

## توزیع زمانی و مکانی اجزای ردپای آب و تجارت آب مجازی محصول گردو در ایران

زهرا بذرافشان<sup>۱</sup>، هادی رضانی اعتدالی<sup>۲\*</sup>، ام‌البنین بذرافشان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲. دانشیار گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳)

## چکیده

بخش‌های زیادی از ایران با بحران آب مواجه شده‌اند. با توجه به اینکه حدود ۸۵ درصد از منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، مدیریت آب در این بخش برای کاهش مصرف آب ضروری است. حفظ محیط زیست، منابع آب و تولیدات کشاورزی از مهم‌ترین اهداف اکوهیدرولوژی است. ردپای آب و تجارت آب مجازی مفاهیمی هستند که اخیراً برای مدیریت منابع آب و در اکوهیدرولوژی استفاده می‌شوند. بیشتر مطالعات صورت گرفته از این مفاهیم درباره محصولات زراعی است و در مورد محصولات باغی مطالعات اندکی وجود دارد. مطالعه حاضر، به برآورد اجزای ردپای آب در گردوی فاریاب با کمک شاخص ردپای آب برای دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ در ۲۷ استان در سطح ایران پرداخته است. نتایج نشان داد به طور متوسط ردپای آب در محصول گردو ۶/۴۲ مترمکعب بر کیلوگرم است که سهم آب آبی، سبز و خاکستری به ترتیب ۹۰، ۳ و ۷ درصد است. بیشترین و کمترین ردپای آب مربوط به استان‌های یزد و مازندران با مقدار ۱۴/۱۱ و ۱/۹۴ مترمکعب بر کیلوگرم است. همچنین، متوسط حجم کل ردپای آب در محصول گردوی فاریاب ۱۴۹۳ میلیون مترمکعب در سال است، که حدود ۹۴ درصد از کل حجم ردپای آب در تولید گردوی کشور یعنی معادل ۱۴۰۳ میلیون مترمکعب در سال به صورت تجارت آب مجازی از کشور صادر می‌شود.

**کلیدواژگان:** تجارت آب مجازی، ردپای آب، گردو، مقیاس استانی، مقیاس ملی.

## مقدمه

درخت گردو از خانواده راش‌سانان است. انواع این درخت در چین، ژاپن، فرانسه و آمریکا کشت می‌شود. مهم‌ترین گردوهای موجود در دنیا معروف به گردوی ایرانی است، زیرا ابتدا از ایران به خاورمیانه و از آنجا به یونان و روم و سپس، به انگلستان و بعد به آمریکا برده شده است. گردوی ایرانی تنها گونه‌ای از این خانواده است که مغز آن از نظر خوراکی مصرف اقتصادی دارد [۱]. براساس اطلاعات سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی، در سال ۲۰۱۷ سطح زیر کشت بارور گردوی جهان ۱۰۹۷۷۰۰ هکتار بوده که نسبت به سال ۲۰۰۵ حدود ۶۸ درصد افزایش داشته است. در بین کشورهای جهان، در سال ۲۰۱۷ چین با تولید ۱۹۲۵۴۰۳ تن در سال، مقام اول را دارد و پس از آن، آمریکا با ۵۷۱۵۲۶ تن، مقام دوم و ایران با ۳۴۹۱۹۲ تن رتبه سوم را به خود اختصاص داده است. براساس آخرین اطلاعات ایران در سال ۲۰۱۴، حدود ۱۱/۹ درصد گردوی جهان را تولید کرده است [۲].

بررسی راه‌های مناسب برای بی‌نیازی کشور از وابستگی به صادرات نفتی، یکی از موارد ضروری و مهم به شمار می‌رود. از این رو، تولید محصولات کشاورزی در سه دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته و بیشترین سهم را در صادرات غیرنفتی به خود اختصاص داده است. بیش از ۹۲ درصد منابع آب سطحی و زیرزمینی در ایران صرف تولید محصولات کشاورزی می‌شود، که با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور و وجود تنش‌های آبی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب، مدیریت منابع آب امری ضروری است [۲].

افزایش روزافزون قیمت انرژی، بحران آب و مواد غذایی از عمده‌ترین چالش‌های اخیر وضع موجود جهان است. از طرفی، افزایش مدام جمعیت جهانی، محدودیت منابع آب و منابع طبیعی، آبادی و توسعه اقتصادی و صنعتی در دهه‌های آینده، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، خبر از عمیق‌تر شدن این بحران‌ها در آینده می‌دهد و این موارد، سیاستمداران و اندیشمندان جهان را ناگزیر کرده است که از طرفی، به فکر تولید و یافتن منابع جدید آب و انرژی بیفتند و از طرف دیگر، مشوق‌های کاهش مصرف و بهینه‌سازی مصرف را ترویج کنند [۳].

اصطلاح آب مجازی نخستین‌بار توسط تونی آلن به‌منظور اشاره به مقدار آب موجود و قابل دسترس در

سیستم جهانی از طریق مبادله کالاهای کشاورزی ارائه شد [۴]. در سال ۲۰۰۳ آرجن هوکسترا تعریف کامل‌تری از آب مجازی ارائه کرد. آب مجازی جمع کل آب مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی، زمان تولید و راندمان است. ردپای آب شاخصی است که برای نشان دادن حجمی از آبی که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا و یا ارائه هر گونه خدمات به مصرف می‌رسد. این عدد شامل مجموع آب مصرف‌شده طی فرایندهای زنجیره تولید یک محصول خواهد بود. شاخص ردپای آب در قیاس با شاخصی تحت عنوان «ردپای اکولوژیک» که در نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ مطرح شد، توسعه یافت. این شاخص تعیین‌کننده مقدار زمین اکولوژیک مورد نیاز برای تأمین مایحتاج افراد ساکن در یک محدوده جغرافیایی است. این زمین اکولوژیک شامل سطح مورد نیاز برای سکونت، فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری، شیلات، صنایع و فضای سبز می‌شود. هدف از طرح مفهوم ردپای اکولوژیک، یافتن شاخصی برای نشان دادن میزان استفاده انسان‌ها از ظرفیت‌های اکولوژی کره زمین بوده است. اما هدف از مطرح کردن ردپای آب، جست‌وجو برای ابعاد مختلف منابع آب جهانی بوده است. برای این منظور نقطه شروع بررسی، ناخشنودی مدیران از محدود بودن قوانین مدیریت منابع و یا محدود بودن قوانین آنها به حوضه آبریز یک رودخانه بوده است. همچنین، در سیستم مدیریت منابع آب قدیمی همواره این حقیقت که تبادلات بین‌المللی کالاها بر الگوی جهانی مصرف آب تأثیر دارد، نادیده گرفته می‌شده است. از سوی دیگر، می‌توان گفت که مقدار آبی که در فرایند تولید کالاها به مصرف می‌رسد، معمولاً در برابر آب مصرفی واقعی آن کالا بسیار ناچیز است (البته، به‌جز محصولات کشاورزی که عمده آب مصرفی آنها در فرایند کشت مصرف می‌شود).

در چرخه هیدرولوژی، منابع آب به دو دسته آب آبی و آب سبز تقسیم می‌شوند. منشأ آب آبی و آب سبز، بارندگی است. آب باران بعد از نفوذ در خاک و قبل از اینکه به منطقه اشباع برسد، آب سبز را تشکیل می‌دهد، در حالی که آب‌های زیرزمینی (منطقه اشباع) و همچنین، رواناب حاصل از این بارندگی که به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، پشت‌سدها و تالاب‌ها می‌پیوندد، آب آبی را شامل می‌شوند [۵]. آب خاکستری، به حجم آبی گفته می‌شود که طی فرایند تولید

خشک‌میوه‌ها مانند گردو، بادام و پسته، سبب برتری نسبی کشت آن نسبت به سایر گروه محصولات می‌شود [۱۲]. غلامحسین پور جعفری‌نژاد و همکاران در بررسی ردپای آب در پسته و خرما در کرمان [۱۳] و همچنین، بذرافشان و همکاران در بررسی ردپای آب در چهار گروه محصولات کشاورزی در استان هرمزگان، زیاد بودن ردپای آب در درختان میوه و خشک‌میوه‌ها را بیان می‌کنند [۳].

ایران بیش از دو دهه است که با کم‌آبی و خشکسالی مواجه شده، بنابراین آب قابل دسترس برای تمام بخش‌ها کاهش یافته است. با این حال، در بسیاری محصولات کشاورزی و باغی مانند صیفی‌جات (پیاز، بادمجان و خیار)، نخیلات، زعفران، میوه‌های آلبومی، انجیر، گردو و بادام رتبه بالایی در دنیا دارد [۱۹]. بنابراین، مصرف آب در بخش کشاورزی باید هوشمندانه و با سیاست آب مجازی و ردپای آب صورت پذیرد.

مرور تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد تخمین‌هایی از ردپای آب در مقیاس جهانی [۱۹] و منطقه‌ای [۱۲] وجود دارد، اما تحقیقی که به بررسی ردپای گردو در مقیاس ملی و استانی و در ایران پرداخته باشد، دیده نشده است. ایران سومین تولیدکننده گردو در دنیاست که بخش عمده‌ای از تولیدات ملی را به سایر کشورها صادر می‌کند. بنابراین اهداف مقاله پیش رو عبارت‌اند از:

۱) تحلیل زمانی و مکانی اجزای ردپای آب طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۶؛

۲) تعیین سهم اجزای ردپای آب در مقیاس ملی و استانی؛

۳) برآورد حجم تجارت آب مجازی که سالانه از طریق صادرات این محصول از ایران صادر می‌شود.

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد در واحد سطح، میزان تولید، میزان کود، راندمان آبیاری، تاریخ کشت و تیپ خاک از سالنامه سازمان جهاد کشاورزی طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ استخراج شد. همچنین، داده‌های اقلیمی از سازمان هواشناسی هر استان فراهم شد [۲۰]. داده‌ها شامل متوسط ده‌ساله بارش، درصد رطوبت نسبی، ساعت‌های آفتابی، حداقل و حداکثر دمای هوا و سرعت باد طی دوره آماری مطالعه شده است.

محصولات، آلوده شده و کیفیت اولیه خود را از دست داده است. این آب‌ها وارد سیستم‌های طبیعی آبی می‌شود. میزان آبی که لازم است تا بتوان کیفیت آب‌های آلوده را به سطح استاندارد و مطلوب رساند، معادل حجم آب مجازی خاکستری در نظر گرفت می‌شود [۶].

تجارت آب مجازی می‌تواند نوعی ابزار در حل مشکلات جغرافیای سیاسی و حتی جلوگیری از جنگ بر سر آب باشد [۴] برآورد واردات و صادرات آب مجازی در مقیاس بین‌المللی و درون‌کشوری (استانی) برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک کشور بر اساس پتانسیل هر منطقه می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار پایدار مد نظر قرار گیرد. انتقال آب مجازی یکی از مکانیزم‌های ذخیره‌سازی منابع آب داخلی کشور و دستیابی به امنیت آبی در سطح ملی است. منابع آب شیرین تغییرات زمانی و مکانی درخور توجهی دارند [۷]. تجارت آب مجازی می‌تواند نوعی ابزار در حل مشکلات جغرافیای سیاسی و حتی جلوگیری از جنگ بر سر آب باشد [۴].

در زمینه ردپای آب و تجارت آب مجازی در محصولات کشاورزی در عرصه ملی، استانی و بین‌المللی به‌خصوص در محصولات باغی مطالعات متعددی صورت پذیرفته است که می‌توان به کیوی در نیوزیلند [۸]؛ زیتون در اسپانیا [۹]؛ پسته، بادام و گردو در کالیفرنیا [۱۰]؛ کاکائو در کلمبیا [۱۱]؛ بادام در کالیفرنیا [۱۲]؛ مرکبات در استان هرمزگان [۲]؛ خرما و پسته در کرمان [۱۳]؛ گندم، جو، پنبه، پیاز، گوجه، خربزه، هندوانه، یونجه و ذرت در استان قم [۱۴]؛ گندم و عدس در ایران و عراق و تجارت با کشور ترکیه [۱۵]؛ گندم، جو، ذرت‌دانه، یونجه، برنج، چغندر، ذرت و علوفه در بخشی از حوضه آبخیز طشک - بختگان - ماهلو در استان فارس [۱۶]؛ ذرت در دشت‌های زیر کشت استان خوزستان [۱۷]؛ خرما در استان هرمزگان [۳] و آب مجازی در مدیریت‌های زیست‌محیطی [۱۸] اشاره کرد.

چاپاگین و هوکسترا میزان ردپای آب سبز و آبی را برای گردو در مقیاس جهانی، ۴/۲۳۵ مترمکعب در کیلوگرم گزارش می‌دهند [۱۹]. همچنین، فولتون و همکاران به تحلیل زمانی رد پای آب در ۴۳ محصول در کالیفرنیا پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد درختان میوه و خشک‌میوه‌ها در گروه با ردپای آب بالا قرار می‌گیرند، اما زیاد بودن ارزش غذایی و اقتصادی

$$WF_{Green} = \frac{(P_g) \cdot 10}{Y} \quad (1)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_g) \cdot 10}{Y} \quad (2)$$

$$WF_{Gray} = \frac{\alpha \cdot NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} \cdot \frac{1}{Y} \quad (3)$$

پس از محاسبه اجزای ردپای آب، مجموع هر یک از این اجزا در سطح استان به صورت متوسط وزنی این مقادیر با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد:

$$i = 1, \dots, 27 \quad WFV_{i,x} = Prod_{i,x} \cdot WF_{i,x} \quad (4)$$

$$AWF_{i,x} = \frac{\sum_{i=1}^{27} WFV_{i,x}}{\sum_{i=1}^{27} Prod_{i,x}} \quad (5)$$

که در آنها،  $i$  شاخص محصول،  $x$  جزء ردپای آب (آبی، سبز و خاکستری)،  $Prod$  حجم تولید بادام در هر استان (Mton)،  $WFV$  کل حجم هر یک از اجزای ردپای آب (MCM)،  $AWF$  متوسط هر یک از اجزای ردپای آب ( $m^3/ton$ ) هستند. ردپای آب آبی برای بادام دیم محاسبه نمی‌شود.

### نتایج

#### ردپای گردو در ایران و استان‌های تولیدکننده

تحلیل مکانی اجزای ردپای آب گردو در جدول ۲ و شکل ۱ خلاصه شده است. همچنین، درصد سهم هر یک از اجزا در مقیاس استانی در شکل ۲ ارائه شد.

ردپای آب سبز در محدوده صفر تا ۱/۱۲ مترمکعب بر کیلوگرم، آب آبی ۰/۹۸ تا ۱۳/۳۹ و آب خاکستری ۰/۲۳ تا ۱/۴۲ مترمکعب بر کیلوگرم متغیر است. میانگین کل ردپای آب در تولید گردو در مقیاس ملی ۶/۴۱ مترمکعب بر کیلوگرم است که از این مقدار ۳ درصد آب سبز، ۹۰ درصد آب آبی و ۷ درصد آب خاکستری است.

متوسط ردپای آب سبز، ۰/۲ مترمکعب بر کیلوگرم است که استان‌های اردبیل، مازندران و گیلان بیشترین سهم به ترتیب ۳۴/۵، ۱۵/۶ و ۷/۶ درصد و استان‌های سمنان و چهارمحال و بختیاری بدون سهم ردپای سبز (صفر درصد) کمترین سهم ردپای آب سبز را دارند.

متوسط میزان ردپای آب آبی ۵/۸۵ مترمکعب بر کیلوگرم است. از این نظر استان‌های یزد، خراسان جنوبی

۲۷ استان در ایران تولیدکننده گردوی فاریاب هستند (جدول ۱)، که از کل سطح زیر کشت درختان (۱۶۴۹۸۳ هکتار) در ایران، ۹۲ درصد به صورت بارور و باقی، غیربارور هستند. استان گیلان با متوسط بارش سالانه ۱۰۲۰ میلی‌متر و استان یزد با متوسط بارش سالانه ۸۲ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان بارش در بین استان‌های تولیدکننده بادام در ایران را دارند.

در این مطالعه، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید گردو در سطح ایران با به‌کارگیری چارچوب اصلی هوکسترا و چپاگین طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ برآورد شد [۲۱]. منظور از گردو در تحقیق حاضر گردو با پوست خشک‌شده بوده و نیاز آبی گردوی بارور و بالغ بررسی شده است.

نیاز آبی، نیاز آبیاری و بارش مؤثر با استفاده از مدل AGWAT محاسبه شد. میزان تبخیر و تعرق گیاهی و نیاز آبیاری با استفاده از روش FAO-Penman- Moneith در شرایط استاندارد و غیراستاندارد محاسبه شد [۴].

در روابط ۱-۳،  $WF_{Green}$  ردپای آب سبز،  $WF_{Blue}$  ردپای آب آبی،  $WF_{Gray}$  ردپای آب خاکستری بر حسب مترمکعب در هر کیلوگرم است (بذرافشان و گرکانی‌نژاد مشیزی، ۱۳۹۷). همچنین  $P_g$  مجموع بارندگی مؤثر (با استفاده از روش USDA S.C. Method) طی دوره رشد گیاه به میلی‌متر،  $ET_c$  تبخیر و تعرق هر گیاه به میلی‌متر،  $Y$  عملکرد هر محصول به تن در هکتار،  $\alpha$  درصد تلفات کودهای نیتروژن،  $NAR$  میزان مصرف کود برای هر گیاه به کیلوگرم در هکتار،  $C_{Max}$  غلظت بحرانی نیتروژن به کیلوگرم در مترمکعب،  $C_{Nat}$  غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده به کیلوگرم در مترمکعب،  $D_t$  عمق آب آبیاری برای هر گیاه طی فصل رشد به میلی‌متر و عدد ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متر به مترمکعب در هکتار است. مقادیر  $\alpha$  در شرایط آبی ۱۰ درصد در نظر گرفته شد [۲۲]. در مطالعه حاضر  $WF_{Gray}$  تنها برای کودهای نیتروژن به کار گرفته شده است. بیشترین غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده براساس استاندارد US-EPA<sup>5</sup> برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است و چون اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر در نظر گرفته شد [۲۱].

جدول ۱. محصول تولیدی در استان‌های تولیدکننده گردو در ایران طی دوره مطالعه‌شده

کد استان	نام استان	متوسط سطح زیر کشت بارور (ha)	متوسط عملکرد (Kg/ha)	متوسط تولید (تن)	سهم هر استان در سطح ملی (درصد)	مصرف کود (Kg/ha)
۱	آذربایجان شرقی	۷۶۵۰	۲۱۵۱/۴	۱۶۷۲۰/۸۴	۶/۸۴	۷۸
۲	آذربایجان غربی	۳۸۶۵/۵	۱۷۹۹/۳	۶۹۸۹/۶۸۴	۲/۸۶	۸۰
۳	اردبیل	۲۴۵۵/۹	۱۴۷۲/۷	۳۶۷۸/۲۰۴	۱/۵۰	۸۲
۴	اصفهان	۳۶۳۰/۵	۲۱۲۵/۴	۷۶۲۵/۰۶۳	۳/۱۲	۶۰
۵	البرز	۲۲۱۱/۲	۲۹۴۱	۳۳۳۸/۰۴۷	۱/۳۶	۶۰
۶	ایلام	۸۹۴/۹	۲۹۲۳/۹	۲۳۰۴/۸۳	۰/۹۴	۶۵
۷	تهران	۲۳۱۰/۲	۳۴۵۱/۷	۷۰۱۷/۷۰۹	۲/۸۷	۷۲
۸	چهارمحال و بختیاری	۵۴۱۱/۳	۱۵۱۷/۸	۸۲۶۲/۷۸۳	۳/۳۸	۷۰
۹	خراسان شمالی	۳۶۵/۴	۲۷۲۶/۷	۱۰۴۷/۹۴۱	۰/۴۳	۷۰
۱۰	خراسان رضوی	۴۴۴۳/۴	۱۳۶۳/۳	۵۹۲۵/۱۰۹	۲/۴۲	۷۰
۱۱	خراسان جنوبی	۱۹۱۴/۳	۱۹۸۴/۳	۳۷۶۵/۸۱۹	۱/۵۴	۶۵
۱۲	زنجان	۳۵۵۹/۸	۲۱۸۸/۸	۷۵۴۵/۵۳۵	۳/۰۸	۶۸
۱۳	سمنان	۱۶۱۱/۱	۲۸۶۳/۴	۴۵۵۹/۵۸۹	۱/۸۶	۶۵
۱۴	فارس	۷۰۷۰/۹	۳۰۰۱/۴	۲۱۲۰۹/۶	۸/۶۷	۶۵
۱۵	قزوین	۶۲۰۳/۳	۱۵۰۶/۶	۹۵۱۵/۳۷۳	۳/۸۹	۶۶
۱۶	قم	۱۳۹۶/۵	۱۲۵۷	۱۶۱۰/۴۶۵	۰/۶۶	۶۰
۱۷	کردستان	۴۵۱۰/۵	۳۱۹۱/۱	۱۴۵۰۵/۸۴	۵/۹۳	۷۱
۱۸	کرمان	۱۲۵۴۳/۸	۱۴۸۹	۱۸۴۷۴/۵۴	۷/۵۵	۵۸
۱۹	کرمانشاه	۶۶۴۱/۵	۲۷۸۶/۹	۱۹۸۳۲/۲۶	۸/۱۱	۶۸
۲۰	کهگیلویه و بویراحمد	۵۳۱۳/۳	۲۰۶۹/۸	۱۱۰۳۰/۷۸	۴/۵۱	۷۲
۲۱	گلستان	۶۴۵	۲۶۳۱/۶	۱۴۹۸/۵۷۹	۰/۶۱	۷۲
۲۲	گیلان	۱۵۷۹	۲۳۵۰/۴	۳۹۹۶/۵	۱/۶۳	۷۰
۲۳	لرستان	۶۰۵۶/۶	۲۰۸۸/۳	۱۲۵۷۸/۷۸	۵/۱۵	۷۰
۲۴	مازندران	۲۰۰۰/۸	۲۵۸۱/۴	۵۶۱۵/۱۷۴	۲/۳۰	۷۰
۲۵	مرکزی	۳۲۹۰	۱۶۳۸/۵	۸۱۱۹/۶۲۱	۳/۳۲	۶۰
۲۶	همدان	۱۳۱۳۹/۸	۲۷۸۴/۸	۳۶۸۲۲/۸۵	۱۵/۰۵	۶۶
۲۷	یزد	۱۱۱۴/۵	۸۹۵/۴	۱۰۰۰/۶۸	۰/۴۱	۶۰
	متوسط	-	۲۲۰۳	۹۰۵۹/۳	-	۶۷/۸
	حداکثر	۱۳۱۳۹/۸	۳۴۵۱/۷	۳۶۸۲۲/۹	۱۵/۱	۸۲
	حداقل	۳۶۵/۴	۸۹۵/۴	۱۰۰۰/۷	۰/۴	۵۸

منجر به تنوع در مقدار آن شده است، استان مازندران، گیلان و گلستان به دلیل بارش مناسب ذخیره آب سبز زیادی دارند، به طوری که فقط همین سه استان در سطح کشور گردوی دیم دارند. بنابراین، تغییر گزینه‌های مدیریتی در مرحله کاشت، داشت و به‌کارگیری سامانه‌های آبیگر مانند تراس و بانکت برای استفاده مفید و کارا از آب باران، استفاده از گونه‌های مقاوم به کم‌آبی و تراکم در واحد سطح و فاصله کشت می‌تواند کمک شایانی به توسعه کشت در این مناطق و تبدیل اراضی بادام فاریاب در شمال کشور به اراضی دیم کند [۲].

ردپای آب بر اجزای مصرف آب در تمام مراحل تولید دلالت دارد که کل مصرف آب از زمان کاشت تا برداشت

و کهگیلویه و بویراحمد با ۹۵ درصد بیشترین سهم آب آبی را نسبت به مجموع ردپای آب در کشور دارند. در مقابل، استان‌های مازندران، گیلان و گلستان با حدود ۵۰، ۷۲/۵ و ۸۱/۵ درصد کمترین سهم ردپای آب آبی را دارند. متوسط ردپای آب خاکستری در ایران حدود ۰/۴۱ مترمکعب بر کیلوگرم است که استان‌های مازندران، گیلان و گلستان به‌ترتیب با ۱۴/۹ و ۱۲/۴ و ۱۱/۸ درصد بیشترین سهم ردپای آب خاکستری و استان خراسان جنوبی، کرمان و کهگیلویه و بویراحمد کمترین سهم ردپای آب خاکستری با ۴ درصد را دارند.

در بررسی ردپای آب سبز در ایران، به دلیل تفاوت در شرایط آب‌وهوایی، میزان بارش و شرایط متفاوت خاک

بنابراین، با در نظر گرفتن تفاوت کشورها از نظر عرض جغرافیایی، چگونگی مدیریت کشاورزی در زمان کاشت، داشت و برداشت، تفاوت در حاصل خیزی اراضی و مصرف کود، شرایط آب و هوایی و تفاوت در نیاز آبی، عرض جغرافیایی و خصوصیات خاک از جمله مهم‌ترین دلایل در تفاوت میزان ردپای آب در نواحی مختلف جهان است.

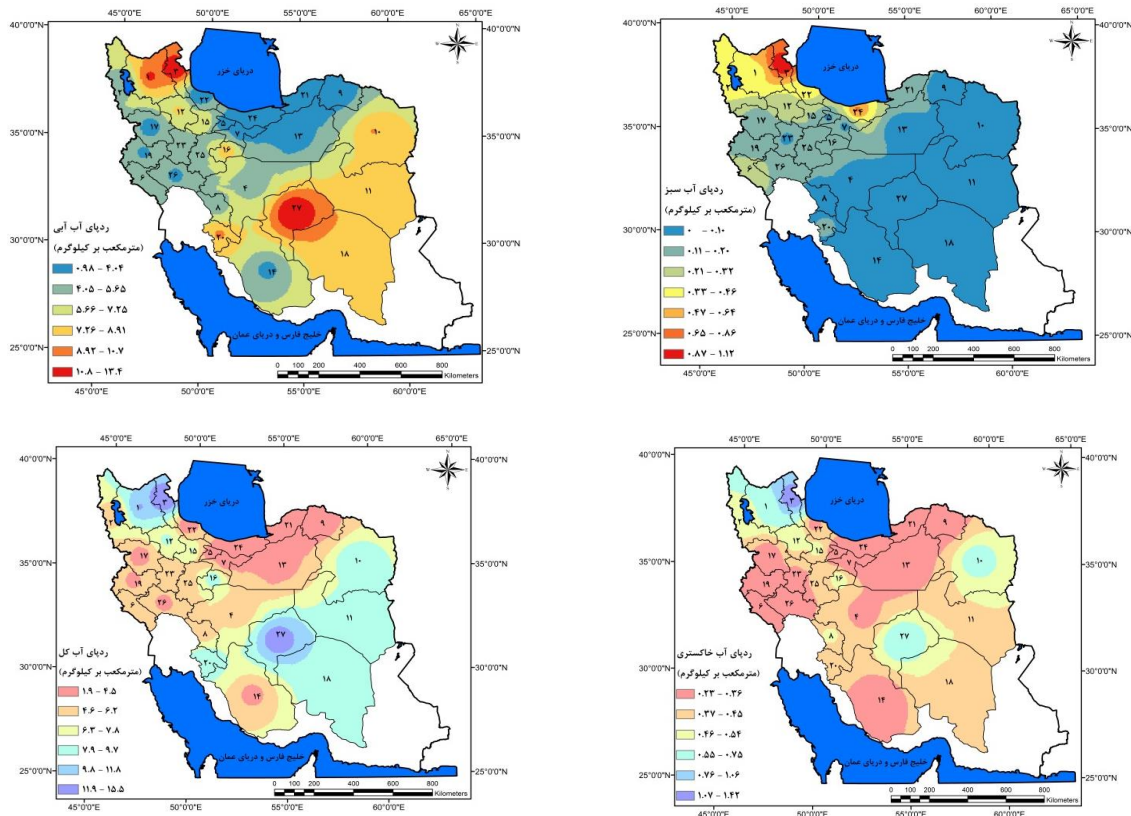
متوسط تغییرات زمانی اجزای ردپای آب در دوره آماری مطالعه شده در ایران در شکل ۲ ارائه شده است. در هر سه جزء میزان ردپای طی سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲-۱۳۹۴، افزایش محسوسی ملاحظه می‌شود. طی این سال‌ها به گزارش بسیاری از محققان از جمله بذرافشان و همکاران [۳] و آبایی و رضانی اعتدالی [۲۶] خشکسالی بی‌سابقه‌ای کل کشور را درگیر کرده است.

است. که هر یک آثار و هزینه‌های متفاوتی بر آب در دسترس دارند. مصرف آب سبز در تولید محصولات دیم از آب باران است که روی محیط زیست تأثیر بدی ندارد و در مقابل در کشت فاریاب، از آب‌های سطحی و یا زیرزمینی است که آثار آن بر محیط زیست مشهود است و آب خاکستری نیز سبب آلوده شدن آب و خاک می‌شود [۲۳]. بنابراین، آنالیز ردپای آب می‌تواند ارزیابی جامعی از بهره‌وری آب زراعی و اولویت‌بندی زمانی و مکانی کشت به ما ارائه دهد [۲۴].

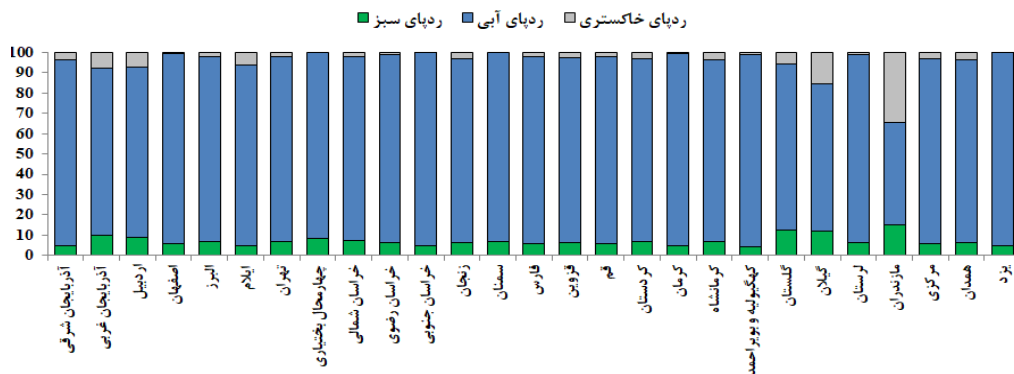
متوسط کل ردپای آب در تولید گردو در ایران ۶/۴۲ مترمکعب بر کیلوگرم است، که این مقدار در مقیاس جهانی توسط هوکسترا و چاپاگین، ۴/۲۳۵ مترمکعب بر کیلوگرم گزارش شده است [۲۵]. عدد یادشده برای کل کشورهای تولیدکننده گردو در دنیا برآورد شده است.

جدول ۲. اجزای ردپای آب در تولید گردو در استان‌های تولیدکننده بادام طی دوره مطالعه شده

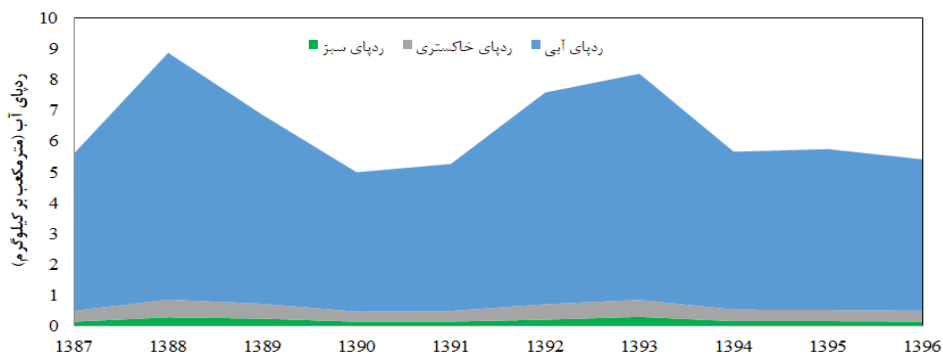
ردپای آب (m <sup>3</sup> /kg)				نام استان
کل	خاکستری	آبی	سبز	
۱۲/۱۱	۰/۵۷	۱۱/۱۳	۰/۴۱	آذربایجان شرقی
۴/۹	۰/۴۸	۴/۰۵	۰/۳۷	آذربایجان غربی
۱۵/۵	۱/۴۲	۱۲/۹۶	۱/۱۲	اردبیل
۵	۰/۲۹	۴/۶۸	۰/۰۳	اصفهان
۳/۶۳	۰/۲۵	۳/۳	۰/۰۸	البرز
۵/۳۵	۰/۲۵	۴/۷۸	۰/۳۲	ایلام
۳/۵۳	۰/۲۵	۳/۲۱	۰/۰۷	تهران
۵/۵۶	۰/۴۷	۵/۰۹	۰/۰۰	چهارمحال و بختیاری
۳/۷	۰/۲۷	۳/۳۶	۰/۰۷	خراسان شمالی
۹/۶۵	۰/۶۲	۸/۹۵	۰/۰۸	خراسان رضوی
۹/۳۲	۰/۴۵	۸/۸۶	۰/۰۱	خراسان جنوبی
۸/۴۱	۰/۵۳	۷/۶۳	۰/۲۵	زنجان
۳/۴۴	۰/۲۳	۳/۲۱	۰/۰۰	سمنان
۳/۹۴	۰/۲۳	۳/۶۳	۰/۰۸	فارس
۷/۹۸	۰/۵۰	۷/۲۸	۰/۲۰	قزوین
۹/۵۸	۰/۵۴	۸/۸۶	۰/۱۸	قم
۳/۴۹	۰/۲۴	۳/۱۵	۰/۱۰	کردستان
۸/۸۹	۰/۴۲	۸/۴۳	۰/۰۴	کرمان
۴/۳۸	۰/۳۰	۳/۹۲	۰/۱۶	کرمانشاه
۹/۶۳	۰/۴۲	۹/۱۰	۰/۱۱	کهگیلویه و بویراحمد
۲/۲۵	۰/۲۸	۱/۸۴	۰/۱۳	گلستان
۲/۶۳	۰/۳۱	۱/۹۱	۰/۴۱	گیلان
۵/۵۱	۰/۳۴	۵/۱۰	۰/۰۷	لرستان
۱/۹۴	۰/۲۹	۰/۹۸	۰/۶۷	مازندران
۶/۱۷	۰/۳۷	۵/۶۲	۰/۱۸	مرکزی
۴/۰۹	۰/۲۵	۳/۷۰	۰/۱۴	همدان
۱۴/۱۱	۰/۷۰	۱۳/۳۹	۰/۰۲	یزد
۶/۴۲	۰/۴۲	۵/۹۵	۰/۲۰	متوسط
۱۵/۵	۱/۴۲	۱۳/۳۹	۱/۱۲	حداکثر
۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۹۸	۰	حداقل



شکل ۱. توزیع مکانی اجزای رد پای آب محصول گردو در استان‌های تولیدکننده بادام در ایران



شکل ۲. سهم هر یک از رد پای آب در محصول گردو در مقیاس استانی طی دوره آماری



شکل ۳. توزیع زمانی اجزای رد پای آب در محصول گردو در ایران در دوره مطالعه شده

طور متوسط سالانه ۱۴۹۳ میلیون مترمکعب آب مجازی صرف محصول گردو می‌شود که ۴۱/۲۶ میلیون مترمکعب آن آب سبزی، ۱۳۶۱ میلیون مترمکعب آب آبی و ۹۱ میلیون مترمکعب آب خاکستری است.

حجم آب مجازی در محصول گردو در مقیاس ملی و استانی و تجارت آب مجازی نتایج حاصل از متوسط حجم اجزای ردپای آب در مقیاس استانی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد به

جدول ۳. متوسط حجم ردپای آب مجازی در محصول گردو در استان‌های تولیدکننده بادام در ایران طی دوره آماری مطالعه شده

حجم آب مجازی (میلیون مترمکعب)				استان
کل	آب آبی	آب سبزی	آب خاکستری	
۲۰۲/۵	۱۸۶/۱	۶/۸۳	۹/۶	آذربایجان شرقی
۳۴/۳	۲۸/۳	۲/۵۹	۳/۴	آذربایجان غربی
۵۷/۰	۴۷/۷	۴/۱۱	۵/۲	اردبیل
۳۸/۲	۳۵/۷	۰/۲۵	۲/۲	اصفهان
۱۳/۱	۱۱/۰	۰/۲۷	۰/۸	البرز
۱۲/۳	۱۱/۰	۰/۷۵	۰/۶	ایلام
۲۴/۷	۲۲/۵	۰/۴۶	۱/۷	تهران
۴۶/۰	۴۲/۰	۰/۰۰	۳/۹	چهارمحال و بختیاری
۳/۹	۳/۵	۰/۰۷	۰/۳	خراسان شمالی
۵۷/۲	۵۳/۰	۰/۴۶	۳/۷	خراسان رضوی
۳۵/۱	۳۳/۴	۰/۰۲	۱/۷	خراسان جنوبی
۶۳/۴	۵۷/۶	۱/۸۹	۴/۰	زنجان
۱۵/۷	۱۴/۶	۰/۰۰	۱/۱	سمنان
۸۳/۶	۷۷/۱	۱/۷۴	۴/۸	فارس
۷۹/۹	۶۹/۳	۱/۹۱	۴/۷	قزوین
۱۵/۴	۱۴/۳	۰/۲۹	۰/۹	قم
۵۰/۶	۴۵/۷	۱/۵۱	۳/۴	کردستان
۱۶۴/۳	۱۵۵/۸	۰/۷۰	۷/۸	کرمان
۸۶/۹	۷۷/۷	۳/۲۵	۵/۹	کرمانشاه
۱۰۶/۲	۱۰۰/۴	۱/۲۰	۴/۶	کهگیلویه و بویراحمد
۳/۴	۲/۸	۰/۲۰	۰/۴	گلستان
۱۰/۵	۷/۶	۱/۶۳	۱/۳	گیلان
۶۹/۳	۶۴/۲	۰/۸۹	۴/۳	لرستان
۱۰/۹	۵/۵	۳/۷۵	۱/۶	مازندران
۵۰/۱	۴۵/۶	۱/۵۰	۳/۰	مرکزی
۱۵۰/۴	۱۳۶/۱	۴/۹۷	۹/۳	همدان
۱۴/۱	۱۳/۴	۰/۰۲	۰/۷	یزد
۱۴۹۳	۱۳۶۱	۴۱/۲۶	۹۰/۸۶	کل
۵۵/۳۳	۵۰/۴۴	۱/۵۳	۳/۳۷	متوسط
۲۰۲/۴۷	۱۸۶/۰۷	۶/۸۳	۹/۵۷	حداکثر
۳/۳۷	۲/۷۵	۰/۰۰	۰/۲۸	حداقل

واقع، این سه استان تنها دارندگان گردوی دیم در سطح کشور هستند.

سهم ردپای آب آبی در کشت گردو در ایران، ۹۰ درصد است که حجم ناشی از آن حدود ۱۳۶۱ میلیون مترمکعب است. بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت گردو در ایران در استان‌های خشک و نیمه‌خشک است که با

سهم هر یک از اجزای ردپای آب در سطح استانی نیز در شکل ۴ ارائه شده است. در تمامی استان‌ها، بیشترین حجم آب مجازی مربوط به آب آبی است.

براساس شکل یادشده، در استان مازندران، گیلان و گلستان سهم آب سبزی به ترتیب ۳۴، ۱۵ و ۶ درصد است. این استان‌ها پتانسیل بالای توسعه کشت دیم دارند. در



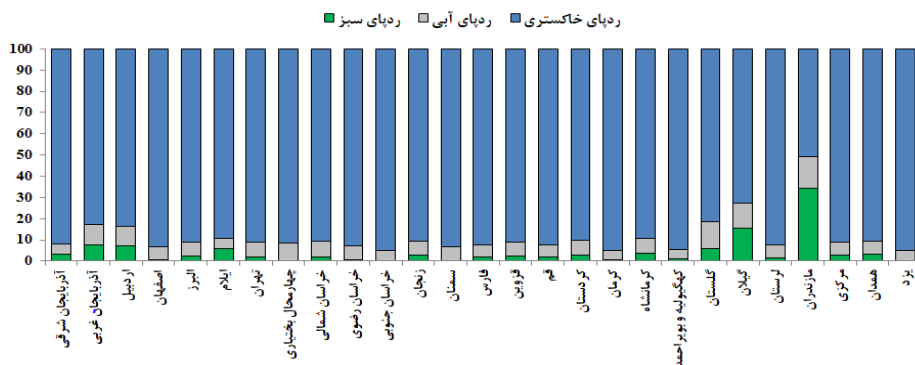
ردپای آب مصرف‌شده داخل ایران است و ۱۴۰۳ میلیون مترمکعب آن هر سال به صورت تجارت آب مجازی به دیگر کشورها صادر می‌شود.

۴۹ درصد از سطح زیرکشت باغ‌های بادام در ایران دیم بوده که حجم ردپای آن، سالانه یک چهارم حجم ردپای بادام فاریاب است. عموم باغ‌های فاریاب در ایران وابستگی نزدیک به ۱۰۰ درصد به استخراج آب‌های زیرزمینی دارند. بنابراین، مدیریت کابردی باغ‌ها و در پی آن، بهره‌وری از بارش برای توسعه استفاده از ذخیره آب سبز، حفاظت از منابع آبی، ذخیره حجم زیادی از آب در منطقه و کاهش ردپای آب آبی فراهم می‌سازد.

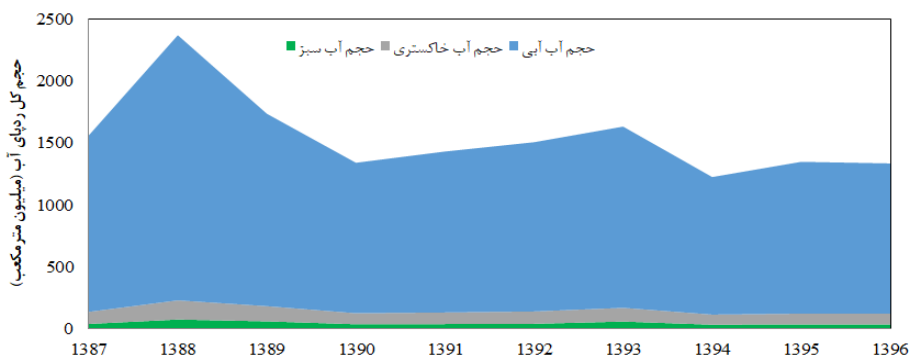
با توجه به بررسی تجارت آب مجازی در گردو، از کل آب مجازی صرف‌شده فقط حدود ۶ درصد آن در داخل کشور مصرف شده و ۹۴ درصد آن به کشورهایمانند امارات متحده عربی، ترکیه، قطر، ترکمنستان، افغانستان، هند، بحرین و کویت صادر می‌شود. بنابراین، با در نظر گرفتن مزیت اقتصادی محصولات کشاورزی و صادرات محصولات کم‌آبرتر، می‌توان به ذخیره و حفظ منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور کمک زیادی کرد.

میزان بارش مؤثر کم، تبخیر و تعرق و نیاز آبی زیاد گیاه مواجه‌اند. بیش از ۳۲ درصد حجم آب آبی، مربوط به استان‌های اذربایجان شرقی، کرمان، کهگیلویه و بویراحمد و همدان است. استان‌های یادشده ۳۵ درصد تولید گردوی ایران و ۳۶ درصد سطح زیر کشت را دارند. از طرفی، در این استان‌ها تلفات آبیاری به دلیل شیوه نامناسب آبیاری نیز سبب افزایش سهم ردپای آب آبی شده است، به طوری که مدیریت نادرست و نامناسب در چگونگی آبیاری و استفاده از روش‌های آبیاری سنتی سبب افزایش ردپای آب شده است که لزوم کنترل تلفات آبیاری، افزایش راندمان آبیاری به کمک روش‌های نوین و تاریخ مناسب آبیاری در این استان‌ها برای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد ضروری به نظر می‌رسد.

در مجموع، سالانه حجم کل ردپای آب مجازی ناشی از گردوی فاریاب ۱۴۹۳ میلیون مترمکعب است. طبق گزارش وزارت جهاد کشاورزی، به طور متوسط سالانه ۹۴ درصد از محصول تولیدی گردو در ایران به کشورهای همسایه صادر می‌شود. با در نظر گرفتن متوسط ردپای آب ۶/۴۲ مترمکعب بر کیلوگرم، ۸۹ میلیون مترمکعب حجم



شکل ۴. سهم حجم هر یک از ردپای آب در محصول گردو در مقیاس استانی طی دوره آماری



شکل ۵. توزیع زمانی حجم کل ردپای آب مجازی در تولید بادام در ایران

## نتیجه‌گیری کلی

تحقیق حاضر با هدف تحلیل زمانی و مکانی آب مجازی گردو در کشور و تعیین حجم آب مجازی صورت پذیرفته است. ۲۷ استان در بخش فاریاب به کشت این محصول باغی مبادرت می‌ورزند. ایران سومین تولیدکننده گردو در دنیاست که سالانه حجم زیادی آب را با صادرات گردو به صورت مجازی به سایر کشورها از جمله امارات، قطر، عمان، پاکستان و عراق صادر می‌کند. طی دوره مطالعه‌شده، میزان ردپای آب و سطح زیرکشت در ایران افزایش یافته و عملکرد کاهش یافته است (کشت دیم و آبی). با توجه به دو دهه خشکسالی فراگیر در ایران، بیشتر تولید بادام ایران ناشی از مصرف آب آبی و خاکستری در بادام فاریاب و از طریق استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد پتانسیل بالقوه اراضی دیم در استان‌های مازندران، گیلان و گلستان وجود دارد. چه بسا که نیاز آبی در باغ‌های گردوی این استان‌ها کمتر از سایر استان‌هاست و سهم ردپای سبز مقدار درخور توجهی را به خود اختصاص داده است. بنابراین، توسعه باغ‌های دیم در این استان‌ها کمک شایانی به کاهش مصرف آب آبی و کاهش ردپای آب می‌کند. بخش زیادی از تولید گردو مربوط به مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است. بیشتر استان‌های تولیدکننده گردو در این مناطق تقریباً همه نیاز آبی گیاه را از طریق استخراج آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کنند. گزارش‌هایی مبنی بر فرونشست سطح آب زیرزمینی از دشت ساردو، دشت بافت، رابر در استان کرمان و دشت تویسرکان، ملایر، کبودرآهنگ وجود دارد. با توجه به اینکه استان‌های یادشده بیشترین تولید و سطح زیرکشت گردو را دارند، توجه به بهره‌وری از آب کشاورزی، استفاده از سیستم‌های آبیاری پیشرفته امری اجتناب‌ناپذیر است. درنهایت، نتایج این تحقیق مشخص کرد که با توجه به محدودیت آب و خاک در ایران، تحلیل زمانی و مکانی ردپای آب و آب مجازی می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای اولویت‌بندی و توسعه کشت این محصول ارائه می‌دهد و در نهایت، پیشنهاد می‌شود که دیدگاه حاضر برای تخصیص منابع آب کشاورزی و سیاست‌گذاری توقف و یا توسعه کشت در مقیاس استانی و ملی وارد شود.

## منابع

- [1]. Vahdati K. Walnut situation in Iran. *Nucis Newsletter*. 2000;(9): 32-33.
- [2]. Bazrafshan O, Ramezani Etedali H, Gerhani Nezhad Moshizi Z, and Shamili M. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management*. 2019;213, 368-374.
- [3]. Bazrafshan O, and Gerhani Nezhad Moshizi Z. The impacts of climate variability on spatiotemporal water footprint of Tomato production in The Hormozgan. *Journal of Water and Soil*. 2018;32(1):29-43. (Persian)
- [4]. Allan J. A. Virtual water: A long-term solution for water short Middle Eastern economies? Paper presented at the 1997 British Assoc. Festival of Sci., University of Leeds, UK; 1997.
- [5]. Hoekstra A.Y., and Hung P.Q Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value if the Water Research Report Series. No. 11, UNESCO-IHE, Delft. 2002.
- [6]. Obuobie E, Keraita B, Danso G, Amoah P, Cofie, O.O, Raschid- Sally L. and Drechsel P. Irrigated Urban Vegetable Production in Ghana: Characteristics, Benefits, and Risk. IWMIRUAF- CPWF, Accra, Ghana: IWMI; 2006. 150pp.
- [7]. Ridoutt B.G, and Pfister S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Glob. Environ. Change*. 2010; 20,113-120.
- [8]. Deurer M., Green S.R., Clothier B.E. and Mowat A, Can product water footprints indicate the hydrological impact of primary production? A case study of New Zealand kiwifruit. *Journal of Hydrology*. 2011;408: 246-256.
- [9]. Salmoral G, Aldaya M.M, Chico D, Garrido A, and Llamas R. The water footprint of olives and olive oil in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*; 2011. 9(4): 1089-1104.
- [10]. Marvinney R.G., Anderson W.A., Barron H.F. and Hernandez R. 2014. The International Appalachian Trail: the ancient Appalachians as ambassador of the geosciences to modern societies.
- [11]. Ortiz-Rodriguez O. O, Naranjo C. A, Garcia-Caceres, R. G, Villamizar-Gallardo, R. A., Water footprint assessment of the Colombian cocoa production. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2015; 19(9):823-828.

- [12]. Fulton J, Norton M, Shilling F. Water-indexed benefits and impacts of California almonds. *Ecological Indicators*. 2019;96:711-717.
- [13]. Gholamhossien pour jafari nejad A, Alizadeh A, and Neshat A. Study on Ecological Water Footprint and indicators of virtual water in Agricultural Section of Kerman Province. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*. 2013;4(13):80- 89. (Persian)
- [14]. Khalili T, mahdisarai t, babazadeh h, ramezanietedali h. Water resources management of Qom Province by using the concept of water Footprint. *Ecohydrology*. 2020;6(4):1109-1119. (Persian)
- [15]. Dowlatabadi N, Banihabib M, Roozbahani A, Cetin O. Assessment of Water Saving Efficiency Index in Iran/Iraq through Virtual Water Trade with Turkey. *Ecohydrology*. 2020;6(4):1015-1027. (Persian)
- [16]. Nafarzadegan A, Vagharfard H, Nikoo M, Nohegar A. Application of interactive interval linear programming for optimal water and crop area allocation considering virtual water content and socio-economic factors (Case study: Dorudzan-Korbal Plain). *Ecohydrology*. 2017;4(2):601-613. (Persian)
- [17]. Mohammadi A, Yousefi H. Potential Evaluation of Bioenergy production from Maize crop based on Water Footprint approach. *Ecohydrology*. 2020;7(1):121-129. (Persian)
- [18]. Foladi M, Mahdavi Najaf abadi R, Rezai M, moslemi H. Wetland Management Strategies With Emphasis On Water Resources Using, SWOT and WASPAS Models. *Ecohydrology*. 2020; 7(1): 165-182. (Persian)
- [19]. Chapagain, A.K. and Hoekstra A.Y. Water footprints of nations; 2004.Ministry of Agriculture- Jihad (MAJ). The year of agricultural production, Volume II; 2017.125 p. (Persian)
- [20]. IRAN Meteorological Organization, IRIMO; 2015.WWW.IRIMO.ir
- [21]. Hoekstra A.Y, Chapagain A.K, Aldaya M.M, Mekonnen M.M. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan, London. 2011.
- [22]. Chapagain A. k, Hoekstra A. Y, Savenije H. H. G, and Gautam R, 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. *Ecological Economics*. 2006; 60: 186- 203.
- [23]. Ababaei B, and Ramezani Etedali H. Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*. 2017;179:401-411.
- [24]. Dehghani Pir Sh, Bazrafshan A, and helisaz A. Virtual water trade and its application in watershed (Case study: Hajibabad and Payab Rodan Watershed, Hormozgan Province). *Journal of Range and Watershed Management*. 2017;70(3): 647-660.
- [25]. Hoekstra A.Y, Chapagain A.K. Globalization of water: Sharing the planets freshwater resources. Blakwell Publishing, Oxford, UK. 2008.
- [26]. Ababaei B, and Ramezani Etedali H. Investigating climate change over 1957–2016 in an arid environment with three drought indexes. *Theoretical and Applied Climatology*. 2019.