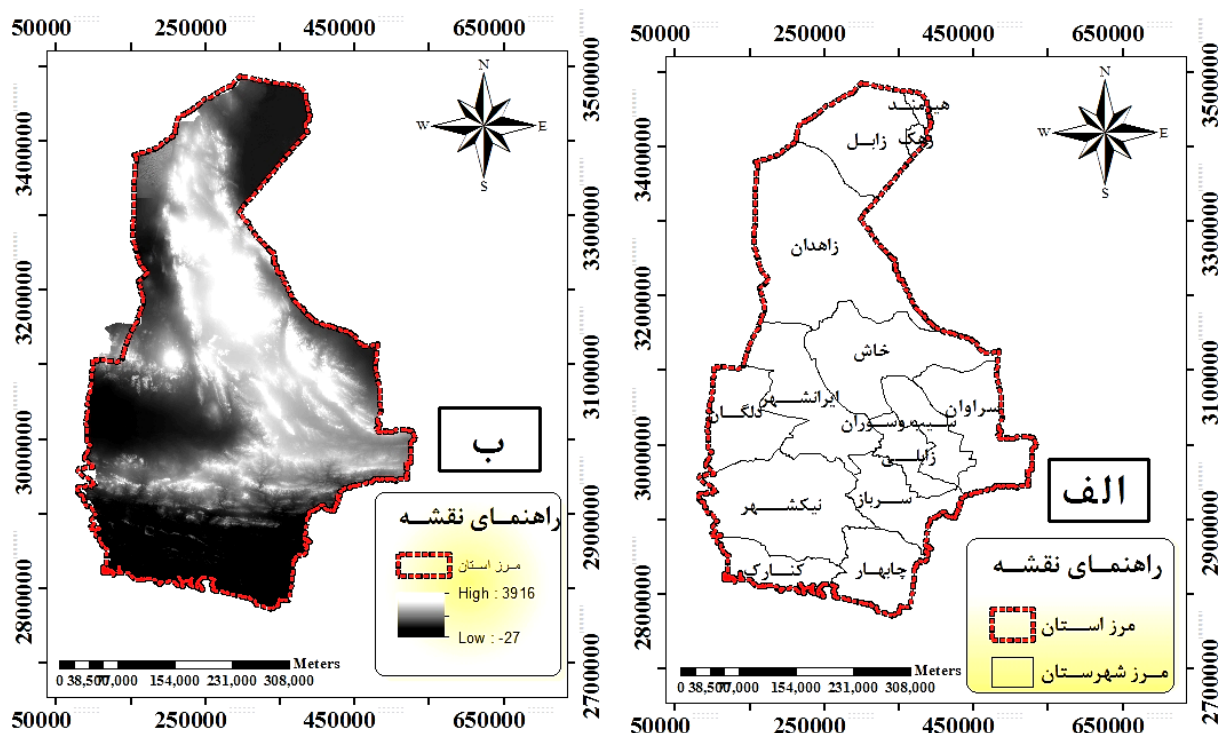
Houri (2017) به بررسی نیاز آبی و ضریب گیاهی خرما در طول مراحل رشد با استفاده از لایسیمتر در پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری واقع در اهواز پرداخت. نتایج نشان داد مقدار تبخیر و تعرق مرجع گیاه خرما در سال‌های اول تا سوم برابر با ۲۱۰۵، ۱۸۷۲ و ۲۰۲۱/۸ می‌باشد. در تحقیق دیگری Ahmad et al. (2016) نیاز آبیاری درخت خرما را در منطقه‌ی بوشهر مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد نیاز آبی درخت خرما در اقلیم شهرستان بوشهر، ۱۲۹۷/۳۳ میلی‌متر برای هر درخت می‌باشد. همچنین میزان آبیاری در طول دوره رشد را ۱۱۰۴/۶۹ میلی‌متر محاسبه کردند و میانگین بارندگی مؤثر برابر ۱۹۲/۶۴ میلی‌متر می‌باشد. Ghezal and Abdul Hussein (2017) با

سیستان، دریاچه هامون جازموریان، سد پیشین، سد زهک، سد سیستان و رودخانه‌ی فنوج اشاره کرد. از مهم‌ترین منابع آب‌های زیرزمینی می‌توان به دشت‌های زاهدان، خاش، سراوان، ایرانشهر و سیب‌سوران اشاره کرد که همگی آن‌ها جزء مناطق ممنوعه بحرانی از نظر برداشت از منابع آب هستند.

تخصیص منابع آب بین بخش‌های مختلف در این استان به این صورت است که، ۹۳/۵ درصد برای کشاورزی، ۱/۳ درصد محیط‌زیست و ۵/۲ درصد برای شرب استفاده می‌شود. بنابراین بیشترین میزان مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی است (Salari et al., 2015).

۵۲/۳ میلی‌متر، متوسط دمای کمینه سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای بیشینه به حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد در سال می‌رسد (Salari et al., 2015) و بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن<sup>۱</sup> دارای اقلیم خشک می‌باشد.

بررسی منابع آب موجود نشان داد این استان از نظر کمیت و کیفیت دسترسی به منابع آب با بحران بسیار جدی روبرو است. آب‌های سطحی و زیرزمینی مهم‌ترین منابع تامین کننده‌ی آب مورد نیاز بخش کشاورزی در این استان می‌باشند و استفاده از آب باران به دلیل میزان بارندگی پایین بسیار ناچیز است. از مهم‌ترین منابع آب سطحی در این استان می‌توان به دریاچه هامون



شکل ۱- الف. محدوده استان سیستان و بلوچستان و شهرستان‌های موجود - ب. مدل رقومی ارتفاعی منطقه

که  $ET_0$  تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $R_n$  تابش خالص خورشید در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر متر مربع در روز)،  $G$  جریان حرارت خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)،  $T$  میانگین دمای هوای روزانه (سانتی‌گراد)،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)،  $e_s$  فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)،  $e_a$  فشار بخار واقعی هوا (کیلوپاسکال)،  $e_s - e_a$  کسری فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و  $\gamma$  ظریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

پس از محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، مقدار تبخیر-تعرق محصول خرما ( $ET_c$ ) از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Rafiee

### نیاز آبی گیاه

اولین مرحله برای برآورد آب مجازی، محاسبه نیاز آبی گیاه<sup>۲</sup> (CWR) در شرایط آب و هوایی هر منطقه است. از اصلی‌ترین پارامترهایی که محاسبه آن برای به‌دست آوردن نیاز آبی گیاه لازم است، تبخیر و تعرق مرجع<sup>۳</sup> است (Soltani et al., 2013). به‌منظور محاسبه نیاز آبی گیاه ابتدا می‌بایست تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) با استفاده از پارامترهای آب و هوایی محاسبه شود. در این مطالعه برای به‌دست آوردن تبخیر و تعرق مرجع از معادله فائو-پنمن-مونتیث<sup>۴</sup> استفاده شد (Allen et al., 1994; Allan, 1998; Tian et al., 2018).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

3 Evapotranspiration  
4 FAO Penman-Monteith

1. De Martonne  
2. Crop Water Requirement

(et al., 2016):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (\text{رابطه ۲})$$

در معادله (۲)،  $K_c$  متوسط ضریب گیاهی است که با در نظر گرفتن موقعیت آب و هوایی، تاریخ کاشت و دوره رشد گیاه تعیین می‌شود. در این مطالعه از مقادیر فائو برای ضریب گیاهی محصول خرما که در جدول (۱) ارائه شده است، استفاده شد.

جدول ۱- طول دوره رشد (روز) و ضریب گیاهی محصول خرما

مرحله ی ابتدایی رشد	مرحله ی رشد و تولید	مرحله ی میانی	مرحله ی نهایی	طول دوره رشد ضریب گیاهی
۱۴۰	۳۰	۱۵۰	۴۵	
۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	

پس از محاسبه تبخیر-تعرق محصول خرما، مقدار نیاز آبی (CWR) از طریق معادله (۳) محاسبه شد (Hoekstra and Hung, 2002):

$$CWR = ET_c \times A \quad (\text{رابطه ۳})$$

در معادله (۳)، A سطح زیر کشت می‌باشد. در این تحقیق به منظور تعیین نیاز آبی گیاه (CWR)، از پارامترهای حداقل و حداکثر دمای ماهانه، بارندگی ماهانه، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی در روز، سرعت باد، ضریب گیاهی، بارش موثر و تبخیر و تعرق مرجع در محیط نرم‌افزار CROPWAT ورژن ۸ برای کل طول مراحل رشد گیاه استفاده شد.

#### محاسبه آب مجازی

به منظور محاسبه شاخص‌های مصرف آب آبی<sup>۱</sup> ( $CWU_{Blue}$ ) و مصرف آب سبز<sup>۲</sup> ( $CWU_{Green}$ ) بر حسب مترمکعب بر هکتار، از روابط زیر استفاده شد (Ababaei and Etedali, 2015; Ababaei and Etedali, 2014):

$$CWU_{Blue} = IR_{Irr} = 10 \times IE_{Irr} \times GI_{Irr} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$CWU_{Green} = 10 \times P_{eff} = 10 \times (ET_c - IR_{Irr}) \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در معادله (۴) و (۵)،  $IR_{Irr}$  نیاز خالص آبیاری<sup>۳</sup> (میلی‌متر)،  $IE_{Irr}$  راندمان آبیاری<sup>۴</sup> (میلی‌متر)،  $GI_{Irr}$  نیاز ناخالص آبیاری<sup>۵</sup> (میلی‌متر)،  $P_{eff}$  جمع میزان بارندگی موثر<sup>۶</sup> در طول دوره-ی رشد گیاه (میلی‌متر)، که از اختلاف بین جمع تبخیر و تعرق واقعی محصول ( $ET_c$ ) و نیاز خالص آبیاری محاسبه می‌شود. عدد ۱۰ به جهت تبدیل واحد میلی‌متر به مترمکعب در هکتار می‌باشد (Abaei and Etedali, 2015; Abaei and Etedali, 2014).

ردپای آب سبز<sup>۷</sup> ( $WF_{Green}$ ) و ردپای آب آبی<sup>۸</sup> ( $WF_{Blue}$ ) بر حسب مترمکعب بر کیلوگرم از تقسیم مقدار آب مصرفی آبی و

مقدار آب مصرفی سبز بر مقدار محصول تولیدی (Y) (کیلوگرم بر هکتار) محاسبه می‌شود (Hoekstra et al., 2011; Hoekstra, 2017):

$$WF_{Green} = \frac{CWU_{Green}}{Y} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$WF_{Blue} = \frac{CWU_{Blue}}{Y} \quad (\text{رابطه ۷})$$

جهت برآورد حجم آب مجازی مصرف شده (مترمکعب آب به ازای هر کیلوگرم محصول خرما) از معادله (۸) بهره گرفته شد (Hoekstra and Hung, 2002):

$$WVC = \frac{CWR}{Y} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در معادله (۸)  $WVC$  نیاز آبی محصول (مترمکعب آب به ازای هر هکتار) و  $Y$  متوسط عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) است. اگر حجم آب مجازی تخمین زده شده برای هر محصول، بیشتر از ۱ مترمکعب بر کیلوگرم باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کمتر از ۱ مترمکعب بر کیلوگرم باشد، جزء محصولات کم‌مصرف قرار دارد و این نکته برای تمامی محصولات زراعی و باغی صادق است (Hoekstra, 2017).

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها جهت تجزیه و تحلیل میزان استفاده از آب، بهره‌وری مصرف آب<sup>۹</sup> است. شاخص بهره‌وری مصرف آب کشاورزی (کیلوگرم بر مترمکعب) میزان محصول تولید شده به ازای هر واحد از مصرف آب را نشان می‌دهد. این شاخص از نسبت بین مقدار محصول تولید شده (Y) بر تقاضای آب گیاه (CWR) بدست می‌آید. به منظور محاسبه بهره‌وری مصرف آب از رابطه زیر استفاده شد (Hoekstra, 2017):

$$CWP = \frac{Y}{CWR} \quad (\text{رابطه ۹})$$

#### داده های مورد نیاز

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی شامل متوسط کمینه‌ی دمای ماهانه، متوسط بیشینه دمای ماهانه، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی در روز استفاده شد. آمار و اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان برای هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر گردآوری شد. داده‌های مربوط به سطح زیرکشت، تولید و عملکرد محصول خرما از سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان به تفکیک هر شهر (شهرستان‌های ایرانشهر، چابهار، خاش، زاهدان، زهک، سراوان، سرباز، میرجاوه و نیکشهر) برای سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷ دریافت شد.

#### نتایج و بحث

##### تولید، عملکرد و نیاز آبی

اطلاعات مربوط به میزان تولید، عملکرد و متوسط نیاز آبی

6. Effective Precipitation  
7. Water Footprint Green  
8. Water Footprint Blue  
9. Crop Water Productivity

1. Crop Water Use Blue  
2. Crop Water Use Green  
3. Net Irrigation Requirements  
4. Irrigation Efficiency  
5. Gross Irrigation Requirements

بررسی را ارزیابی کند. همچنین Ghezal and Abdul Hussein (2017) با استفاده از CROPWAT متوسط نیاز آبی خرما در قشم را ۲۲۶۰۰ مترمکعب در هکتار و Bhat et al. (2012) متوسط نیاز آبی خرما در کشور کویت را ۲۷۳۳۶ مترمکعب بر هکتار محاسبه کردند. این مقایسه نشان می‌دهد نیاز آبی خرما با تغییر شرایط اقلیمی هر منطقه نیز تغییر می‌کند و یک مقدار ثابتی نیست.

در جدول (۳)، میزان تولید خرما به تفکیک مناطق تحت بررسی و دوره زمانی تحقیق، ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۳)، بیشترین میزان تولید خرما مربوط به نخلستان‌های شهرستان‌های ایرانشهر، نیک‌شهر، سراوان و سرباز می‌باشد و کمترین میزان تولید مربوط به شهرستان زهک است. از دلایل پایین بودن میزان تولید خرما در شهرستان زهک نسبت به سایر مناطق، پایین بودن سطح زیرکشت خرما در این منطقه می‌باشد. به طوری که سطح زیر کشت خرما در شهرستان زهک نسبت به کل سطح زیرکشت ۰/۰۷ درصد می‌باشد و شهرستان‌های ایرانشهر (۲۵٪)، نیک‌شهر (۲۲/۱۰٪)، سراوان (۱۸/۶۳٪) و سرباز (۱۷/۵۵٪) بالاترین سطح زیر کشت خرما را در استان سیستان و بلوچستان دارند.

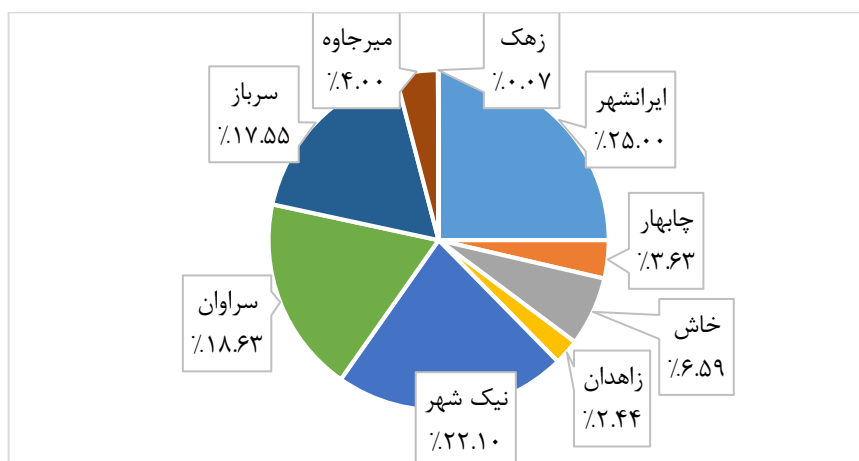
محصول خرما در دوره زمانی موردبررسی در استان سیستان و بلوچستان در جدول (۲) ارائه شده است. متوسط عملکرد تولید خرما در منطقه مورد مطالعه ۵۱۰۹/۱۲ کیلوگرم بر هکتار برآورد شد. FAO (2007) متوسط عملکرد تولید خرما در کشورهای عمده تولیدکننده این محصول را ۴۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار محاسبه کرده است. همچنین بیشترین عملکرد مربوط به کشور مصر (۱۲۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین عملکرد مربوط به کشور امارات متحده عربی (۲۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار) بود. نیاز آبی (CWR) ارائه شده در جدول (۲)، میانگین نیاز آبی محصول خرما در مناطق تحت بررسی در هر سال زراعی می‌باشد که با استفاده از CROPWAT محاسبه شد. بر این اساس متوسط نیاز آبی محصول خرما در اقلیم سیستان و بلوچستان ۲۱۹۷۶/۵۲ مترمکعب در هر هکتار محاسبه شد. میزان نیاز آبی محصول خرما با توجه به شرایط آب و هوایی (دمای هوا، رطوبت نسبی، بارندگی، تعداد ساعات آفتابی در روز) در مناطق مختلف و برای هر سال متفاوت است. Ministry of Jihad Agriculture (2001) در گزارشی، متوسط نیاز آبی واقعی خرما در سیستان و بلوچستان را ۲۰۴۷۰ مترمکعب در هر هکتار محاسبه کرده است. مقایسه نیاز آبی برآورده شده تحقیق با میزان واقعی نیاز آبی خرما نشان می‌دهد مدل توانسته به خوبی نیاز آبی خرما در منطقه تحت

جدول ۲- مجموع تولید، عملکرد و نیاز آبی خرما

سال	تولید (تن)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	نیاز آبی (CWR) (مترمکعب بر هکتار)
۹۰	۳۴۳۸۹۵/۰۲	۶۳۶۹	۲۱۳۰۳/۷۸
۹۱	۱۲۷۲۲۱/۵	۶۲۸۵/۷۱۴	۲۲۰۶۶
۹۲	۱۱۳۶۲۶/۷	۶۰۵۶/۴۴۴	۲۱۲۵۸/۴۴
۹۳	۱۳۶۲۷۰/۷	۴۵۹۰/۹۶۶	۲۳۵۰۶/۴
۹۴	۸۱۶۶۷/۴۸	۶۰۵۴/۲۲۲	۲۲۶۲۵/۷۸
۹۵	۱۰۴۵۹۲/۶	۵۷۴۷/۹	۲۲۸۷۴/۶
۹۶	۱۱۱۹۵۶	۵۱۳۹/۶	۲۰۲۰۰/۶
میانگین	۱۴۵۶۰۴/۲۷	۵۱۰۹/۱۲	۲۱۹۷۶/۵۲

جدول ۳- تولید محصول خرما به تفکیک سال زراعی در مناطق تحت بررسی (واحد: تن)

شهرستان	۹۱-۹۰	۹۲-۹۱	۹۳-۹۲	۹۴-۹۳	۹۵-۹۴	۹۶-۹۵	۹۷-۹۶
ایرانشهر	۲۵۰۱۱/۳	۳۰۵۹۰	۲۹۴۱۲/۶	۲۹۳۶۳	۲۲۱۷۴/۲۶	۲۷۲۸۹/۰۱	۲۹۷۲۳
چابهار	۳۸۶۹/۸۱	۳۷۵۰	۳۷۵۰	۴۲۶۹/۲۵	۲۵۷۱/۷۸	۳۳۸۵	۴۷۰۲/۵
خاش	۴۸۳۵/۷۹	۶۱۷۵	۶۹۸۵	۳۳۴۴۰	۵۸۹۴/۸	۸۲۵۰	۸۹۷۴
زاهدان	۷۶۷۷/۶۷	۵۵۵۶/۲۵	۸۱۰	۹۳۰	۸۳۱/۰۳	۱۱۸۴/۲	۱۱۹۰
زهک	۲۰/۹۱	۴۷/۰۵	۴۷/۰۵	۴۷/۰۵	۴۷/۰۵	۴۷/۰۵	۴۷
سراوان	۱۹۰۱۹/۹۸	۲۱۷۵۰	۲۳۴۰۰	۳۸۲۰۰	۱۶۱۲۶/۴۸	۲۰۷۹/۸۱	۲۵۴۹۵
سرباز	۲۰۶۴۰/۳۲	۲۰۴۸۰	۲۱۲۴۲	۲۴۳۸۸	۱۴۲۶۳/۳۲	۱۸۴۸۱	۱۸۶۸۴
میرجاوه	۳۷۷۶/۰۴	۴۸۳۰	۴۸۳۰	۵۳۷۸/۸	۳۷۷۶/۰۷	۴۹۶۵	۵۲۲۰
نیکشهر	۳۴۰۴۳/۱۸	۳۴۰۴۳/۱۸	۲۳۱۵۰	۲۲۳۳۸/۶	۱۵۹۸۲/۲۷	۲۰۱۸۷	۲۳۱۲۰/۵
مجموع	۳۴۳۸۹۵/۰۲	۱۲۷۲۲۱/۵	۱۱۳۶۲۶/۷	۱۳۶۲۷۰/۷	۸۱۶۶۷/۴۸	۱۰۴۵۹۲/۶	۱۱۱۹۵۶



شکل ۲- میانگین سهم شهرستان‌های مختلف استان در سطح زیرکشت محصول خرما

این مناطق بیشترین میزان تولید و سطح زیرکشت خرما را در اختیار دارند. از منابع آب مهم شهرستان ایرانشهر، رودخانه بمپور می‌باشد که به منظور آبیاری مزارع کشاورزی ایرانشهر استفاده می‌شود. از رودهای کاجو، سرباز و رودخانه‌ی باهوکلان جهت آبیاری مزارع سرباز و نیکشهر استفاده شده است. این دشت‌ها در منطقه ممنوعه بحرانی از نظر برداشت از منابع آب قراردارند. همچنین شهرستان زهک به دلیل پایین بودن میزان تولید و سطح زیر کشت نسبت به مناطق تحت بررسی کمترین میزان برداشت از منابع آب را دارد. در سال زراعی ۹۳-۹۴، بیشترین میزان برداشت از منابع آب رقم خورد به طوری که مقدار ۵۱۶/۹۸۳ میلیون مترمکعب آب برداشت شد. بررسی میزان تولید و عملکرد در این سال نشان داد در این سال کمترین میزان عملکرد تولید خرما رقم خورده است.

میزان برداشت از منابع آب به منظور تولید محصول خرما در دوره زمانی مورد بررسی در جدول (۴) ارائه شده است. متوسط برداشت سالانه از منابع آب جهت تولید خرما در استان سیستان و بلوچستان، ۳۹۹/۶۶۶ میلیون مترمکعب محاسبه شد و از سال زراعی ۹۰-۹۱ تا ۹۶-۹۷ در مجموع ۲۷۹۷/۶۵۸ میلیون مترمکعب جهت تولید خرما آب مصرف شده است. Karandish *et al.* (2018) نشان دادند بیش از ۳۰ درصد از کل آب تخصیص داده شده به محصولات باغی استان سیستان و بلوچستان توسط محصولات خشک از جمله خرما مصرف می‌شود. که نشان می‌دهد تولید خرما در این استان سهم عمده‌ای از مصرف آب را به خود اختصاص داده است.

به طور متوسط بیشترین میزان برداشت از منابع آب مربوط به شهرستان‌های ایرانشهر، سراوان، سرباز و نیک شهر می‌باشد زیرا

جدول ۴- برداشت آب به تفکیک سال زراعی در مناطق تحت بررسی (واحد: میلیون متر مکعب)

شهرستان	۹۱-۹۰	۹۲-۹۱	۹۳-۹۲	۹۴-۹۳	۹۵-۹۴	۹۶-۹۵	۹۷-۹۶	میانگین
ایرانشهر	۹۱/۳۷۴	۱۱۶/۶۸۱	۱۱۹/۱۸۰	۱۱۱/۲۹۱	۹۲/۹۱۷	۱۱۶/۷۳۴	۱۱۲/۳۸	۱۰۹/۰۱۵
چابهار	۹/۳۳۶	۹/۴۰۶	۹/۵۸۸	۱۴/۰۷۱	۶/۷۶۵	۸/۳۰۱	۱۲/۵۳۱	۹/۹۹۹
خاش	۱۴/۰۱۸	۲۱/۴۶۶	۲۶/۴۷۷	۴۷/۷۳۷	۲۳/۶۷۷	۲۹/۹۷۲	۲۱/۲۴۹	۲۵/۶۵۶
زاهدان	۲۴/۹۶۸	۱۷/۸۵۷	۲/۵۲۵	۳/۵۲۴	۲/۴۴۶	۴/۲۰۱	۴/۲۷۰	۸/۵۴۱
زهک	۰/۲۸۹	۰/۲۸۱	۰/۲۹۱	۰/۳۰۶	۰/۲۹۴	۰/۳۰۷	۰/۳۱۴	۰/۲۹۶
سراوان	۴۳/۷۵۶	۵۲/۶۲۹	۶۴/۰۹۱	۱۴۷/۳۸۹	۶۸/۶۱۲	۶۸/۶۱۲	۷۷/۸۳۳	۷۳/۳۵۶
سرباز	۷۲/۶۶۱	۸۴/۵۸۰	۷۲/۶۶۱	۸۹/۴۰۶	۵۳/۶۴۰	۶۹/۶۴۵	۶۵/۲۲۱	۶۸/۹۴۷
میرجاوه	۱۱/۸۵۱	۱۶/۰۴۶	۱۵/۲۵۳	۲۲/۸۹۱	۱۴/۴۷۴	۱۸/۴۸۶	۲۰/۷۵۱	۱۷/۰۶۳
نیکشهر	۸۲/۱۸۵	۱۱۲/۵۵۲	۷۷/۰۸۶	۸۵/۶۷۱	۴۷/۶۳۹	۶۱/۸۸۶	۸۴/۰۸۶	۸۶/۷۸۷
مجموع	۳۸۱/۶۶۹	۴۳۳/۴۹۳	۳۸۷/۱۴۹	۵۱۶/۹۸۳	۳۰۱/۰۳۵	۳۷۸/۱۴۰	۳۹۹/۱۸۹	۳۹۹/۶۶۶

محصول تولیدی به تفکیک منابع آب می‌باشد. متوسط ردپای آب آبی برای محصول خرما ۳/۹۷۸ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. بدین معنی که برای تولید ۱ کیلوگرم خرما در اقلیم آب و

#### ردپای آب

نتایج مربوط به ردپای آب در جدول (۵) ارائه شده است. ردپای آب نشان‌دهنده‌ی میزان آب مصرف شده به ازای هر کیلوگرم

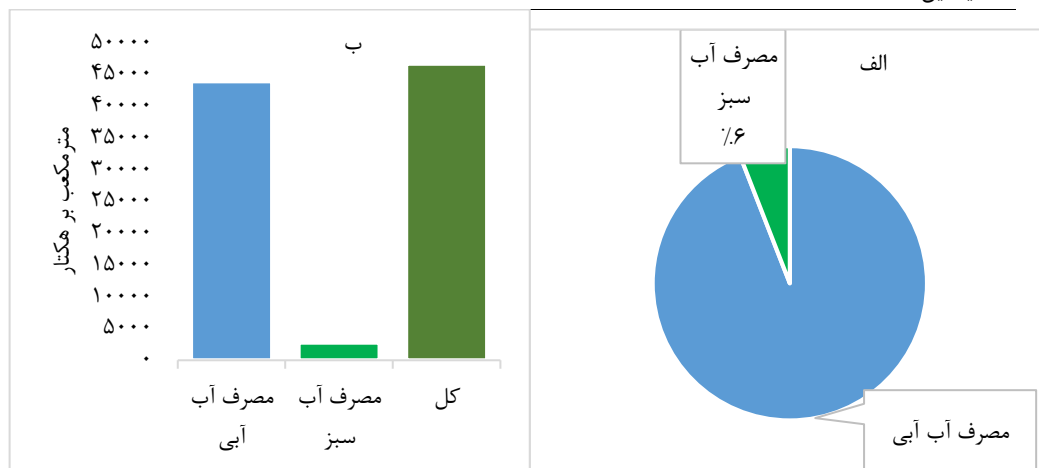


بلوچستان را بین ۱ تا ۴/۲۷ درصد و بسیار اندک محاسبه کردند و مشخص کردند بیش از ۹۵ درصد از آبیاری محصولات باغی در این استان از طریق مصرف آب آبی انجام می‌شود. همچنین *Salari et al.* (2015) نشان دادند آب سبز سهم ناچیزی در آبیاری محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان دارد و ۹۰/۸ درصد از آبیاری محصول گندم از طریق مصرف آب آبی انجام می‌شود. نتایج بررسی مصرف آب آبی و آب سبز که در جدول (۵) و شکل (۳-ب) ارائه شده، به طور متوسط جهت تولید خرما در این استان، ۴۳۸۹۵/۹۱۵ مترمکعب بر هکتار آب آبی و ۲۷۶۳/۶۶۶ متر مکعب در هکتار آب سبز مصرف شده است. بر اساس شکل (۳)، سهم آب آبی در تامین تقاضای آب تولید خرما ۹۴ درصد و سهم آب سبز ۶ درصد برآورد شد که با نتایج *Karandish et al.* (2018) و *Salari et al.* (2015) مطابقت دارد. همچنین با توجه به اینکه در جدول (۲) نیاز آبی محصول خرما ۲۱۹۷۶/۵۲ متر مکعب بر هکتار محاسبه شد، نشان دهنده این واقعیت است که بیش از دو برابر از نیاز آبی این محصول در این استان آب مصرف شده که از دلایل آن می‌توان به بهره‌وری پایین مصرف آب اشاره کرد.

هوایی سیستان و بلوچستان به طور متوسط ۳/۹۷۸ مترمکعب آب از منابع آب آبی مصرف شده است. همچنین متوسط ردپای آب سبز نیز ۰/۲۲۵ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه شد و در واقع برای تولید ۱ کیلوگرم خرما مقدار ۰/۲۲۵ مترمکعب آب سبز مصرف شده است. *Mekonnen and Hoekstra* (2011) میانگین جهانی ردپای آب آبی تولید خرما را ۱/۲۵۰ مترمکعب بر کیلوگرم و ردپای آب سبز را ۰/۹۳۰ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه کردند. این مقایسه نشان می‌دهد منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل پایین بودن عملکرد و بهره‌وری مصرف آب، بیش از ۳ برابر از میانگین جهانی برای تولید ۱ کیلوگرم خرما آب آبی مصرف می‌کند. علت این موضوع را می‌توان به دلیل بهره‌وری پایین مصرف آب در منطقه مورد مطالعه ذکر کرد. آب سبز حاصل از بارندگی است و مقایسه میزان ردپای آب سبز تولید خرما در منطقه‌ی مورد مطالعه و میانگین جهانی، نشان از پتانسیل کم این استان در استفاده از آب سبز به دلیل میزان بارندگی کم و عدم تناسب زمانی باران با زمان آبیاری محصول خرما دارد. نتایج ردپای آب در تحقیق حاضر با نتایج *Karandish et al.* (2018) و *Salari et al.* (2015) نیز مطابقت دارد. *Karandish et al.* (2018) نقش آب سبز در تامین آب مورد نیاز محصولات باغی استان سیستان و

جدول ۵- میانگین مصرف آب آبی و سبز محصول خرما در مناطق تحت بررسی

سال	ردپای آب آبی (m <sup>3</sup> /kg)	ردپای آب سبز (m <sup>3</sup> /kg)	مصرف آب آبی (m <sup>3</sup> /h)	مصرف آب سبز (m <sup>3</sup> /h)
۹۰	۳/۹۲۵	۰/۱۸۲	۳۸۷۶۰	۲۶۷۳
۹۱	۳/۳۶۵	۰/۱۲۷	۴۵۱۷۲	۱۷۹۱
۹۲	۳/۲۸۱	۰/۹۴۶	۳۸۶۷۹	۶۴۵۰
۹۳	۳/۹۲۵	۰/۱۸۱	۲۳۵۰۶/۴	۴۷۶۸/۶۶
۹۴	۶/۵۷۴	۰/۱۲۸	۷۸۵۸۱	۹۵۴
۹۵	۳/۸۰۴	۰/۰۶۴	۴۱۸۸۷	۸۰۶
۹۶	۳/۵۶۸	۰/۱۵۷	۴۰۶۸۶	۱۹۰۳
میانگین	۳/۹۷۸	۰/۲۲۵	۴۳۸۹۵/۹۱۵	۲۷۶۳/۶۶۶



شکل ۳- متوسط میزان مصرف آب آبی و سبز در تولید خرما

### آب مجازی و بهره‌وری

مترمکعب) بود. همچنین نتایج محاسبه آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب در این تحقیق با نتایج Mohammadi Kanigolzar *et al.* (2014) مطابقت دارد. (2014) میانگین بهره‌وری تولید خرما در ایران در بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۸ را حدود ۰/۳۸ محاسبه کرد و نشان داد خرما از نظر آب مجازی جزء محصولات پرمصرف قرار دارد. نتایج حاصل از محاسبات مربوط به متوسط آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب در دوره زمانی ۹۰-۹۱ تا ۹۷-۹۶ به تفکیک هر شهر در جدول (۷) ارائه شده است. طبق نتایج، بیشترین میزان آب مجازی مصرف شده مربوط به شهرستان زهک می‌باشد که دلیل آن میزان عملکرد پایین تولید محصول خرما در این منطقه می‌باشد. این شهرستان برای تولید ۱ کیلوگرم خرما، مقدار ۷/۴۰۰ مترمکعب آب مصرف کرده است و پایین‌ترین میزان بهره‌وری را نسبت به سایر شهرها دارد. کمترین میزان مصرف آب مجازی مربوط به شهرستان چابهار با مصرف ۲/۶۴۶ مترمکعب بر هکتار می‌باشد و این شهر بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب را در بین سایر شهرستان‌ها نیز دارد به طوری که ۰/۳۸۲ کیلوگرم محصول به ازای مصرف ۱ مترمکعب آب تولید کرده است.

جدول ۷- میانگین آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب به تفکیک شهر

شهرستان	آب مجازی (m <sup>3</sup> /kg)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m <sup>3</sup> )
ایرانشهر	۳/۹۴۹	۰/۲۵۴
چابهار	۲/۶۴۶	۰/۳۸۲
خاش	۳/۴۲۲	۰/۳۰۱
زاهدان	۳/۳۵۰	۰/۳۰۱
زهک	۷/۴۰۰	۰/۱۴۶
سراوان	۳/۰۴۹	۰/۳۳۹
سرباز	۳/۵۰۵	۰/۲۹۴
میرجاوه	۳/۶۲۱	۰/۲۷۹
نیکشهر	۳/۴۶۱	۰/۲۹۲
میانگین	۳/۸۲۲	۰/۲۸۸

محاسبه شد و این موضوع نشان‌دهنده‌ی هدررفت بسیار زیاد و بهره‌وری پایین مصرف آب در تولید خرما است. متوسط برداشت از منابع آب نیز ۳۹۹/۶۶۶ میلیون مترمکعب محاسبه شد و بیشترین میزان برداشت از منابع آب مربوط به شهرستان‌های ایرانشهر، سراوان، سرباز و نیکشهر بود زیرا این مناطق بیشترین میزان تولید و سطح زیرکشت خرما را در اختیار دارند. محاسبات مربوط به رد پای آب نشان داد جهت تولید ۱ کیلوگرم خرما مقدار ۳/۹۷۸ مترمکعب آب آبی و ۰/۲۲۵ مترمکعب آب سبز مصرف می‌شود که نشان‌دهنده‌ی سهم ناچیز (۶ درصد) آب باران در تامین نیاز آبی تولید خرما و

در جدول (۶) نتایج محاسبات مربوط به آب مجازی ارائه شده است. طبق یافته‌های گزارش شده در جدول (۶)، متوسط آب مجازی تولید خرما در استان سیستان و بلوچستان ۳/۸۲۲ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. اگر آب مجازی محصولات بیشتر از ۱ باشد جزء محصولات پرمصرف و اگر کمتر از ۱ باشد جزء محصولات کم‌مصرف قرار می‌گیرد. در نتیجه محصول خرما در استان سیستان و بلوچستان رده محصولات پرمصرف قرار گرفته است. Mekonnen and Hoekstra (2011) میانگین جهانی آب مجازی تولید خرما را ۲/۲۷۸ محاسبه کردند و در سطح جهانی نیز خرما جزء محصولات پرمصرف قرار دارد. نتایج محاسبه بهره‌وری مصرف آب نشان داد در ازای مصرف ۱ متر مکعب آب، به‌طور متوسط ۰/۲۸۸ کیلوگرم محصول خرما تولید می‌شود که نشان‌دهنده‌ی بهره‌وری بسیار پایین مصرف آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. FAO (2007) متوسط جهانی بهره‌وری مصرف آب کشت خرما ۰/۳۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه کرد که بیشترین میزان بهره‌وری مربوط به کشور مصر (۳/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین مربوط به کشور تونس (۰/۲۸۰ کیلوگرم بر

جدول ۶- میانگین آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب

سال	آب مجازی (m <sup>3</sup> /kg)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m <sup>3</sup> )
۹۰	۴/۲۰۴	۰/۳۱۶
۹۱	۳/۵۷۹	۰/۲۹۸
۹۲	۳/۵۹۳	۰/۲۹۵
۹۳	۴/۰۷۹	۰/۲۵۳
۹۴	۳/۸۰۰	۰/۲۷۸
۹۵	۳/۸۰۸	۰/۲۸۰
۹۶	۳/۶۹۳	۰/۲۹۲
میانگین	۳/۸۲۲	۰/۲۸۸

### نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر، وضعیت مصرف آب کشت خرما در استان سیستان و بلوچستان از نظر آب مجازی با هدف آگاهی از میزان مصرف آب و ارائه راه‌کارهای مناسب و عملی به‌منظور مدیریت منابع آب مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق نشان داد متوسط نیاز آب این محصول ۲۱۹۷۶/۵۲ مترمکعب بر هکتار می‌باشد، در صورتی که متوسط مقدار آب مصرف‌شده برای تولید این محصول مقدار ۴۶۶۵۹/۵۸۱ مترمکعب در هکتار است. میانگین بهره‌وری مصرف آب برای کشت خرما در دوره زمانی تحقیق ۰/۲۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب

پتانسیل پایین استان به منظور استفاده از آب باران در تولید این محصول می‌باشد.

## REFERENCES

- Ababaei, B., and Etedali, H. R. (2014). Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. *Environmental processes*, 1(3), 193-205.
- Ababaei, B., and Etedali, H. R. (2015). Estimation of Water Footprint Compartments in National Wheat Production. *Journal of Water and Soil*, 29(6), 1458-1468. (In Farsi)
- Abdpour, A., Asad Abadi, A., and Fomi, H. (2017). Analysis Factors Affecting Date Production Efficiency in Bam County: With DEA Approach. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 48(3). 507-518. (In Farsi)
- Ahmad Pari, H., Ebrahimi, M. E., Safavi Gerdini, M., and Rezaei Maharlouei, F. (2016). Estimation of CROPWAT Model Irrigation Needs in Bushehr. *the first International Conference on Iranian Natural Hazards and Environmental Crises, Solutions and Challenges*, 13 September., Shahrekord University Water Resources Research Center, Ardabil, Iran. (In Farsi)
- Al Qunaibet, M.H., Ghanem, A.M., and Almodarra, S. F. (2014). Estimation of Virtual Water for Current and Target Saudi Exports for Dates. *Life Science Journal*, 11(12).
- Alazba, A. A. (2001). Theoretical Estimate of Palm Water requirements using Penman-Monteith Model. In *2001 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Allan, J. A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Ground water*, 36(4), 545-547.
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L. S. (1994). An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID bulletin*, 43(2), 1-34.
- Arabi Yazdi, A., Nik nia, N., Majidi, N., and Emami, H. (2014). Water Security Assessment in Arid Climates Based on Water Footprint Concept (case study; south khorasan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 8(4). 735-746. (In Farsi)
- Bhat, N. R., Lekha, V. S., Suleiman, M. K., Thomas, B., Ali, S. I., George, P., and Al Mulla, L. (2012). Estimation of water requirements for young date palms under arid climatic conditions of Kuwait. *World Journal of Agricultural Sciences*, 8(5). 448-452.
- Dehghani Sanij, H., and Salamati, N. (2018.) Palm response to the implementation of surface and subsurface drip irrigation system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 991-1001. (In Farsi)
- FAO, (2007). Workshop on Irrigation of Date Palm and Associated Crops. *In collaboration with Faculty of Agriculture*, 27-30 May, Damascus University Damascus, Syrian Arab Republic, Damascus.
- Fu, Y., Zhao, J., Wang, C., Peng, W., Wang, Q., and Zhang, C. (2018). The virtual Water flow of crops between intraregional and interregional in mainland China. *Agricultural water management*, 208, 204-213.
- Ghezel, F., and Abdul Hussein, M. (2017). Investigation of water requirement and date palm cultivation in Qeshm Island, *the National Conference on Sustainable Energy Environment and Natural Resources*, 7 December., Mehr Arvand Institute of Higher Education and Center for Sustainable Development Solutions, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Hekmatnia, M., Hosseini, S. M., and Safdari, M. (2018). 'Application of Fuzzy Logic in Calculation of Urban Water Tariff in Iran. *Journal of Hydrosociences and Environment*, 2(4). 33-43. (In Farsi)
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water footprint assessment: evolution of a new research field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061-3081.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., and Aldaya, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.
- Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. (2011). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. *John Wiley and Sons*.
- Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of water research report series*, 11, p.166.
- Houri, A M. (2017). Lysimetric determination of Water Requirement and Crop Coefficient of Date Palm in Vegetative Growth Phase. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31.3(3). 329-340. (In Farsi)
- Karandish, F., Salari, S., Darzi Naftchali, A. (2018). Assessing the sustainability of horticultural production using the concepts of virtual water and the economic value of water. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(3), 335-345. (In Farsi)
- Kassem, M. A. (2007). Water requirements and crop coefficient of date palm trees Sukariah CV. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 24, 339-359.
- Marwat Nash, A., Shahidi, A., and Khashie Siouki, A. S. (2013). Optimization of Cultivation Pattern with Virtual Water Approach to Sustainability of Water Resources, *Firht Iranian Water Resources Management Conference*, 18-19 February., Shahid Beheshti University, Iran Water Resources Science and Engineering Association. Tehran, Iran. (In Farsi)
- Ministry of Jihad-Agriculture (2001). Date palm guideline; planting, husbandry and harvesting.
- Ministry of Jihad agriculture statistical yearbook of (2018), *statistic and information technology office*, from <https://www.maj.ir/>

- Mohammadi Kanigolzar, F., Ameri, J. D., and Motee, N. (2014). Virtual water trade as a strategy to water resource management in Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(02), 141.
- Pour Jafari Nejad, A. G., Alizadeh, A., and Neshat, A. (2013). Study on Ecological Water Footprint and indicators of virtual water in Agricultural Section of Kerman Province. *Irrigation and Water Engineering*, 4(1). 80-89. (In Farsi)
- Rafiee, M., Moazed, H., Ghaemi, A., and Broomand nasab, S. (2016). FAO-56 Method for Estimating Evapotranspiration and Crop Coefficients of Eggplant in Greenhouse and Outdoor Conditions. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(2), 59-77. (In Farsi)
- Rodriguez, C. I., Galarreta, V. R., and Kruse, E. E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 90, 91-96.
- Salari, S., Karandish, F., and Darzi Naftchali, A. (2015). Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan Province. *Irrigation and Water Engineering*, 5(2). 81-94. (In Farsi)
- Seyedan, S., and Ghadami Firouzabadi, A. (2018). Estimation of virtual water in major crop products (Case Study Hamedan province). *Irrigation and Water Engineering*, 9(1). 102-111. (In Farsi)
- Soltani, A., Mirlatifi, Q., and Dehghan, s. (2013). Estimation of reference evapotranspiration using limited meteorological data in different climates. *Journal of Water and Soil*, 26(1). (In Farsi)
- Tian, X., Sarkis, J., Geng, Y., Qian, Y., Gao, C., Bleischwitz, R., and Xu, Y. (2018). Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment. *Environment international*, 121, 178-188.
- Zhang, C., and Anadon, L. D. (2014). A multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China. *Ecological Economics*, 100, 159-172.
- Zhuo, L., Mekonnen, M. M., and Hoekstra, A. Y. (2016). Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China—With a focus on crop production, consumption and trade. *Environment international*, 94, 211-223.