تغییرات زمانی و مکانی ردپای اکولوژیکی آب و تجارت آب مجازی در محصول بادام فاریاب و دیم در ایران

کامبیز وفایی[۱]، ام‌البنین بذرافشان[۱*] و هادی رمضانی اعتدالی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۴)

چکیده

برآورد ردپای اکولوژیکی آب و تجارت آب مجازی در محصولات مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌توانند به مدیریت بهتر منابع محدود آب کمک کند. در این مطالعه، تغییرات مکانی و زمانی اجزای ردپای اکولوژیکی آب در محصول باغی بادام فاریاب و دیم برآورد شده و میزان حجم تجارت آب مجازی طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ در استان‌های تولیدکننده در سطح ملی برآورد شده است. نتایج نشان داد، در باغات دیم، به‌طور متوسط ردپای اکولوژیکی آب ۹/۲ متر مکعب بر کیلوگرم است که سهم آب سبز و خاکستری در کشت دیم ۷۲ و ۲۸ درصد است. استان ایلام و کهگیلویه و بویراحمد دارای بالاترین سهم آب سبز (به‌ترتیب ۹۱ و ۹۰ درصد) هستند، که دارای قابلیت بالایی در توسعه کشت دیم هستند. در مقابل متوسط ردپای اکولوژیکی آب در باغات فاریاب، ۱۱/۴ متر مکعب بر کیلوگرم است که به‌ترتیب سهم آب سبز، آبی و خاکستری ۱۹، ۷۱ و ۱۰ درصد است. از این نقطه‌نظر استان‌های سیستان و بلوچستان، خوزستان و هرمزگان به‌ترتیب با ۹۰ و ۸۹ و ۸۸ درصد بیشترین سهم آب آبی را نسبت به مجموع ردپای اکولوژیکی آب در کشور دارا هستند، که توجه به روش‌های بهینه‌سازی آبیاری ضرورت دارد. حجم کل آب مجازی تولید بادام دیم و فاریاب به‌ترتیب برابر با ۱۹۲۳ و ۸۲۴۲ میلیون متر مکعب است که از این مقدار، حدود ۹۲ درصد یعنی معادل ۹۳۴۳ میلیون متر مکعب در سال به‌صورت تجارت آب مجازی از کشور صادر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ردپای آب، بادام دیم و فاریاب، مقیاس استانی، مقیاس ملی

۱. گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس ، ایران
۲. گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

مقدمه

ایران یکی از عمده‌ترین کشورهای تولید کننده و صادر کننده بادام است. طبق آمار و اطلاعات وزرات جهاد کشاورزی و سازمان خواروبار جهانی ایران با سطح زیر کشت بیش از ۱۴۰ هزار هکتار طی سال‌های ۸۸-۱۳۸۳ رتبه سوم تا چهارم را از لحاظ سطح زیر کشت بادام به‌خود اختصاص داده است، و بعد از کشورهای اسپانیا (حدود ۶۵۰ هزار هکتار)، آمریکا (حدود ۲۹۰ هزار هکتار) و تونس (حدود ۱۹۰ هزار هکتار) قرار دارد. از لحاظ تولید وضعیت ایران مناسب‌تر بوده و در طی سال‌های مورد مطالعه توانسته رتبه خود را از مقام پنجم به سوم ارتقا دهد به‌طوری که میزان تولید بادام به حدود ۱۲۸ هزار تن رسیده و در بخش صادرات توانسته است جزء ده کشور اول صادر کننده این محصول قرار گیرد (۱۷). بادام با سطح زیر کشت ۱۴۶۰۵۵ هکتار یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور است.

ردپای اکولوژیکی آب شاخصی است برای نشان دادن حجمی از آب که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در تولید کالا و یا ارائه هرگونه خدمات به مصرف می‌رسد. این عدد شامل مجموع آب مصرف شده طی فرایندهای زنجیره تولید یک محصول خواهد بود (۴).

برای اینکه بتوان اثر الگوی مصرف را بر منابع طبیعی نشان داد می‌توان از مفهوم آبرانه یا ردپای اکولوژیکی آب استفاده کرد. این مفهوم اولین بار در سال ۲۰۰۲ توسط هوکسترا و هانگ معرفی شد (۱۲). ردپای اکولوژیکی آب یک محصول، به‌عنوان کل حجم آب شیرینی که برای تولید یک محصول استفاده می‌شود، تعریف شده است (۱۳). مفهوم ردپای اکولوژیکی آب مجازی در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی برای تحلیل بهره‌وری مصرف آب مورد استفاده قرار گرفته است.

انتقال آب مجازی یکی از مکانیزم‌های ذخیره‌سازی منابع آب داخلی کشور و دستیابی به امنیت آبی در مقیاس ملی است. تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی (واردات محصولات آب بر و صادرات محصولات کم‌آب بر) منجر به ذخیره منابع آب سطحی و زیرزمینی در سطح ملی می‌شود (۲). آب مجازی، تنها مفهومی است که بیان کننده محتوای آب (بیشتر محصولات کشاورزی) بوده و ابعادی از قبیل زمان و مکان و نحوه مصرف این آب را شامل نمی‌شود، اما ردپای اکولوژیکی آب مفهومی مشابه و گسترده‌تر از آب مجازی دارد، چرا که، این مفهوم ابعاد مکانی و زمانی را به مفهوم آب مجازی می‌افزاید، بنابراین ارتباطی میان فرموله کردن سیاست‌گذاری‌ها و ارزیابی اثرات آن به‌حساب می‌آید. در واقع مفهوم ردپای اکولوژیکی آب در مقیاس یک محصول، همان مفهوم آب مجازی را تداعی می‌کند، اما در مقیاس‌های بزرگ‌تر، از آب مجازی به‌عنوان ابزار محاسبه استفاده می‌کنند (۶ و ۱۵).

پژوهشگران متعددی در ایران به بررسی آب مجازی در محصولات مختلف در مقیاس استانی و یا ملی پرداختند که از جمله می‌توان به غلامحسین‌پور جعفری‌نژاد و همکاران در استان کرمان برای بررسی مزیت نسبی محصول پسته و خرما (۱۰)؛ امیدی و همایی در بررسی مقدار آب مجازی گندم در استان فارس (۱۸)؛ صافی و امیرلطیفی در بررسی حجم آب مجازی نیشکر در خوزستان (۲۲)؛ سالاری و همکاران در تحلیل زمانی و مکانی تغییرات آب مجازی گندم در استان سیستان و بلوچستان (۲۳)؛ شکوهی و همکاران در بررسی حسابداری ردپای اکولوژیکی آب برای تعیین الگوی کشت بهینه در دشت قزوین (۲۵)؛ آبابایی و رمضانی اعتدالی در بررسی ردپای اکولوژیکی آب محصولات گندم، جو و ذرت در کل کشور (۱)؛ بذرافشان و گرکانی‌نژاد مشیزی در بررسی ردپای اکولوژیکی آب محصول گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان (۶) و بذرافشان و همکاران (۴ و ۵) در ردپای اکولوژیکی آب زعفران و مرکبات در سطح ایران اشاره کرد. پژوهش‌های گفته‌شده، وضعیت آب مجازی و تجارت آب را برای محصولات مهم و یا عمده مناطق مختلف مورد مطالعه قرار دادند.

لذا در یک جمع‌بندی می‌توان گفت، مرور پژوهش‌ها نشان

می‌دهد، تخمین‌هایی از ردپای اکولوژیکی آب در مقیاس جهانی و داخلی برای اغلب محصولات زراعی صورت گرفته است، اما مطالعات بسیار کمی در خصوص محصولات باغی وجود دارد. این تحقیق به تحلیل زمانی و مکانی ردپای بادام دیم و فاریاب در مقیاس ملی و استانی طی دره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ پرداخته است. ایران چهارمین تولید کننده بادام در دنیاست که بخش عمده‌ای از تولیدات ملی را به سایر کشورها صادر می‌کند، لذا هدف از ارائه این مقاله: ۱) برآورد ردپای اکولوژیکی آب (آب سبز، آبی و خاکستری) در محصول بادام فاریاب و دیم در دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۳ در مقیاس استانی و ملی، ۲) تحلیل زمانی و مکانی تغییرات ردپای آب در محصول بادام در ایران و ۳) برآورد میزان تجارت آب مجازی این محصول از کشور است.

مواد و روش

در این پژوهش، 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 ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استخراج شد. همچنین داده‌های اقلیمی از سازمان هواشناسی هر استان (۱۴) فراهم شد. داده‌ها شامل متوسط ده ساله بارش، درصد رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا و سرعت باد طی دوره آماری مورد مطالعه است.

۲۹ استان در ایران تولید کننده بادام فاریاب و ۲۴ استان تولید کننده بادام دیم هستند (جدول ۱)، که از کل سطح زیر کشت درختان بارور (۱۲۹۰۰۰ هکتار) در ایران، ۵۱ درصد آن اراضی فاریاب و مابقی آن به‌صورت دیم کشت می‌شود. این استان‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، خشک و مدیترانه‌ای قرار گرفته‌اند. استان چهارمحال و بختیاری با متوسط بارش سالانه ۶۶۱ میلی‌متر و استان یزد با متوسط بارش سالانه ۸۲ میلی‌متر به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان بارش در بین استان‌های تولید کننده بادام در ایران هستند (۱۶).

در این مطالعه، ردپای اکولوژیکی آب سبز، آبی و خاکستری در تولید بادام در سطح ایران با به‌کارگیری چارچوب اصلی هوکسترا و چاپاگین (۱۱) طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ برآورد شد. منظور از بادام در این تحقیق بادام با پوست خشک شده است.

نیاز آبی، نیاز آبیاری و بارش مؤثر با استفاده از مدل CropWat محاسبه شد. میزان تبخیر و تعرق گیاهی و نیاز آبیاری با استفاده از روش FAO-Penman-Moneith در شرایط استاندارد و غیراستاندارد محاسبه شد (۳):

$$WF_{Green} = \frac{(P_e)*10}{Y} \quad (۱)$$

$$WF_{Blue} = \frac{(ET_c - P_e)*10}{Y} \quad (۲)$$

$$WF_{Gray} = \frac{\alpha * NAR}{C_{Max} - C_{Nat}} * \frac{1}{Y} \quad (۳)$$

در روابط زیر، WF_{Green} ردپای اکولوژیکی آب سبز، WF_{Blue} ردپای اکولوژیکی آب آبی و، WF_{gray} ردپای اکولوژیکی آب خاکستری بر حسب متر مکعب در هر کیلوگرم است (۲۳). همچنین P_e مجموع بارندگی مؤثر (با استفاده از روش USDA S.C. Method) در طول دوره رشد گیاه به میلی‌متر، ET_c تبخیر و تعرق هر گیاه به میلی‌متر، Y عملکرد هر محصول به تن در هکتار، α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR نرخ مصرف کود نیتروژن برای هر گیاه به کیلوگرم در هکتار، C_{MAX} غلظت بحرانی نیتروژن به کیلوگرم در متر مکعب، C_{Nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده به کیلوگرم در متر مکعب، D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول فصل رشد به میلی‌متر، و عدد ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متر به متر مکعب در هکتار است. مقادیر α در شرایط آبی ۱۰ درصد درنظر گرفته شد (۷). در این مطالعه WF_{Gray} تنها برای کودهای نیتروژن به‌کار گرفته شده است. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت کننده بر اساس استاندارد US-EPA[5] برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر است و چون اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر درنظر گرفته شد (۷).

جدول ۱. اطلاعات محصول تولیدی در استان‌های تولید کننده بادام دیم و فاریاب در ایران

استان	کد	تولید (تن)			سهم در سطح استان (درصد)		سهم ملی (درصد)		کود (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد (تن در هکتار)	
		آبی	دیم	کل	آبی	دیم	آبی	دیم	آبی	دیم	آبی	دیم
آذربایجان شرقی	۱	۶۹۰۹	۴۹۲	۷۴۰۱	۹۳	۷	۷/۱۴	۱/۵۲	۵۳	۴۵	۱/۲	۰/۵
آذربایجان غربی	۲	۲۹۵۹	۱۹۸	۳۱۵۷	۹۴	۶	۳/۰۶	۰/۶۱	۵۸	۴۵	۱/۵	۰/۶
اردبیل	۳	۱۰۷	۱۳۴	۲۴۱	۴۴	۵۶	۰/۱۱	۰/۴۲	۵۹	۴۵	۱/۳	۰/۴
اصفهان	۴	۶۸۸۶	۳۳۹	۷۲۲۵	۹۵	۵	۷/۱۱	۱/۰۵	۴۷	۳۵	۱/۲	۰/۵
البرز	۵	۳۳۶	۵	۳۴۱	۹۹	۱	۰/۳۵	۰/۰۲	۵۵	۴۰	۱/۶	۰/۵
ایلام	۶	۱۲۲	۲۳۲	۳۵۴	۳۴	۶۶	۰/۱۳	۰/۷۲	۵۶	۴۵	۰/۷	۰/۷
بوشهر	۷	۱۷	۲	۱۸	۹۱	۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۵۱	۳۵	۲/۶	–
تهران	۸	۵۱۸	–	۵۱۸	۱۰۰	–	۰/۵۴	–	۵۱	۴۵	۳	–
جنوب کرمان	۹	۱۹۳	–	۱۹۳	۱۰۰	–	۰/۲۰	–	۵۳	۳۵	۱/۶	–
چهارمحال و بختیاری	۱۰	۱۴۳۴۹	۸۲	۱۴۴۳۱	۹۹	۱	۱۴/۸۲	۰/۲۵	۵۴	۴۵	۱/۷	۰/۵
خراسان جنوبی	۱۱	۵۸۶۳	۳۵۲۱	۹۳۸۴	۶۲	۳۸	۶/۰۶	۱۰/۹۱	۵۲	۴۵	۱/۴	۰/۵
خراسان رضوی	۱۲	۶۵۵۶	۵۵۰۱	۱۲۰۵۷	۵۴	۴۶	۶/۷۷	۱۷/۰۵	۵۵	۴۵	۰/۸	۰/۳
خراسان شمالی	۱۳	۱۲۴۸	۱۵۵۰	۲۷۹۸	۴۵	۵۵	۱/۲۹	۴/۸۰	۵۷	۳۵	۲/۴	۰/۶
خوزستان	۱۴	۱۰۲	۹۱	۱۹۳	۵۳	۴۷	۰/۱۱	۰/۲۸	۵۳	۳۵	۲/۵	۱/۸
زنجان	۱۵	۱۶۸۵	۱۰۶	۱۷۹۱	۹۴	۶	۱/۷۴	۰/۳۳	۵۷	۳۵	۱/۵	۰/۵
سمنان	۱۶	۱۳۰۸	۹	۱۳۱۸	۹۹	۱	۱/۳۵	۰/۰۳	۵۳	۴۵	۱/۵	–
سیستان و بلوچستان	۱۷	۲۳۷	–	۲۳۷	۱۰۰	–	۰/۲۴	–	۵۱	۳۵	۱/۹	۰/۱
فارس	۱۸	۱۲۷۳۰	۱۴۴۷۱	۲۷۲۰۱	۴۷	۵۳	۱۳/۱۵	۴۴/۸۴	۵۸	۴۵	۲	۰/۷
قزوین	۱۹	۶۲۹۱	۲۳۵۹	۸۶۵۰	۷۳	۲۷	۶/۵۰	۷/۳۱	۵۷	۳۵	۱	۰/۴
قم	۲۰	۷۹۸	۲	۸۰۰	۱۰۰	۰	۰/۸۲	۰/۰۱	۵۴	۴۵	۱/۱	۰/۱
کردستان	۲۱	۵۲۳	۳۴۱	۸۶۴	۶۱	۳۹	۰/۵۴	۱/۰۶	۵۷	۳۵	۱/۱	۰/۶
کرمان	۲۲	۶۶۶۵	۶۵۸	۷۳۲۳	۹۱	۹	۶/۸۹	۲/۰۴	۵۵	۴۵	۱/۱	۰/۳
کرمانشاه	۲۳	۳۳۶۲	۵۸۵	۳۹۴۷	۸۵	۱۵	۳/۴۷	۱/۸۱	۵۹	۴۵	۲/۱	۰/۵
کهکیلویه و بویراحمد	۲۴	۶۹۲	۲۰۵	۸۹۷	۷۷	۲۳	۰/۷۱	۰/۶۴	۶۰	۴۵	۱/۲	۰/۸
لرستان	۲۵	۲۵۱۱	۱۴۰	۲۶۵۱	۹۵	۵	۲/۵۹	۰/۴۳	۶۰	۴۵	۱/۲	۰/۳
مرکزی	۲۶	۵۲۷۷	۱۲۴	۵۴۰۱	۹۸	۲	۵/۴۵	۰/۳۸	۵۴	۴۵	۱/۱	۰/۴
هرمزگان	۲۷	۷۳۲	۶	۷۳۸	۹۹	۱	۰/۷۶	۰/۰۲	۵۳	۳۵	۱/۵	۰/۱
همدان	۲۸	۴۲۸۸	۱۰۸۱	۵۳۶۹	۸۰	۲۰	۴/۴۳	۳/۳۵	۵۷	۴۵	۱/۴	۰/۵
یزد	۲۹	۳۵۲۸	۳۸	۳۵۶۶	۹۹	۱	۳/۶۴	۰/۱۲	۵۱	۳۵	۰/۵	۰/۲
کل	–	۹۷۷۹۲	۳۲۷۲	۱۲۹۰۶۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–	–
میانگین	–	–	–	–	–	–	–	–	۵۴	۴۱	۱/۴۷	۰/۱۹
ماکزیمم	–	۲۷۲۰۱	۱۴۴۷۱	۱۴۳۴۹	۱۰۰	۶۶	۱۴/۸۲	۴۴/۸۴	۶۰	۴۵	۰/۵	۰/۱
مینیمم	–	۱۸	۲	۱۷	۳۴	۱	۰/۱۱	۰/۰۳	۴۷	۳۵	۲/۱	۰/۸

پس از محاسبه اجزای ردپای اکولوژیکی آب ، مجموع هر یک از این اجزا در سطح استان به‌صورت متوسط وزنی این مقادیر با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

$$WFV_{i,x} = Prod_{i,x}\, WF_{i,x} \quad i= 1,\ldots,29 \qquad (۵)$$

$$AWF_{i,x} = \frac{\alpha_i\, WFV_{i,x}}{\alpha_i\, Prod_{i,x}} \qquad (۶)$$

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

میزان آب مجازی صادر شده (VWC_E, virtual water content exported) عبارت است از: اختلاف کل حجم اجزای ردپای اکولوژیکی عبارتست از: اختلاف کل حجم اجزای ردپای اکولوژیکی برحسب میلیون مترمکعب که صرف تولید محصول شده با آب مجازی مصرفی توسط جمعیت در داخل کشور؛ که آب مجازی مصرفی برای محصول مورد نظر، از حاصلضرب سرانه مصرف هر نفر در یک سال برای محصول مورد نظر در جمعیت آن کشور به‌دست می‌آید (۲۵). براساس الگوی پیشنهادی بهینه در طرح امنیت غذایی کشور (۲۴) میزان مصرف سرانه بادام هر ایرانی ۰/۵۰۲ گرم در سال است.

نتایج و بحث

ردپای اکولوژیکی آب در بادام دیم و فاریاب در ایران و استان‌های تولید کننده

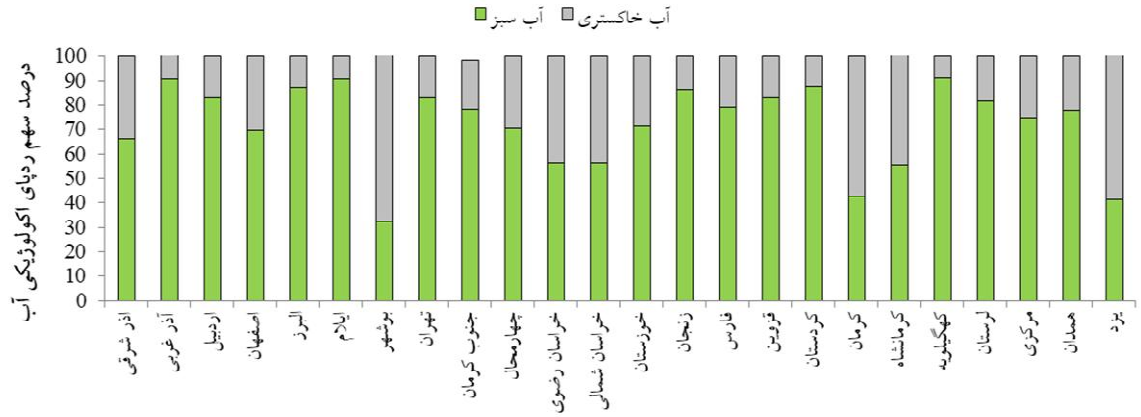
اجزای ردپای اکولوژیکی آب در محصول بادام دیم و فاریاب در جدول ۲ خلاصه شده است. در بادام دیم، ردپای اکولوژیکی آب سبز در محدوده ۱۳/۵–۰/۵ متر مکعب بر کیلوگرم و آب خاکستری ۸/۴–۰/۲ متر مکعب بر کیلوگرم متغیر است. میانگین کل ردپای اکولوژیکی آب در تولید بادام دیم در ایران ۹/۲ متر مکعب بر کیلوگرم که از این مقدار سهم آب سبز و خاکستری به‌ترتیب ۷۲ و ۲۸ درصد است. بررسی ردپای اکولوژیکی آب سبز در کشت دیم نشان می‌دهد، استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و ایلام دارای بالاترین سهم آب سبز (به‌ترتیب ۹۱ و ۹۰ درصد) و استان بوشهر کمترین ردپای اکولوژیکی آب سبز را دارد (۳۳ درصد) (شکل ۱).

لذا در بررسی ردپای اکولوژیکی آب سبز، در اراضی دیم و فاریاب در استان‌های تولید کننده بادام در ایران می‌توان گفت، تفاوت در شرایط آب‌وهوایی، میزان بارش و شرایط متفاوت خاک، منجر به تنوع در مقدار آن شده است، اگرچه استان‌های غربی و جنوب غربی به‌دلیل بارش مناسب دارای بارش مؤثر بالایی هستند، اما همین استان‌ها، دارای ردپای آب سبز بالایی هستند که آنها را مستعد کشت دیم می‌سازد.. لذا تغییر گزینه‌های مدیریتی در مرحله کاشت، داشت و به‌کارگیری سامانه‌های آبگیر 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 زیادی به توسعه کشت در مناطق و تبدیل اراضی بادام فاریاب به دیم کند (۱۹).

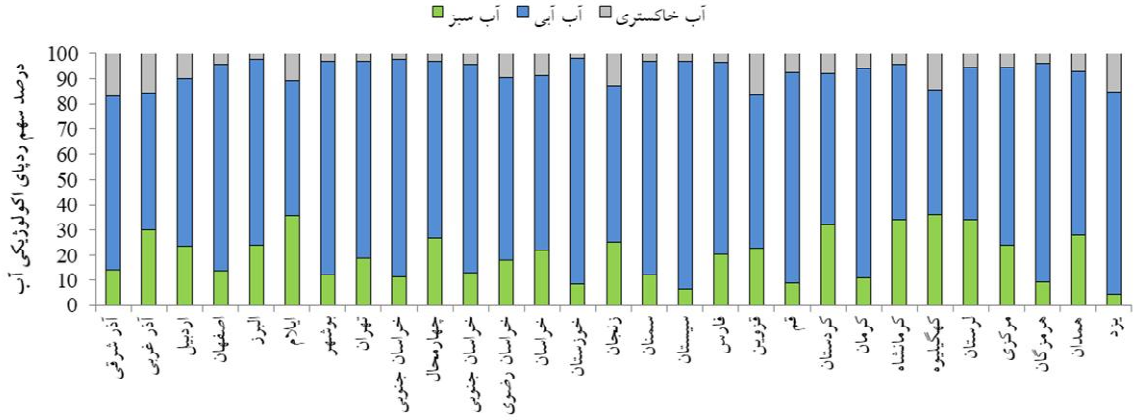
در بادام فاریاب، ردپای اکولوژیکی آب سبز در محدوده ۷/۲–۰/۴ متر مکعب بر کیلوگرم ، آب آبی ۲۶/۴–۲/۵ متر مکعب بر کیلوگرم و آب خاکستری ۱/۴–۰/۶ متر مکعب بر کیلوگرم متغیر است. میانگین کل ردپای اکولوژیکی آب در تولید بادام در استان-های منتخب ۱۱/۴ متر مکعب بر کیلوگرم است که از این مقدار ۱۹ درصد آب سبز، ۷۱ درصد آب آبی و ۱۰ درصد آب خاکستری است (شکل ۳). در بادام فاریاب، متوسط ردپای آب سبز، ۲/۲ متر مکعب بر کیلوگرم است که استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام، لرستان و کرمانشاه دارای بالاترین سهم به‌ترتیب ۳۶، ۳۵ و ۳۴ درصد و استان‌های یزد و قم و سیستان و بلوچستان با ۴، ۶ و ۸ درصد کمترین سهم ردپای اکولوژیکی آب سبز را دارند (شکل ۲). آب آبی را دارا هستند. ردپای اکولوژیکی آب خاکستری در تولید بادام فاریاب در ایران حدود ۱/۱ متر مکعب بر کیلوگرم است که استان‌های آذربایجان شرقی، قزوین و آذربایجان غربی به‌ترتیب با ۱۷، ۱۶ و ۱۵ درصد بیشترین سهم ردپای اکولوژیکی آب خاکستری و استان خوزستان و خراسان جنوبی

جدول ۲. اجزای ردپای اکولوژیکی آب در بادام دیم و فاریاب در استان‌های تولید کننده بادام در ایران

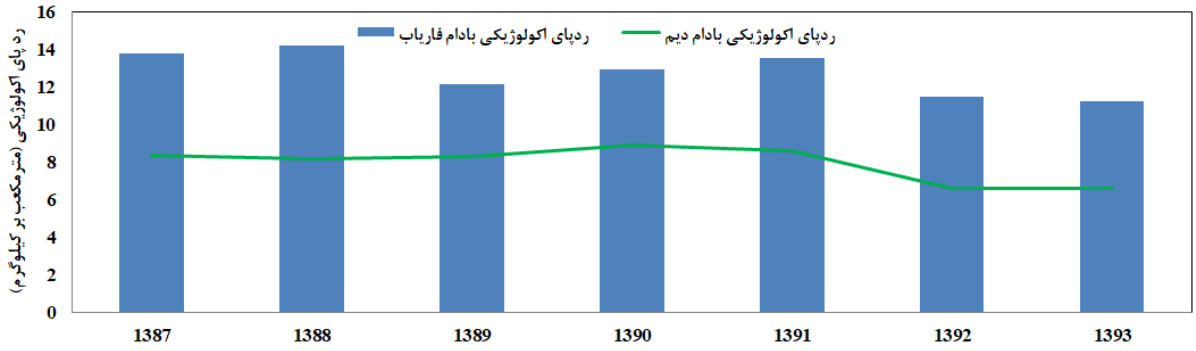
استان	ردپای اکولوژیکی آب در بادام دیم (متر مکعب بر کیلوگرم)			ردپای اکولوژیکی آب در بادام فاریاب (متر مکعب بر کیلوگرم)			
	سبز	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری	کل
آذربایجان شرقی	۹/۳	۴/۷	۱۴	۵/۴	۲۶/۴	۶/۴	۳۸/۲
آذربایجان غربی	۹/۷	۱/۱	۱۰/۸	۳/۳	۵/۹	۱/۷	۱۰/۹
اردبیل	۴/۹	۱	۵/۹	۲/۴	۶/۸	۱	۱۰/۲
اصفهان	۴/۶	۲	۶/۶	۱/۲	۷/۳	۰/۴	۸/۹
البرز	۲/۷	۰/۴	۳/۱	۱/۱	۳/۴	۰/۱	۴/۶
ایلام	۴/۸	۰/۵	۵/۳	۷/۲	۱۰/۸	۲/۲	۲۰/۲
بوشهر	۳/۹	۸/۲	۱۲/۱	۰/۸	۵/۶	۰/۲	۶/۶
تهران	-	-	-	۰/۶	۲/۵	۰/۱	۳/۲
جنوب کرمان	-	-	-	۰/۹	۷/۱	۰/۲	۸/۲
چهارمحال و بختیاری	۵/۴	۱/۴	۶/۹	۱/۷	۴/۴	۰/۲	۶/۳
خراسان جنوبی	۲/۴	۱	۳/۴	۰/۹	۵/۹	۰/۳	۷/۱
خراسان رضوی	۱۰/۹	۸/۴	۱۹/۳	۲/۶	۱۰/۳	۱/۴	۱۴/۳
خراسان شمالی	۹/۲	۷/۱	۱۶/۳	۲/۵	۷/۸	۱	۱۱/۳
خوزستان	۰/۵	۰/۲	۰/۷	۰/۴	۴/۴	۰/۱	۴/۹
زنجان	۱۳/۵	۲/۱	۱۵/۶	۳/۲	۷/۸	۱/۶	۱۲/۶
سمنان	-	-	-	۰/۸	۵/۷	۰/۲	۶/۷
سیستان و بلوچستان	-	-	-	۰/۴	۵/۸	۰/۲	۶/۴
فارس	۳/۴	۰/۹	۴/۳	۱/۱	۴/۱	۰/۲	۵/۴
قزوین	۶/۴	۱/۳	۷/۷	۴/۹	۱۳	۳/۵	۲۱/۴
قم	-	-	-	۱/۱	۱۰/۸	۱	۱۲/۹
کردستان	۶/۴	۰/۹	۷/۳	۳/۲	۶	۰/۸	۱۰
کرمان	۵/۴	۷/۲	۱۲/۶	۱/۴	۱۰/۸	۰/۸	۱۳
کرمانشاه	۹/۸	۷/۹	۱۷/۶	۱/۶	۲/۹	۰/۲	۴/۷
کهکیلویه و بویراحمد	۷/۲	۰/۷	۷/۹	۵/۷	۷/۷	۲/۳	۱۵/۷
لرستان	۱۰/۸	۲/۴	۱۳/۲	۳	۵/۳	۰/۵	۸/۸
مرکزی	۶/۵	۲/۲	۸/۷	۲/۲	۶/۴	۰/۵	۹/۱
هرمزگان	-	-	-	۱/۱	۱۰/۷	۰/۵	۱۲/۳
همدان	۷/۷	۲/۲	۹/۹	۲/۳	۵/۳	۰/۶	۸/۲
یزد	۱/۲	۱/۸	۲/۹	۱/۱	۲۱/۶	۴/۱	۲۶/۸
میانگین	۶/۴	۲/۹	۹/۲	۲/۲	۸	۱/۱	۱۱/۴
ماکزیمم	۱۳/۵	۸/۴	۱۹/۳	۷/۲	۲۶/۴	۶/۴	۳۸/۲
مینیمم	۰/۵	۰/۲	۰/۷	۰/۴	۲/۵	۰/۱	۳/۲



شکل ۱. سهم اجزای ردپای اکولوژیکی آب در بادام دیم در استان‌های تولید کننده بادام در ایران (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. سهم اجزای ردپای اکولوژیکی آب در بادام فاریاب در استان‌های تولید کننده بادام در ایران (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. تغییرات زمانی اجزای ردپای آب در محصول بادام دیم و فاریاب در ایران (رنگی در نسخه الکترونیکی)

بالاترین میزان ردپای اکولوژیکی آب در تولید بادام فاریاب مربوط به آب آبی با ۲۶/۴ متر مکعب بر کیلوگرم است. از این نقطه‌نظر استان‌های سیستان و بلوچستان، خوزستان و هرمزگان به‌ترتیب با ۹۰، ۸۹ و ۸۸ درصد بیشترین سهم آب آبی را نسبت به مجموع ردپای اکولوژیکی آب در کشور دارا هستند. در مقابل استان‌های کهگیلویه، آذربایجان غربی، کرمانشاه و لرستان با حدود ۴۹، ۵۴ و ۶۰ درصد کمترین سهم ردپای اکولوژیکی با کمترین سهم ردپای اکولوژیکی آب خاکستری به‌ترتیب ۲ و

۲/۴ درصد را دارا هستند.

ردپای اکولوژیکی آب بر اجزای مصرف آب شامل آب سبز، آبی و خاکستری دلالت دارد که کل مصرف آب از زمان کاشت تا برداشت است. که هر یک اثرات و هزینه‌های متفاوتی بر آب در دسترس دارند. مصرف آب سبز در تولید محصولات دیم از آب باران است که روی محیط زیست اثرات سوئی ندارد و در مقابل در کشت آبی، آب آبی از آب‌های سطحی و یا زیرزمینی است که اثرات آن بر محیط زیست مشهود است و آب خاکستری نیز سبب آلوده شدن آب و خاک می‌شود (۲۰ و ۲۱). لذا WF به مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در تولید محصولات کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن دارد که کاربرد آن می‌تواند ارزیابی جامع‌تری از ارزش اقتصادی آب، بهره‌وری آب زراعی و اولویت‌بندی زمانی و مکانی کشت به ما ارائه دهد (۱۵).

متوسط کل ردپای اکولوژیکی آب در تولید بادام در ایران ۱۰/۴ متر مکعب بر کیلوگرم است، که این مقدار در مقیاس جهانی توسط هوکسترا و چاپاگین (۱۱)؛ ۹/۸ متر مکعب برکیلوگرم، در کالیفرنیا ۱۰/۲۴ متر مکعب برکیلوگرم (۹) و در تونس (۸) ۲۰/۸ متر مکعب بر کیلوگرم گزارش شده است. تفاوت در مدیریت کاشت، داشت و برداشت، مصرف کود زیاد در اراضی کم بازده، شرایط آب‌وهوایی، عرض جغرافیایی و خاک از جمله مهم‌ترین دلایل در میزان ردپای اکولوژیکی آب در نواحی مختلف است.

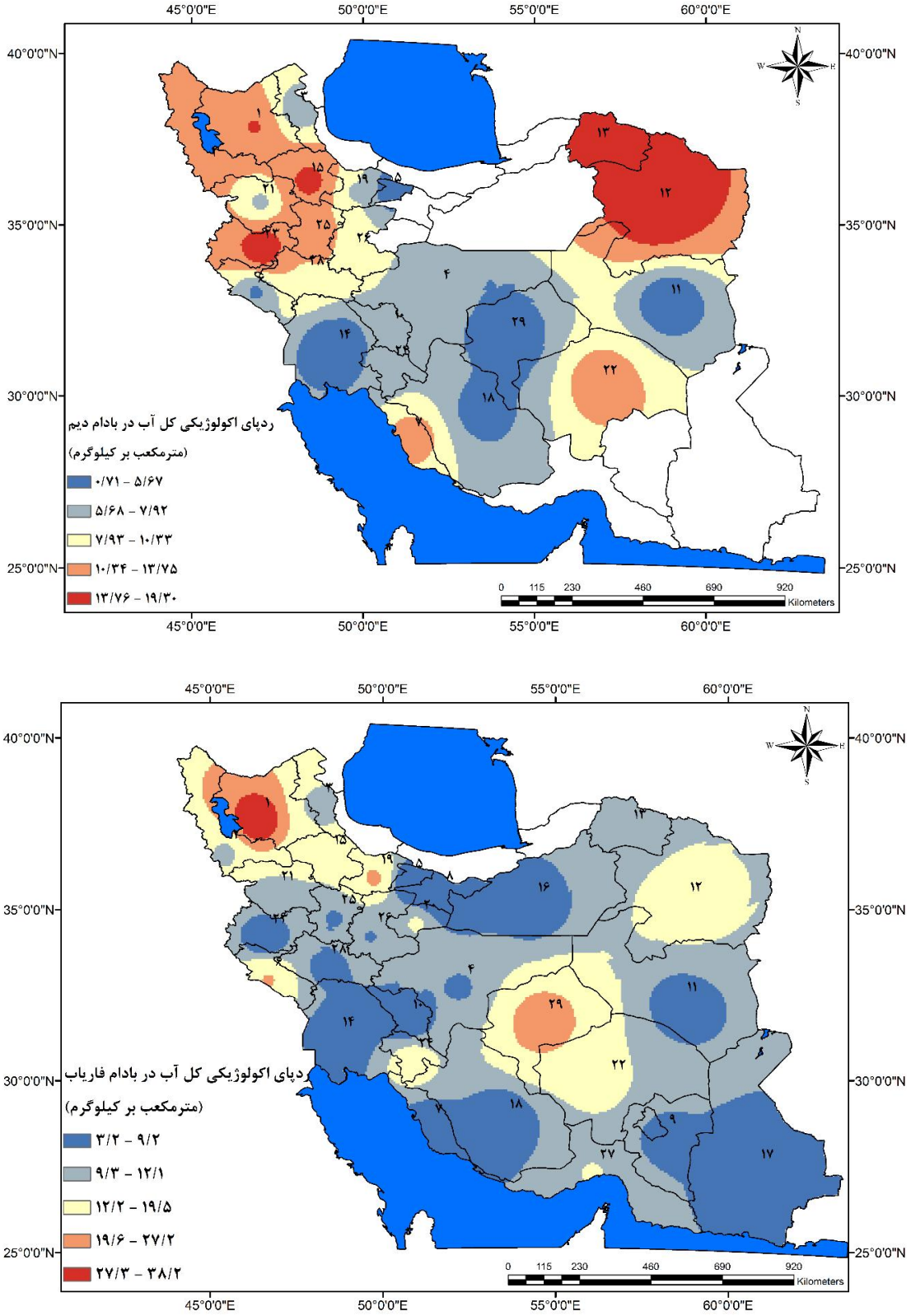
تغییرات زمانی و مکانی ردپای اکولوژیکی آب در محصول دیم و فاریاب بادام در ایران

برای بررسی تغییرات زمانی ردپای اکولوژیکی در بادام دیم و فاریاب، میزان ردپا در هر محصول (دیم و فاریاب) در کل کشور به‌صورت میانگین تمام استان‌ها برآورد شد. شکل ۳، تغییرات زمانی ردپا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان کل ردپای آب در بادام فاریاب بیشتر از دیم است اما روند تغییرات ردپا در دو محصول طی دوره مورد مطالعه تقریباً مشابه است. طی سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ مقدار ردپای دو محصول بیشتر از سایر سال‌ها برآورد شده است. در این سال‌ها، طبق گزارش سازمان هواشناسی (۱۴)، خشکسالی‌های شدیدی در ایران گزارش شده است. خشکسالی‌ها منجر به افزایش نیاز آبی، کاهش عملکرد و متعاقباً افزایش ردپای آب می‌شود (۵).

شکل ۴، تغییرات مکانی ردپای اکولوژیکی آب در محصول دیم و فاریاب را در ایران در ۲۲ استان نمایش می‌دهد. بر اساس شکل فوق، دامنه تغییرات ردپای اکولوژیکی آب در بادام دیم در ایران ۰/۷ تا ۱۹/۳ متر مکعب بر کیلوگرم در سال است که، کمترین ردپا مربوط به بخش‌های مرکزی و جنوب غربی ایران و بیشترین ردپا مربوط به بخش‌های شمال شرق و شمال غرب ایران است. در مورد بادام فاریاب، دامنه تغییرات ردپای اکولوژیکی بین ۳/۲ تا ۳۸/۳ متر مکعب بر کیلوگرم در سال است که عموم مناطق کشور در محدوده تغییرات ۳/۲ تا ۱۲/۱ متر مکعب بر کیلوگرم قرار دارند. تنها وسعت کمی از کشور در محدوده زیادی از ردپای اکولوژیکی هستند، که شامل بخش کوچکی در مرکز و شمال‌غرب ایران است.

حجم آب مجازی و تجارت آب مجازی در محصول بادام دیم و فاریاب در مقیاس ملی و استانی

بررسی حجم آب مجازی نشان می‌دهد (جدول ۳) به‌طور متوسط سالانه ۱۹۲۳ میلیون متر مکعب آب مجازی صرف بادام دیم می‌شود که ۱۲۷۳ آن آب سبز و تقریباً نیمی از آن (۶۵۱ میلیون متر مکعب) آب خاکستری است. بر اساس نتایج، در استان البرز، تقریبا ۹۹ درصد از کل باغات دیم آن توسط آب سبز تأمین شده و به‌خاطر پایین بودن مصرف کود، حجم آب مجازی خاکستری بسیار ناچیز است. استان کردستان، کهگیلویه و بویراحمد و ایلام نیز در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. این استان‌ها دارای پتانسیل بالای توسعه کشت دیم هستند و برای توسعه کشت دیم در آنها بایستی سازمان‌های متولی امر، به‌دنبال



شکل ۴. تغییرات مکانی اجزای ردپای آب در محصول بادام دیم و فاریاب در ایران (کد هر استان در جدول ۱ ارائه شده است.)

(رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. متوسط حجم آب مجازی در بادام دیم و فاریاب در استان‌های تولید کننده بادام در ایران

استان	کل حجم آب مجازی در بادام دیم (میلیون متر مکعب)			کل حجم آب مجازی در بادام فاریاب (میلیون متر مکعب)				سهم ملی (درصد)	
	سبز	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری	کل	دیم	آبیاری
آذربایجان شرقی	۳۲	۱۶/۱	۴۸/۱	۲۶۲/۵	۱۲۷۹/۱	۳۰۸/۱	۱۸۴۹/۷	۲/۵	۲۲/۴
آذربایجان غربی	۱۳/۴	۱/۵	۱۴/۹	۶۷/۶	۱۲۲/۱	۳۵/۵	۲۲۵/۲	۰/۸	۲/۷
اردبیل	۴/۶	۱	۵/۵	۱/۸	۵/۱	۰/۷	۷/۶	۰/۳	۰/۱
اصفهان	۱۰/۹	۴/۸	۱۵/۷	۵۵/۹	۳۵۰/۲	۱۷/۹	۴۲۴	۰/۸	۵/۱
البرز	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۱/۹	۵/۷	۰/۲	۷/۸	۰/۰	۰/۱
ایلام	۸/۸	۰/۸	۸/۶	۶/۲	۹/۲	۱/۹	۱۷/۳	۰/۴	۰/۲
بوشهر	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶	۰/۰۰۱	۰/۷	۰/۰۱	۰/۰۱
تهران	-	-	-	۲/۳	۹/۲	۰/۲	۱۱/۷	-	۰/۱
جنوب کرمان	-	-	-	۱/۳	۹/۶	۰/۳	۱۱/۲	-	۰/۱
چهارمحال و بختیاری	۳/۱	۰/۸	۳/۹	۱۶۷/۵	۴۴۳/۱	۲۱/۵	۶۳۲/۱	۰/۲	۷/۷
خراسان جنوبی	۵۹/۲	۲۴/۳	۸۳/۵	۳۶/۱	۲۴۲/۳	۱۰/۶	۲۸۹	۴/۳	۳/۵
خراسان رضوی	۴۱۹/۲	۳۲۲/۴	۷۴۱/۵	۱۲۱/۵	۴۷۱/۶	۶۴/۲	۶۵۷/۳	۳۸/۶	۸/۱
خراسان شمالی	۹۹/۶	۷۷/۴	۱۷۷	۲۲/۲	۶۸/۵	۸/۷	۹۹/۴	۹/۲	۱/۲
خوزستان	۰/۳	۰/۱	۰/۵	۰/۳	۳/۱	۰/۱	۳/۵	۰/۰۱	۰/۰۱
زنجان	۱۰	۱/۵	۱۱/۶	۳۷/۹	۹۱/۷	۱۸/۴	۱۴۸	۰/۶	۱/۸
سمنان	-	-	-	۶/۹	۵۲/۳	۲/۲	۶۱/۴	-	۰/۷
سیستان و بلوچستان	-	-	-	۰/۷	۹/۶	۰/۳	۱۰/۶	-	۰/۱
فارس	۳۴۱/۱	۸۹/۴	۴۳۰/۵	۱۰۲/۱	۳۶۷/۵	۱۵/۳	۴۸۴/۹	۲۲/۳	۵/۹
قزوین	۱۰۶	۲۰/۷	۱۲۶/۷	۲۱۷/۵	۵۷۱/۵	۱۵۴/۸	۹۴۳/۸	۶/۶	۱۱/۴
قم	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶/۳	۶۰/۱	۵/۸	۷۲/۲	۰/۰۱	۰/۹
کردستان	۱۵/۳	۲/۱	۱۷/۴	۱۱/۷	۲۲/۱	۲/۹	۳۶/۷	۰/۹	۰/۴
کرمان	۲۵	۳۳	۵۸	۶۳/۱	۵۰۱/۸	۳۵/۳	۶۰۰/۲	۳	۷/۳
کرمانشاه	۴۰/۱	۳۲/۲	۷۲/۳	۳۸/۷	۶۹/۴	۴	۱۱۲/۱	۳/۸	۱/۴
کهکیلویه و بویراحمد	۱۰/۳	۱	۱۱/۳	۲۷/۵	۳۷/۳	۱۱/۳	۷۶/۱	۰/۶	۰/۹
لرستان	۱۰/۶	۲/۴	۱۳	۵۲/۱	۹۳/۸	۸	۱۵۳/۹	۰/۷	۱/۹
مرکزی	۵/۶	۱/۹	۷/۵	۸۰/۱	۲۳۶/۶	۱۷/۴	۳۳۴/۱	۰/۴	۴/۱
هرمزگان	-	-	-	۵/۴	۵۴/۹	۲/۵	۶۲/۸	-	۰/۸
همدان	۵۷/۹	۱۶/۸	۷۴/۸	۶۹/۷	۱۵۹/۷	۱۸/۴	۲۴۷/۸	۳/۹	۳
یزد	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۲۷/۳	۵۳۳/۳	۱۰۲/۳	۶۶۲/۹	-	۸
مجموع	۱۲۷۲/۵	۶۵۰/۸	۱۹۲۳/۳	۱۴۹۲/۲	۵۸۸۱	۸۶۸/۸	۸۲۴۴	۱۰۰	۱۰۰
میانگین	۵۳	۲۷/۱	۸۰/۱	۵۱/۵	۲۰۲/۸	۳۰	۲۸۴/۳	-	-
ماکزیمم	۴۱۹/۲	۳۲۲/۴	۷۴۱/۵	۲۶۲/۵	۱۲۷۹/۱	۳۰۸/۱	۱۸۴۹/۷	۳۸/۶	۲۲/۴
مینیمم	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۱	۰/۶	۰/۱	۰/۷	۰/۰۱	۰/۰۱

سیاست‌های تشویقی باشند. در مقیاس ملی، استان خراسان رضوی و فارس بالاترین حجم آب مجازی مصرفی ۱۱۷۲ میلیون متر مکعب (معادل ۶۱ درصد کل حجم آب) در بخش دیم را دارد. این دو استان در مجموع ۶۲ درصد از محصول بادام دیم را در سطح ملی تولید می‌کنند. افزایش عملکرد در واحد سطح و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، سبب کاهش ردپای اکولوژیکی آب در این دو استان و کاهش حجم کل ردپای بادام دیم در سطح کشور می‌شود.

متوسط حجم آب مجازی در بادام فاریاب در ایران سالانه ۸۲۴۴ میلیون متر مکعب است که از این مقدار به‌ترتیب حجم آب سبز، آبی و خاکستری ۱۴۹۴، ۵۸۸۱ و ۸۶۹ میلیون متر مکعب است. که استان‌هایی نظیر آذربایجان شرقی، قزوین و خراسان رضوی با مجموع ۱۸۴۹، ۹۴۴ و ۶۵۸ میلیون متر مکعب، باعث حجم بسیار بالای ردپای اکولوژیکی آب در تولید بادام فاریاب شده است. در این سه استان سهم بالایی (حدود ۸۶، ۷۷ و ۸۱ درصد) از مجموع ردپای اکولوژیکی آب سبز و آبی است که حدود ۴۱/۵ درصد از کل ردپای بادام در اراضی فاریاب در ایران در مقیاس ملی را به‌خود اختصاص داده است.

در مجموع سالانه به‌طور متوسط، حجم کل آب مجازی ناشی از بادام دیم و فاریاب ۱۰۱۶۷ میلیون متر مکعب است. سرانه مصرف هر ایرانی ۰/۵ کیلوگرم در سال است که با درنظر گرفتن متوسط جمعیت ۸۰ میلیون نفری طی دوره آماری مورد بررسی (۲۴)، ۸۲۴ میلیون متر مکعب حجم آب مجازی مصرف شده توسط جمعیت در داخل ایران است و سالانه ۹۳۴۳ میلیون متر مکعب آب به‌صورت مجازی به دیگر کشورها صادر می‌شود. در بررسی حجم آب مجازی گندم، جو و ذرت در ایران توسط آبابایی و رمضانی اعتدالی (۱)، نتایج نشان داد، حدود نیمی از آب برگشت‌پذیر (۴۸۴۹۶ میلیون متر مکعب) در ایران صرف کشت این محصولات می‌شود که بیشترین سهم آب مجازی در ایران مربوط به گندم (۲۷ درصد کل حجم آب برگشت‌پذیر) است. با درنظر گرفتن صدهزار میلیون متر مکعب حجم آب برگشت‌پذیر در ایران، سالانه ده درصد از این حجم صرف تولید بادام در ایران می‌شود.

۴۹ درصد از سطح زیر کشت باغات بادام در ایران دیم بوده که حجم آب مجازی آن، سالانه یک چهارم حجم آب مجازی بادام فاریاب است. باغات فاریاب در ایران وابستگی زیادی به آب‌های زیرزمینی دارند. لذا، مدیریت زراعی کابردی و پیرو آن بهره‌وری از بارش برای توسعه باغات دیم، حفاظت از منابع آبی، ذخیره حجم زیادی از آب در منطقه و کاهش ردپای اکولوژیکی آب آبی فراهم می‌سازد.

با توجه به بررسی تجارت آب مجازی در بادام، از کل آب مجازی صرف شده تنها حدود ۸ درصد آن در داخل کشور مصرف شده و ۹۲ درصد آن به کشورهایی نظیر امارات متحده عربی، ترکیه، قطر، ترکمنستان، افغانستان، هند، بحرین و کویت صادر می‌شود (۱۸). لذا با درنظر گرفتن مزیت اقتصادی محصولات کشاورزی و صادرات محصولات با مصرف آب پایین‌تر، می‌توان به ذخیره و حفظ منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور کمک زیادی کرد.

حجم آب مجازی آب خاکستری در بادام دیم و فاریاب مقادیر تقریباً مشابهی هستند و در مجموع سالانه به‌طور متوسط ۱۴۲۷ میلیون متر مکعب آب، صرف رقیق‌سازی کودهای شیمیایی در این اراضی می‌شود، لذا مدیریت بهینه کود شیمیایی و استفاده از انواع کودهای ارگانیک و زیستی نه تنها سبب کاهش ردپای اکولوژیکی آب خاکستری می‌شود، بلکه آلودگی آب و خاک ناشی از آن را کاهش می‌دهد (۴).

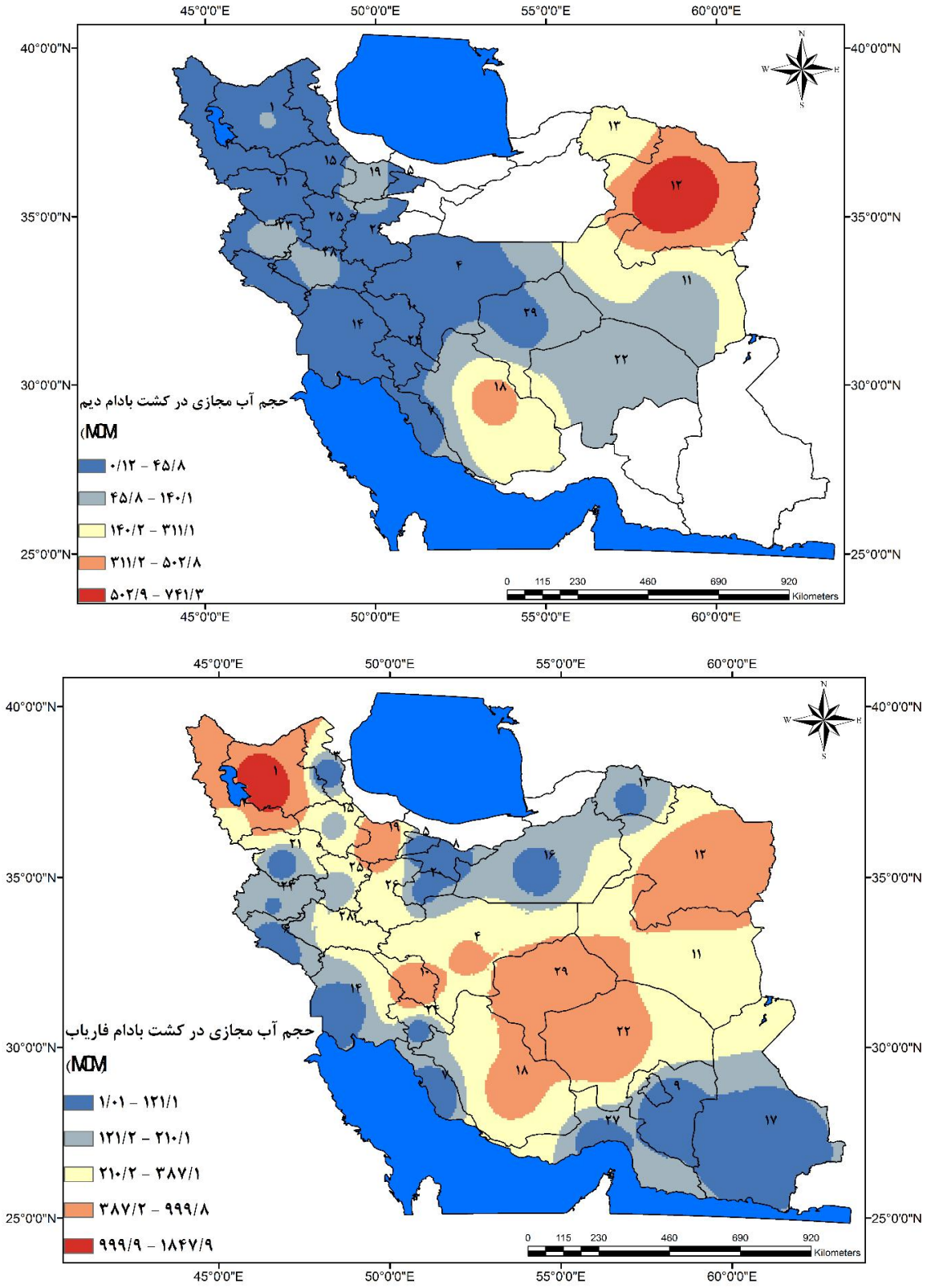
سهم آب مجازی آبی در بادام فاریاب در ایران، ۷۰ درصد است که حجم ناشی از آن بالغ بر ۵۸۸۱ میلیون متر مکعب است. ۷۰ درصد سطح زیر کشت بادام در ایران در استان‌های خشک و نیمه‌خشک است که با میزان بارش مؤثر کم، تبخیر و تعرق و نیاز آبی بالای گیاه مواجه هستند. از طرفی در این استان‌ها تلفات آبیاری به‌دلیل شیوه

نامناسب آبیاری نیز سبب افزایش سهم ردپای اکولوژیکی آب آبی شده است، به‌طوری که عدم مدیریت صحیح و نامناسب در نحوه آبیاری، و استفاده از روش‌های آبیاری سنتی (غرقابی) سبب افزایش ردپای اکولوژیکی آب شده است که لزوم کنترل تلفات آبیاری، افزایش راندمان آبیاری به‌کمک روش‌های نوین و تاریخ مناسب آبیاری در این استان‌ها برای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد ضروری به‌نظر می‌رسد. بیشترین سطح زیر کشت بادام فاریاب و حجم آب مصرفی مربوط به استان چهارمحال، خراسان رضوی، کرمان و یزد است. با توجه به محدود بودن آب های سطحی و تنش‌های آبی موجود در آنها، تقریباً کل آب آبی از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. از طرفی، اراضی دیم این استان‌ها نیز عملکرد پایینی دارند. مدیریت و افزایش بهره‌وری اراضی زراعی دیم می‌تواند راه حلی مناسب برای حفظ منابع آبی تجدیدپذیر و استفاده مؤثر از بارش در منطقه باشد.

تغییرات مکانی و زمانی حجم آب مجازی و تجارت آب مجازی در ایران

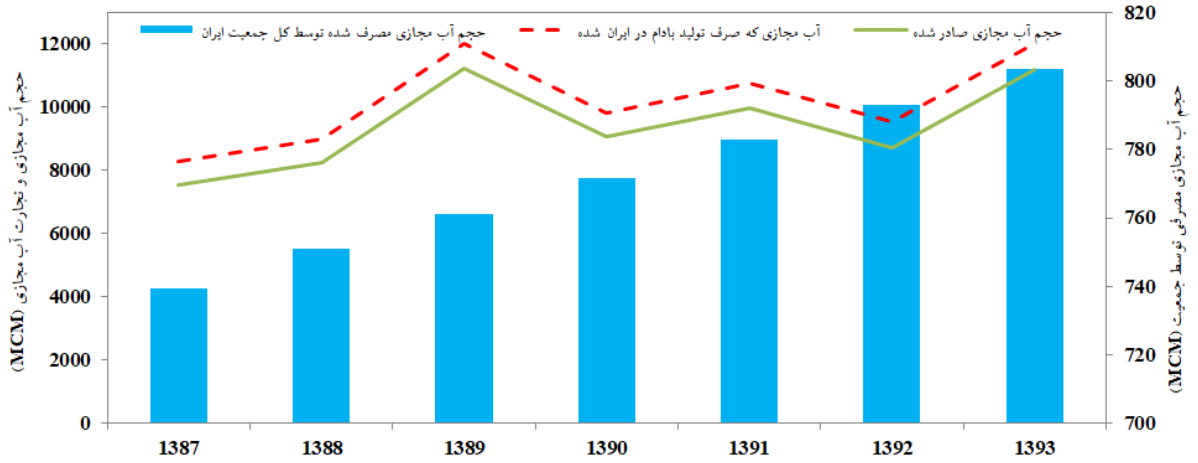
تغییرات مکانی حجم کل آب مجازی بر حسب میلیون متر مکعب در سال، در مقیاس استانی در سطح کشور ایران در شکل ۵ نمایش داده شده است. بر این اساس، محدوده تغییرات حجم آب مجازی ناشی از تولید بادام دیم در ایران بین ۰/۱۲ تا ۷۴۱ میلیون متر مکعب است و استان‌هایی که عمده‌ترین تولیدکنندگان بادام دیم هستند، در محدوده ۰/۱۲ تا ۱۴۰ میلیون متر مکعب قرار می‌گیرد. این استان‌ها، میزان ردپای اکولوژیکی کمتری را نیز به‌خود اختصاص می‌دهند. عمده‌ترین تولیدکنندگان بادام دیم استان فارس، خراسان رضوی هستند که میزان آب مجازی بالایی را نیز به‌خود اختصاص داده‌اند. درخصوص تغییرات مکانی آب مجازی در بادام فاریاب، گفتنی است که پهنه زیادی از کشور، در محدوده تغییرات ۱/۱ تا ۳۸۷ میلیون متر مکعب بوده و از پراکنش تقریباً منظمی برخوردار است. بخش‌های مرکزی و شمال غربی ایران دارای حجم بالایی از آب مجازی هستند. بیشترین سهم تولید در تولید بادام آبی در کشور را استان چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی و فارس به‌خود اختصاص می‌دهد، اما بیشترین حجم آب مجازی با توجه به ردپای اکولوژیکی بالا، مربوط به بخش‌های شمال غربی ایران است.

برای بررسی تغییرات زمانی حجم آب مجازی، میزان کل آب مجازی مصرف شده در تولید بادام در ایران به‌ازای هر سال برآورد شد و برای محاسبه تجارت آب مجازی در هر سال، میزان سرانه مصرف جمعیت هر استان به‌صورت جداگانه محاسبه و برای تمامی استان‌ها در مقیاس ملی برآورد شد. شکل ۶، تغییرات حجم آب مجازی که صرف تولید بادام شده، مصرف آب مجازی توسط جمعیت در هر سال و تجارت سالانه آب مجازی را در مقیاس ملی نمایش می‌دهد. بر اساس نتایج، طبق افزایش جمعیت از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲، میزان مصرف آب مجازی توسط جمعیت نیز افزایش یافته است. تجارت آب مجازی از اختلاف میزان آب مجازی که صرف تولید محصول مورد نظر شده به آب مجازی مصرف شده در داخل کشور توسط جمعیت برآورد می‌شود. طی سال‌های مورد بررسی، با توجه به روند افزایش جمعیت، میزان تجارت آب مجازی نیز کاهش یافته است، به‌طوری که طی سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ ، کاهش محسوسی دیده می‌شود. طی این سال‌ها، میزان آب مجازی که صرف تولید بادام شده نیز کاهش یافته است. کاهش تجارت آب مجازی، به تغییرات جمعیت و آب مجازی که سالانه صرف تولید شده بستگی دارد. لذا طبق نتایج به‌دست آمده در بررسی تغییرات زمانی ردپای آب بادام طی دوره مورد مطالعه (شکل ۳)، مهم‌ترین دلیل کاهش کل حجم آب مجازی که صرف تولید بادام شده (شکل ۶) و متعاقباً کاهش تجارت آب مجازی، کاهش ردپای آب در این سال‌هاست.



شکل ۵- تغییرات مکانی حجم کل آب مجازی در محصول بادام دیم و فاریاب در ایران (کد هر استان در جدول ۱ ارائه شده است)

(رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. تغییرات زمانی حجم آب مجازی و تجارت آب مجازی در ایران (رنگی در نسخه الکترونیکی)

نتیجه‌گیری

تحقیق فوق با هدف تغییرات زمانی و مکانی ردپای اکولوژیکی آب، حجم آب مجازی و تجارت آب مجازی در محصول بادام در اراضی دیم و فاریاب کشور صورت پذیرفته است. ۲۹ استان در کشت فاریاب و ۲۴ استان در کشت دیم، به این محصول باغی مبادرت می‌ورزند. ایران چهارمین تولید کننده بادام در دنیاست که سالانه حجم زیادی از محصول تولید شده را روانه کشورهای همسایه می‌کند.

طی دوره مورد مطالعه، میزان ردپای اکولوژیکی آب و سطح زیر کشت در ایران افزایش یافته و عملکرد کاهش یافته است (کشت دیم و آبی). با توجه به دو دهه خشکسالی فراگیر در ایران، بخش اعظم تولید بادام فاریاب در ایران ناشی از مصرف آب آبی و خاکستری، از طریق استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی است. ارزیابی این شاخص در مقیاس ملی و استانی و آگاهی از سهم هر استان به لحاظ ردپای اکولوژیکی آب در تولید این محصول می تواند گام مهمی در جهت صنعت پایدار بادام در ایران باشد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد، پتانسیل بالقوه اراضی دیم که ۴۹ درصد از سطح زیر کشت بادام را در ایران به‌خود اختصاص می‌دهد، می‌تواند سبب کاهش ردپای اکولوژیکی آب در تولید بادام در مقیاس ملی و استانی شود. چرا که میزان حجم آب مجازی مصرفی ناشی از تولید آن تقریباً یک چهارم کشت فاریاب است. لذا توجه به تبدیل اراضی فاریاب در مناطق مستعد به کشت دیم با اصلاح شیوه‌های مدیریت آب و زمین امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

منابع آب به‌ویژه در مناطق مرکزی ایران بسیار محدود و در حال حاضر تنش‌های آبی رو به افزایش است، که نتیجه سیاست نادرست دولت در توسعه اراضی کشاورزی طی دو دهه گذشته بوده است. طی بیست سال گذشته، سیاست دولت ایران، خودکفایی تولید محصولات استراتژیک بوده و هیچگاه تولید، توسعه و یا توقف کشت و صادرات و واردات محصولات کشاورزی با دیدگاه آب مجازی، ردپای اقتصادی و ردپای اکولوژیکی آب نبوده است. اما به‌تازگی در برنامه ششم توسعه در دستور کار قرار گرفته است. لذا با توجه به این مقوله می‌توانیم با برنامه‌ریزی صحیح کشت محصولات کشاورزی، میزان دسترسی خود را به منابع آب جهانی افزایش دهیم.

نتایج این تحقیق مشخص کرد که با توجه به محدودیت آب و خاک در ایران، شاخص ردپای اکولوژیکی، میزان حجم آب مجازی و آگاهی از تجارت آب مجازی اطلاعات مفیدی را برای اولویت‌بندی کشت محصول در مناطق مستعد ارائه می‌کند و درنهایت 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 مورد استفاده

1. Ababaei, B. and H. Ramezani Etedali. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management* 179: 401-411.
2. Ababaei, B. and H. Ramezani Etedali. 2015. Estimation of water footprint parsts in national wheat production. *Journal of Water and Soil* 29(6): 1458-1468. (In Farsi).
3. Allan, J. A. 1997. 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.
4. Bazrafshan, O., H. Ramezani Etedali, Z. Gerkani Nezhad Moshizi and M. Shamili. 2019a. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management* 213: 368-374.
5. Bazrafshan, O., H. Zamani, H. Ramezani Etedali and S. Dehghanpir. 2019b. Assessment of citrus water footprint components and impact of climatic and non-climatic factors on them. *Scientia Horticulturae* 250: 344-351.
6. Bazrashan, O. and Z. Gerkaninezhad Moshizi. 2018. The impacts of climate variability on spatiotemporal water of tomato production in the Hormozgan. *Journal of Water and Soil* 32(1): 29-43. (In Farsi).
7. Chapagain, A. K., A. Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije and R. Gautam. 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics* 60: 186-203.
8. Chouchane, H., A. Y. Hoekstra, M. S. Krol and M. M. Mekonnen. 2015. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators* 52: 311-319.
9. Fulton, J., M. Norton and F. Shilling. 2019. Water-indexed benefits and impacts of California almonds. *Ecological Indicators* 96: 711-717.
10. Gholamhossienpour Jafarinejad, A., A. Alizadeh and A. Neshat. 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.
11. Hoekstra, A. Y. and A. K. Chapagain. 2008. Globalization of Water: Sharing the Planets Freshwater Resources. Blakwell Publishing, Oxford, UK.
12. Hoekstra, A. Y. and P. Q. Hung. 2002. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value if the Watre Research Report Series. No. 11, UNESCO-IHE, Delft.
13. Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan, London.
14. Islamic Republic Iran Meteorological Organization, 2016. WWW.IRIMO.ir
15. Lu, Y., X. Zhang, S. Chen, L. Shao and H. Sun. 2016. Changes in water use efficiency and water footprint in grain production over the past 35 years: a case study in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production* 116: 71-79.
16. MAJ 2017. Ministry of Agriculture Jihad. WWW.maj.ir.
17. Mekonnen, M. M. and A. Y. Hoekstra. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 1577-1600.
18. Omidi, F. and M. Homaee. 2015. Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price. *Cereal Research* 5(2): 131-143.
19. Pirayesh, H. R. and A. Khazaeian. 2012. Using almond (*Prunus amygdalus* L.) shell as a bio-waste resource in wood based composite. *Composites* 43: 1475-1479.
20. Rahemi, A. and A. Yadollahi. 2006. Rainfed almond orchards in Iran, ancient and new methods and the value of water harvesting techniques. In IV International Symposium on Pistachios and Almonds 30 Nov, 2006.
21. Ridoutt, B. G. and S. Pfister. 2010. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environment* 20: 113-120.
22. Safi, R. and S. Amirlatifi. 2015. Evaluation of sugarcane cultivation in the Khuzestan province in the context of virtual water. *Water Resources Engineering* 8(25): 87-96.
23. Salari, S., F. Karandish and A. Darzi-Naftchali. 2015. Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan Province. *Irrigation and Water Engineering* 5(2): 81-94.
24. Satatistical Center of Iran, 2016. WWW.amar.org.
25. Shokoohi, A., H. Ramezani Etedali, S. Mojtabavi and V. P. Singh. 2016. Using water footprint accounting for optimizing crop patterns respecting sustainable development (case study: Qazvin plain). *Iran Water Resources Research* 12(3): 99-113. (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 2, Summer 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Spatial and Temporal Changes of Ecological Water Footprint and Virtual Water Trade in Irrigated and Rain-fed Almond Production at Iran

K. Vafaei[1], O. Bazrafshan[1*] and H. Ramezanietedali[2]

(Received: September 12-2019 ; Accepted: December 25-2019)

Abstract

Estimating the ecological water footprint and the virtual water trade in different agricultural crops in arid and semi-arid regions can help better manage the limited water resources.This research calculated temporal and spatial ecological water footprint of rain-fed and irrigated almond production in national and provincial scale using during 2008 to 2014. The results show that annual average water footprint in rainfed almond is 9.2 m^3/kg, which the share of green and grey water is 72% and 28%, respectively which Ilam and Kohgiloyeh & Boyerahmad have a largest share in green water footprint with 91% and 90%, respectively. In adition to, in irrigated almond, the annual average water footprint is 11.4 m^3/kg, which the share of green, blue and grey water is 0.19%, 71% and 10%, respectively. Sistan & Balouchestan, Khuzestana and Hormozgan have the highest share in blue water footprint. The total volume of water footprint of rain-fed and irrigated almond production is 1923 and 8242 MCM, respectively. Also, results show that about 92 percent of the total volume virtual water (equivalent to 9343 MCM per year) in almond production, has been exported to other countries through the virtual water trade.

Keywords: Water footprint, Rain-fed and Irrigated Almond, Provincial Level, National Level.

1. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.
*: Corresponding author, Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir