Archive of SID

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 7, No. 4, Winter 2020, P. 505-519

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸ ص. ۵۰۵-۵۱۹

ارزیابی کارایی مصرف آب و ردپای آب در محصول زعفران در ایران

ام البنین بذرافشان[1*] و زهرا گرکانی نژاد مشیزی[2]

تاریخ دریافت: ۱ مرداد ۱۳۹۷ **تاریخ پذیرش:** ۴ اردیبهشت ۱۳۹۸

بذرافشان، ا.، و گرکانی نژاد مشیزی، ز. ۱۳۹۸. ارزیابی کارایی مصرف آب و ردپای آب در محصول زعفران در ایران. زراعت و فناوری زعفران، ۷(۴): ۵۱۹-۵۰۵.

چکیده

کمبود منابع آب کافی، علاوه بر کاهش روند توسعه کشاورزی در حال حاضر، باعث خسارات و زیان‌هایی نیز در آینده خواهد شد. مطالعه حاضر، مطالعه‌ای به منظور ارائه راهکارهای پایدار در مدیریت منابع آب با استفاده از مفهوم ردپای آب و کارایی مصرف آب زعفران در سطح ملی از طریق تجزیه و تحلیل خوشه‌ای می‌باشد، که با هدف شناسایی اولویت استان‌ها به توجه به دو شاخصه مذکور انجام شد. در این مطالعه، حجم ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید در تولید زعفران در سطح کشور با به‌کارگیری چارچوب اصلی طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳برآورد گردید. نتایج نشان داد، سهم هریک از اجزای ردپای آب شامل آب سبز، آب آبی و آب خاکستری در محصول زعفران در ایران به‌ترتیب ۲۰، ۹۰ و ۱۰ درصد است که متوسط ردپای آب مجازی ناشی از آن ۲۷۶۴ مترمکعب برکیلوگرم تخمین زده شد. محدوده تغییرات کارایی مصرف آب از ۰/۲ تا ۰/۶۲ متغیر است. در بررسی اولویت‌بندی بر حسب دو شاخص معرفی شده، استان‌ها به چهار دسته تقسیم شدند که لرستان، کرمانشاه، همدان، خراسان شمالی، تهران، کرمان، آذربایجان شرقی و زنجان در دسته کمترین ردپای آب و بیشترین کارایی مصرف آب و در اولویت اول قرار می‌گیرند. استان گلستان، قزوین، مرکزی، البرز، یزد و خراسان رضوی و جنوبی در زمره استان‌های با اولویت دوم؛ استان فارس و سمنان در اولویت سوم و استان چهارمحال و بختیاری در اولویت آخر قرار دارد. براین اساس، توجه به شاخص‌هایی همچون کارایی مصرف آب و ردپای آب می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیران در زمینه تغییر الگوی کشت در مناطق خشک و نیمه خشک و توسعه کشت محصول فوق در کشور ارائه نماید.

کلمات کلیدی: آب مجازی، تحلیل خوشه‌ای، اولویت‌بندی، آب سفید.

۱- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۲ - دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
(*- نویسنده مسئول: O.baztrafshan@hormozgan.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2019.141824.1311

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

زعفران گران‌بهاترین محصول کشاورزی و دارویی جهان و یکی از مهم‌ترین محصولاتی است که با توجه به صادراتی و ارزآوری آن توجه خاصی به آن معطوف شده است (Haulicek, 1985). ایران نیز در بین تولیدکنندگان زعفران در دنیا، هم به لحاظ تولید و هم سطح زیرکشت، مقام اول را دارا می‌باشد، لذا سالانه حجم زیادی از آبی که صرف تولید این محصول می‌شود، از کشور خارج می‌شود (Bazrafshan e al., 2019).

یکی از عواملی که در بخش کشاورزی موجب پایین بودن کارایی آب شده عدم توجه به میزان مصرف آب در انتخاب محصولات کشاورزی و اعمال نکردن الگوی کشت مناسب برمبنای ارزش آب در منطقه است . تجارت آب مجازی می‌تواند یک ابزار در حل مشکلات جغرافیای سیاسی و حتی جلوگیری از جنگ به سر آب باشد (Allen, 2003). برآورد واردات و صادرات آب مجازی در مقیاس بین‌المللی و درون کشوری (استانی) برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک کشور بر اساس پتانسیل هر منطقه می‌تواند به‌عنوان یک راه کار پایدار مدنظر قرار گیرد انتقال آب مجازی یکی از مکانیزم های های ذخیره سازی منابع آب داخلی کشور و دستیابی به امنیت آبی در سطح ملی می‌باشد. منابع آب شیرین دارای تغییرات زمانی و مکانی قابل‌توجهی می‌باشند (Ridoutt & Pfister, 2010).

ردپای آب،[1] شاخصی برای نشان دادن حجمی از آبی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا و یا ارائه هرگونه خدمات به مصرف می‌رسد. این عدد برای محصولات کشاورزی، شامل مجموع آب شیرین مصرف‌شده در طی فرآیندهای زنجیره تولید یک محصول خواهد بود (Hoekstra & Chapagain, 2008). در چرخه هیدرولوژی، منابع آب به دودسته آب آبی و آب سبز تقسیم‌بندی می‌شوند. آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی آب آبی را تشکیل می‌دهند، درحالی‌که به رطوبت خاک در مناطق غیراشباع آب سبز می‌گویند. منشاء 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، درحالی‌که آب‌های زیرزمینی (منطقه اشباع) و همچنین رواناب حاصل از این بارندگی که به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، پشت سدها و تالاب‌ها می‌پیوندد، آب آبی را شامل می‌شوند. کشاورزی دیم عمدتاً از بخش آب سبز حاصل از بارندگی تغذیه می‌کند درحالی‌که کشاورزی آبی از آب آبی مهارشده ای که به زمین‌های کشاورزی هدایت می‌شود سیراب می‌گردد (Hoekstra & Hung, 2002). آب خاکستری، به حجم آبی اطلاق می‌شود که طی فرایند تولید محصولات آلوده‌شده و کیفیت اولیه خود را از دست‌داده 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 گرفته می‌شود (Obuobie et al., 2005). تلفات آب آبیاری را نیز می‌توان به‌عنوان بخشی از ردپای آب در تولید در نظر گرفت، که به آن ردپای آب سفید گویند (Ababaei & Ramezani Etedal, 2017).

کارایی مصرف آب (WUE[2]) معمولاً به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی مصرف آب در واحد تولید کشاورزی است (Howell, 2001; Morell et al., 2011; Nyakudya & Stroosnijder, 2014). کارایی مصرف آب تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر مدیریت، آب و هوا و غیره قرار دارد و این به‌معنای ارزیابی تأثیر شیوه‌های مختلف بر کارایی مصرف آب است (Lu

1 -Water footprint

2 -Water Use Efficiency

www.SID.ir

Archive of SID

.(et al., 2016

با ظهور شاخص ردپای آب که نمایشی از مجموع مصارف مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های مختلف جامعه است، تحقیقات زیادی در راستای مدیریت نوین منابع آب با رویکرد یکپارچه در ایران و جهان انجام شده است که به بررسی ارتباط بین آب مورد استفاده و عملکرد محصول موردنظر می‌پردازند.

لو و همکاران (Lu et al., 2016) به بررسی ارتباط کارایی مصرف آب و ردپای آب مجازی محصول گندم زمستانه و ذرت تابستانه پرداختند. نتایج نشان داد، بیشترین سهم ردپای آب در ذرت و گندم به ترتیب مربوط به آب آبی و آب سبز است. همچنین افزایش کارایی مصرف آب سبب کاهش ردپای آب می‌گردد.

محققین متعددی به بررسی آب مجازی در محصولات مختلف در ایران در مقیاس استانی و یا کشوری پرداختند که از جمله می‌توان به غلامحسین‌پور جعفری نژاد و همکاران (Gholam Hosein Pour Jafari Nejad et al., 2014) در استان کرمان برای بررسی مزیت نسبی محصول پسته و خرما؛ امیدی و همایی (Omidi & Homaee, 2015) در بررسی مقدار آب مجازی گندم در استان فارس؛ صافی و میرلطفی (Safi & Mirlotfi, 2015) در بررسی حجم آب مجازی نیشکر در خوزستان؛ سالاری و همکاران (Salari et al., 2016) در تحلیل زمانی و مکانی تغییرات آب مجازی گندم در استان سیستان و بلوچستان؛ شکوهی و همکاران (Shokoohi et al., 2016) در بررسی حسابداری ردپای آب جهت تعیین الگوی کشت بهینه در دشت قزوین؛ آبابایی و رمضانی عتدالی (Ababaei & Ramezani Etedali, 2017) در بررسی ردپای آب محصولات گندم، جو و ذرت در کل کشور؛ بذرافشان و همکاران (Bazrafshan et al., 2018; 2019) در بررسی آب مجازی محصولات زراعی و باغی در استان هرمزگان و بذرافشان و گرکانی نژاد مشیزی (Bazrafshan & Gerkani Nezhad Moshizi, 2018) در بررسی ردپای آب محصول گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان اشاره کرد. تحقیقات مذکور، وضعیت آب مجازی و تجارت آب را برای محصولات مهم و یا عمده مناطق مختلف مورد مطالعه قرار دادند.

کمبود منابع آب علاوه بر کاهش روند توسعه کشاورزی در حال حاضر، باعث خسارات و زیان‌هایی نیز در آینده خواهد شد. بنابراین لازم است از هم‌اکنون با اتخاذ تدابیر اصولی و معقول، راهکارهایی را برای عبور از بحران‌های احتمالی آینده اندیشید. راه‌حل عبور از بحران باید راه‌حلی جامع‌نگر هم از نظر حفظ منابع آب و هم از نظر تامین منافع اقتصادی و ثبات اجتماعی باشد. مطالعه حاضر، مطالعه‌ای جامع در مدیریت منابع آب با استفاده از مفهوم ردپای آب و کارایی مصرف آب زعفران در سطح ملی می‌باشد که با هدف معرفی میزان ردپای هر استان در تولید زعفران، محاسبه حجم آب مجازی صرف شده ناشی از کشت زعفران در هر استان، بررسی کارایی مصرف آب و شناسایی استان‌های دارای کارایی مصرف آب بالا و ردپای آب کم می‌باشد تا راهگشایی جهت توسعه کشت این گیاه در ایران برمبنای دیدگاه آب مجازی باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و اطلاعات آماری

در این پژوهش، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد در واحد سطح کلاله خشک[۱]، میزان تولید، راندمان آبیاری، تاریخ کشت و تیپ خاک محصولات منتخب از سال‌نامه سازمان جهاد کشاورزی طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ برای ۱۹ استان که در جدول ۱ ارائه گردید، استخراج گردید. همچنین داده‌های اقلیمی از سازمان هواشناسی هر استان (IRIMO, 2015) در منطقه مورد نظر تهیه گردید که داده‌ها شامل سری

۱- منظور از عملکرد در اینجا، عملکرد کلاله خشک زعفران است که وارد بازار داخلی و خارجی می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

زمانی بارش، درصد رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا و سرعت باد طی دوره آماری مورد مطالعه می‌باشد. منطقه مورد مطالعه ۱۹ استان تولید کننده زعفران در ایران است که در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه خشک قرار دارند، که حداقل و حداکثر متوسط بارش سالانه به‌ترتیب ۴۷ و ۳۶۹ میلی‌متر و حداقل و حداکثر دمای متوسط سالانه ۱۲ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد است.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی استان‌های تولیدکننده زعفران در ایران

Table 1- Climate profile of producer's saffron in Iran

استان Province	متوسط دمای ماهانه Monthly temperature average (°C)	متوسط بارش سالانه Annual rainfall average (mm)	نوع آب و هوا Climate type (De Martonne)	سطح زیرکشت Planting area (ha)	متوسط عملکرد Yield mean ($kg.ha^{-1}$)
آذربایجان شرقی* East Azarbaijan	13	239	نیمه خشک Semi- arid	83.63	5.14
اصفهان Esfahan	17	141	خشک Arid	440.37	6.19
تهران Tehran	18	202	خشک Arid	39.52	4.45
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal-o Bakhtiari	11	298	نیمه خشک Semi- arid	40.41	1.96
خراسان جنوبی South Khorasan	17	133	فرا خشک Extra- Arid	12941.64	3.41
خراسان رضوی Razavi Khorasan	16	212	خشک Arid	57240.96	3.15
خراسان شمالی North Khorasan	13	226	نیمه خشک Semi- arid	374.36	5.15
زنجان Zanjan	12	300	نیمه خشک Semi- arid	19.25	4.63
سمنان Semnan	19	112	فرا خشک Extra- Arid	72.99	2.80
فارس Fars	19	252	خشک Arid	335.74	3.24
قزوین Qazvin	14	298	نیمه خشک Semi- arid	27.65	3.45
کرمان Kerman	17	118	فرا خشک Extra- Arid	342.36	5.10
کرمانشاه Kermanshah	16	369	نیمه خشک Semi- arid	43.70	4.58
گلستان Golestan	18	350	نیمه خشک Semi- arid	48.60	3.95
لرستان Lorestan	17	387	نیمه خشک Semi- arid	39.70	5.45
مرکزی Markazi	14	260	نیمه خشک Semi- arid	62.36	3.27
همدان Hamedan	12	290	نیمه خشک Semi- arid	33.03	4.35
یزد Yazd	21	47	فراخشک Extra- arid	446.34	4.39

* اطلاعات جدول میانگین درازمدت هفت ساله بوده که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده است.

*The table information is an average of 7 years old that has been obtained from (IRIMO) the Iran metrological organization.

www.SID.ir

Archive of SID

محصول فوق، از نظر مصرف آب در زمره محصولات کشاورزی با نیاز آبی پائین بوده که محصول تولیدی دارای ارزش اقتصادی بالایی است. اما از آنجائی‌که عموما در مناطق کم‌باران ایران کشت می‌شو، لذا بهینه‌سازی الگوی کشت در این مناطق، افزایش کارایی مصرف آب و استفاده پایدار از آب در بخش کشاورزی امری مهم محسوب می‌شود.

برآورد اجزای ردپای آب

در این مطالعه، حجم ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در تولید بادام در سطح کشور با به‌کارگیری چارچوب اصلی (Hoekstra & Chapagain, 2008) و ردپای آب سفید (Ababaei & Ramezani Etedal, 2017) طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ برآورد گردید.

در نرم افزار Cropwat معادله فائو پنمن مانتیس به عنوان روش استاندارد به منظور محاسبه نیاز آبی زعفران، در نظر گرفته شد (رابطه۱). نیاز آبی[1] هر گیاه مجموع میزان تبخیر سطحی و تعرق از گیاه است که پارامترهای اقلیم، زمان تولید، روش آبیاری و نوع گیاه از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر آن هستند.

در روابط زیر ، WF_{Green} ردپای آب سبز، WF_{Blue} ردپای آب آبی ،WF_{gray} ردپای آب خاکستری و WF_{white} ردپای آب سفید و بر حسب متر مکعب در هر کیلوگرم می‌باشد (Shokoohi et al., 2016). 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 میلی-متر، Y عملکرد هر محصول به تن در هکتار، a درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR نرخ مصرف کود برای هر گیاه به کیلوگرم در هکتار، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن به کیلوگرم در متر مکعب (Hoekstra & Chapagain, 2008)، 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 می‌باشد. مقادیر a در شرایط آبی ۱۰% در نظر گرفته شد. در این مطالعه WF_{Gray} تنها برای کودهای نیتروژن بکار گرفته شده است. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت کننده براساس 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 در نظر گرفته شد (Chapagain et al., 2006).

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

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

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

کارایی مصرف آب (WUE[2])

کارایی مصرف آب (WUE) یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش میزان بهره‌وری آب کشاورزی است. این شاخص در واقع نسبت مقدار محصول تولید شده به ازای مقدار آب مصرفی (تبخیر– تعرق) گیاه است. در این تعریف می‌توان به‌جای تبخیر– تعرق گیاه مقدار آب مصرفی در مزرعه را (با لحاظ کردن راندمان کاربرد آب آبیاری) جانشین کرده و مقدار تولید محصول را به ازای واحد حجم آب مصرفی در آبیاری به-دست آورد. هر چه این نسبت بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است (Lu et al., 2016).

1 . CWR

2 . Water Use Efficiency

www.SID.ir

Archive of SID

$$WUE = 100(\frac{Y}{V_W}) \quad (۴)$$

در رابطه فوق: Y مقدار محصول خشک، تر و یا جزیی از محصول که به مصرف می‌رسد بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ V_W آب مصرف شده توسط گیاه (تبخیر- تعرق واقعی گیاه) بر حسب مترمکعب در هکتار.

آنالیز آماری

در این تحقیق از تحلیل خوشه‌ای در محیط SPSS16 جهت دسته‌بندی استان‌های با خصوصیات مشابه با سطح تشابه ۹۹ درصد طی دوره متوسط آماری در اجزای ردپای آب و کارایی مصرف آب استفاده گردید. تحلیل خوشه‌ای یک روش آماری مبتنی بر داده‌های کمی است، با توجه به این که این داده‌ها قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشند؛ بنابراین نتیجه به‌دست آمده از این روش‌ها، دقیق‌تر و از اعتماد بیش‌تری برخوردار هستند .تحلیل خوشه‌ای فرآیند رده‌بندی نمونه‌ها به زیر مجموعه‌هایی است که در رابطه با مسئله خاصی دارای معنی و مفهوم می‌باشند. این نمونه‌ها به‌طور مؤثری سازمان‌دهی می‌شوند تا جامعه‌ای را که نمونه‌گیری می‌کنیم مشخص نمایند.

نتایج و بحث

برآورد اجزاء ردپای آب

مقادیر تولید، عملکرد و مصرف کود زعفران به تفکیک هر استان طی دوره آماری ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ در جدول ۲ ارائه شده است. در واقع ۱۰۰٪ تولید زعفران در ایران آبیاری می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین عملکرد سالانه زعفران در ایران ۴/۱۴ کیلوگرم و مجموع تولید سالانه در کل کشور ۲۲۸/۵ تن در سال است. همچنین میانگین مصرف کود نیتروژن خالص در ایران ۱۰۵/۸ کیلوگرم در هکتار است. این در حالی‌ست که میزان عملکرد در کشورهایی مانند ایتالیا ۸/۳ و اسپانیا ۷/۹۴ کیلوگرم در هکتار در سال است (FAO, 2014) لذا با در نظر گرفتن پائین بودن علمکرد در واحد سطح در ایران، افزایش عملکرد از طریق روش‌هایی هم‌چون آرایش کاشت و افزایش تراکم بنه در واحد سطح، زمان مناسب کود شیمیایی و کود دامی، استفاده از بقایای گیاهی و گیاهان و مالچ‌های پوششی می تواند سبب کاهش ردپای آب در اجزا مختلف آن گردد.

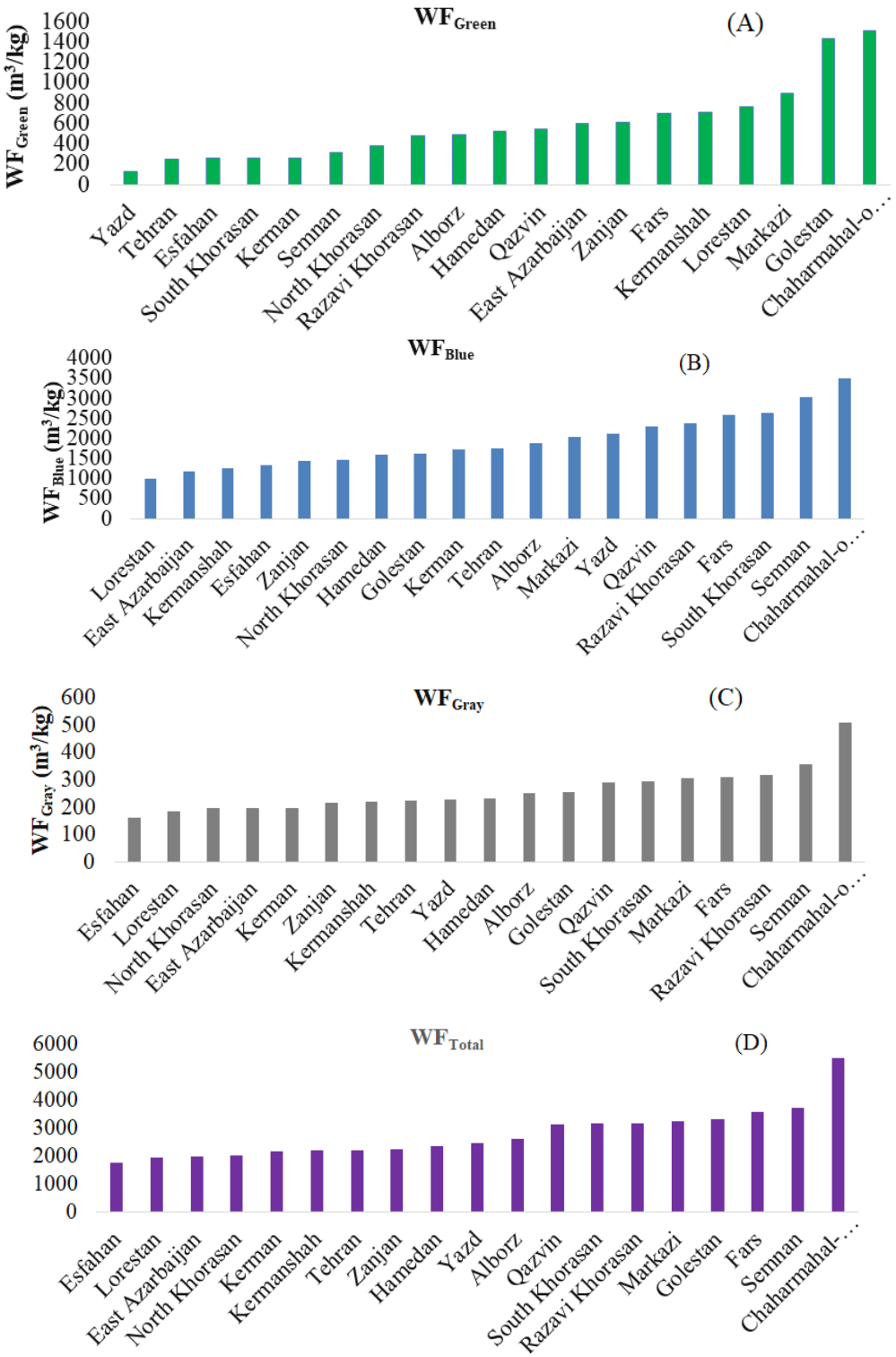
ردپای آب سبز در محدوده $m^3.kg^{-1}$ ۱۲۷- ۱۵۱۰، آب آبی $m^3.kg^{-1}$ ۹۹۸/۵۳- ۳۴۹۹/۴۷ و آب خاکستری $m^3.kg^{-1}$ ۴۸/۵۱- ۲۵۵ متغیر است. میانگین کل ردپای آب در تولید زعفران در استان‌های منتخب $m^3.kg^{-1}$ ۲۷۶۴ که از این مقدار ۲۰٪ آب سبز، ۷۰٪ آب آبی و ۱۰٪ آب خاکستری است (شکل۱).

بر اساس اطلاعات ارائه شده، بالاترین سهم ردپای آب سبز را به‌ترتیب به استان‌های گلستان، لرستان و کرمانشاه به‌ترتیب ۲۸، ۲۶ و ۲۰درصد هستند. مناطق مستعد کشت زعفران در این استان‌ها دارای بارش مؤثر مناسبی هستند، لذا سهم ردپای سبز بیشتر شده است. کمترین سهم ردپای آب سبز را استان‌های یزد، خراسان جنوبی و سمنان به‌ترتیب با ۳، ۴ و ۵٪ دارا هستند، استان‌های فوق جزء مناطق بیابانی فراخشک ایران با میزان بارش مؤثر کم بوده و بارش سهم ناچیزی در ردپای آب دارد.

سهم ردپای آب آبی در تولید زعفران ۷۰٪ است. از این نقطه‌نظر استان‌های یزد، سمنان و خراسان جنوبی به‌ترتیب با ۴۵، ۴۴ و ۴۴٪ بیشترین سهم آب آبی را نسبت به مجموع ردپای آب در کشور دارا هستند. در مقابل استان‌های گلستان، لرستان و کرمانشاه به‌ترتیب با ۳۲، ۳۴ و ۳۶٪ کمترین سهم ردپای آب آبی را دارا هستند. بدلیل بالا بودن بارش مؤثر، نیاز آبی در استان‌های با بارش مناسب و سهم ردپای آب آبی کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مقدار هر یک از اجزاء ردپای آب در تولید زعفران در استان‌های اصلی تولید کننده زعفران در ایران

Figure1- Water footprint components of Saffron producing provinces of Iran.

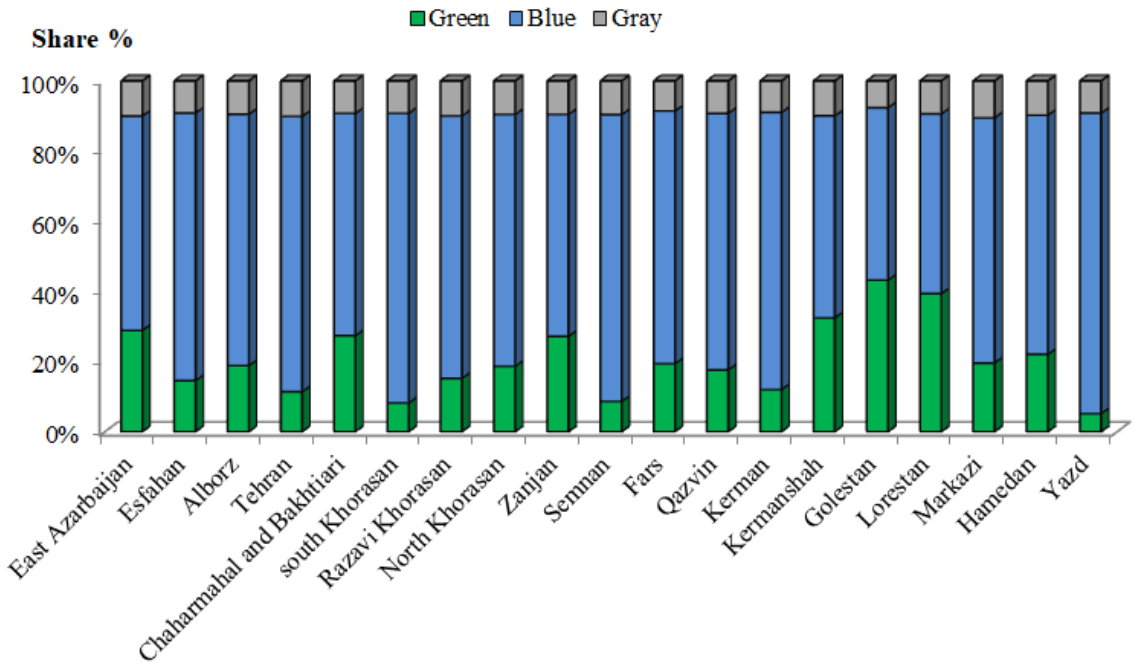
www.SID.ir

Archive of SID

سهم ردپای آب خاکستری در تولید زعفران در ایران حدود ۵٪ است که استان‌های گلستان و چهارمحال و بختیاری به‌ترتیب با ۶ و ۵٪ بیشترین سهم ردپای آب خاکستری را دارا هستند. متوسط بارش در این مناطق بالا و به همان مقدار آبشویی کود شیمیایی نیز بالاست و در مقابل در استان خراسان شمالی کمترین سهم ردپای آب خاکستری را دارا هستند.

ردپای کل آب بر اجزای مصرف آب شامل آب سبز، آبی و خاکستری دلالت دارد که شامل فرایند مصرف آب از زمان کاشت تا برداشت است. مضافاً بر آن کل مصرف آب یک محصول شامل آب ابی و آب سبز است که هر یک اثرات و هزینه‌های متفاوتی بر آب در دسترس دارند. مصرف آب سبز در تولید محصولات کشاورزی از اب باران است که برروی محیط زیست اثرات سوئی ندارد و در مقابل آب آبی از آبهای سطحی و یا زیرزمینی است که اثرات آن بر محیط زیست مشهود است (Ridoutt & Pfister, 2010). لذا ردپای کل به مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب در تولید محصولات کشاورزی و اثرات زیست محیطی ناشی از آن دلالت دارد که کاربرد آن می تواند ارزیابی جامع‌تری از بهره‌وری آب زراعی، تحلیل توزیع زمانی و مکانی کشت داشت (Lu et al., 2016).

سهم ردپای آب آبی بالاترین سهم را در بین استانهای تولید کننده زعفران دارا هستند، که نشان می‌دهد سهم زیادی از آب در این استان‌ها طی آبیاری از بین می‌رود که شاید هیچگاه به سفره‌های آب زیرزمینی نرسد. این در حالی است که بیش از ۴۰۰ دشت در ایران من جمله دشت مشهد و نیشابور با فرونشست جدی روبرو است (Madani, 2014). این استان‌ها در اقلیم خشک و نیمه خشک با میزان باران کم و نیاز آبی بالای گیاه مواجه هستند.

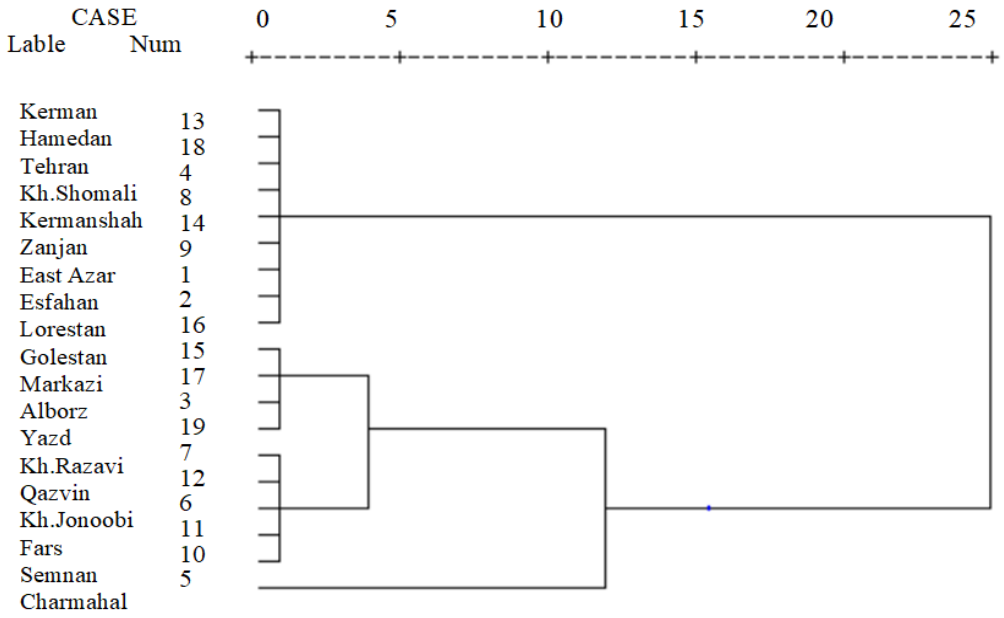


شکل ۳- سهم هر یک از اجزای ردپای آب در تولید زعفران در استان‌های اصلی تولید کننده زعفران در ایران براساس سطح تشابه ۹۹٪

Figure 3- Shares of Saffron water footprint components in the major Saffron producing provinces of Iran based on 99% similarity.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٤- خوشه‌بندی ردپای آب کل در استان‌های اصلی تولیدکننده زعفران در ایران براساس سطح تشابه ۹۹ درصد

Figure 4- Clustering of in WF_{Total} in the Saffron producing provinces in Iran based on 99% similarity.

از طرفی در این استان‌ها تلفات آبیاری به دلیل شیوه نامناسب آبیاری نیز سبب افزایش سهم ردپای آب آبی شده است، بطوریکه عدم مدیریت صحیح و نامناسب در نحوه آبیاری، تعداد دفعات آبیاری بیش از حد گیاه و تاریخ و زمان نامناسب ابیاری سبب کاهش عملکرد زعفران در این مناطق شده است (Shirzadi Laskookalayeh et al., 2017) که لزوم کنترل تلفات آبیاری، افزایش راندمان آبیاری به کمک روش‌های نوین و تاریخ مناسب آبیاری در این استان‌ها جهت افزایش بهره‌وری آب و عملکرد ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرفی کمترین سهم ردپای آب سفید مربوط به استان‌های لرستان، گلستان و آذربایجان شرقی است، توزیع آب سبز در استان‌های فوق نشان می‌دهد، وجود میزان بارش مناسب در مناطق فوق، بخش زیادی از نیاز آبی گیاه توسط رطوبت موجود در پروفیل خاک تامین می‌گردد. لذا بر این اساس در استان‌های فوق امکان افزایش راندمان آبیاری سبب کاهش سهم ردپای اب سفید می‌گردد.

۳-۲ کارایی مصرف آب (WUE)

براساس نتایج، محدوده تغییر کارایی مصرف آب زعفران در ایران بین ۰/۲ تا ۰/۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب است. کم‌ترین کارایی مصرف آب، مربوط به استان چهارمحال و بختیاری با عملکرد ۱/۹۶ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین مربوط به استان اصفهان با عملکرد ۶/۱۹ کیلوگرم در هکتار است. شکل ۵ کارایی مصرف آب را در استان‌های تولید کننده زعفران را نشان می‌دهد. مقدار کارایی مصرف آب به‌دست آمده برای محصولات و استان‌های تولیدکننده زعفران در کشور، طیفی از میزان کارایی مصرف آب محصولات در هر منطقه و یا در مقایسه با مناطق مختلف است. منابع کاهش و دلایل پایین بودن کارایی مصرف آب محصولات در مناطق مختلف قطعاً به عوامل و پارامترهای زیادی از جمله شرایط اقلیمی، کیفیت آب و خاک، نوع منبع آب و سیستم آبیاری، مسائل مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی، ارقام گیاهی، مالکیت و مساحت اراضی و میزان و نوع عملیات و

www.SID.ir

Archive of SID

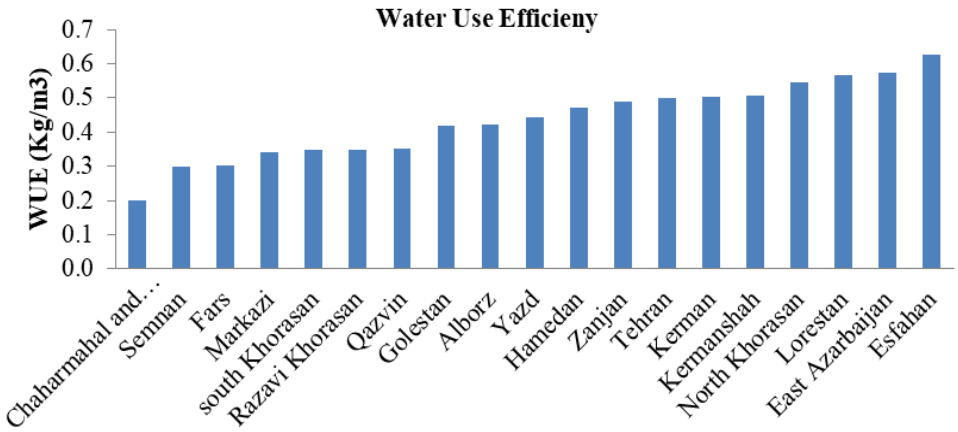
نهاده‌های کشاورزی بستگی داشته است (Morell et al., 2011).

با توجه به نتایج کارایی مصرف آب، استان‌های تولید کننده در چهار گروه دسته‌بندی شدند (شکل ۶). گروه اول که بیش‌ترین کارایی مصرف آب را دارد شامل استان‌های اصفهان، آذربایجان شرقی، لرستان و خراسان شمالی است که رنج تغییر کارایی مصرف آب بین ۰/۵۴ تا ۰/۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب است. طیف تغییر کارایی مصرف آب در گروه دوم بین ۰/۴۲ تا ۰/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب است که شامل استان‌های البرز، گلستان، یزد، تهران، زنجان، کرمانشاه و همدان است. در گروه سوم بین ۰/۳۰ تا ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب شامل استان‌های فارس، سمنان، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، قزوین و مرکزی است. استان چهارمحال و بختیاری با کمترین کارایی مصرف آب (۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب) در گروه چهارم قرار می‌گیرد. این شباهت در سطح ۹۹ درصد است.

کارایی مصرف آب به فاکتورهای متعددی همچون عملکرد در واحد سطح، راندمان آبیاری، میزان تبخیر و تعرق، استفاده از روش‌های کاهش تبخیر مانند مالچ‌پاشی و استفاده از گیاهان مقاوم به تبخیر، تغییر زمان کشت و ژنوتیپ گیاهی دارد (Lu et al., 2016). لذا توجه به این مسئله می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف آب در اقلیم‌های فراخشک گردد.

۳-۳ بررسی ارتباط بین کارایی مصرف و ردپای آب

شکل ۷، تغییر کارایی مصرف آب زعفران را نسبت به ردپای کل آب این محصول در استان‌های تولید کننده زعفران نشان می‌دهد. با توجه به شکل، بالاترین کارایی مصرف آب و پائین‌ترین ردپای آب مربوط به لرستان و پایین‌ترین کارایی و بالاترین ردپای آب مربوط به استان چهارمحال و بختیاری است. کارایی مصرف آب با میزان ردپای آب نسبت عکس دارد، و افزایش مقدار ردپای آب، سبب کاهش کارایی مصرف آب می‌شود.

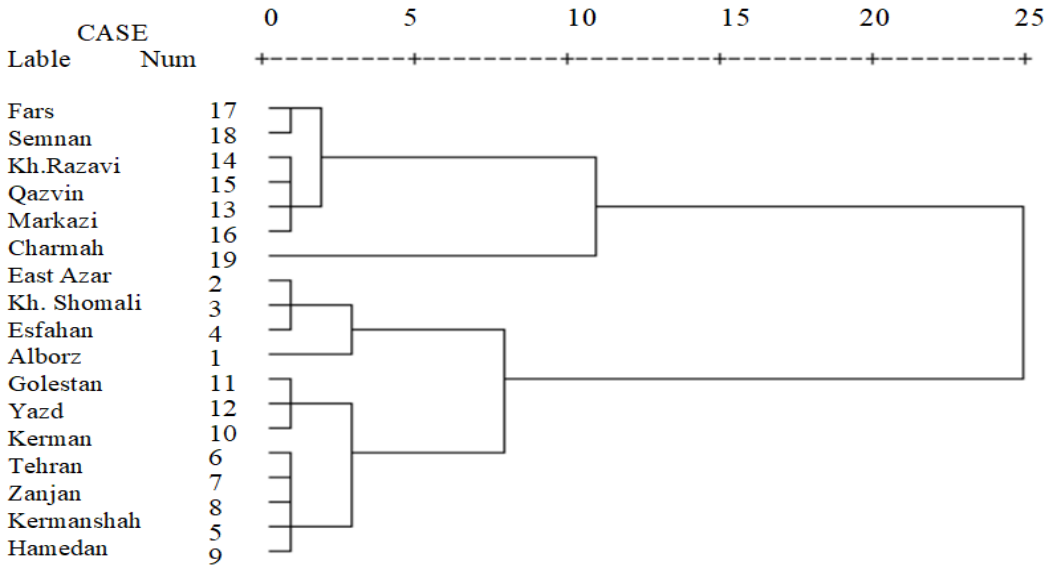


شکل ۵- کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در استان‌های اصلی تولید کننده زعفران در ایران

Figure 5- Water use efficiency ($Kg.m^{-3}$) in the major saffron producing provinces of Iran.

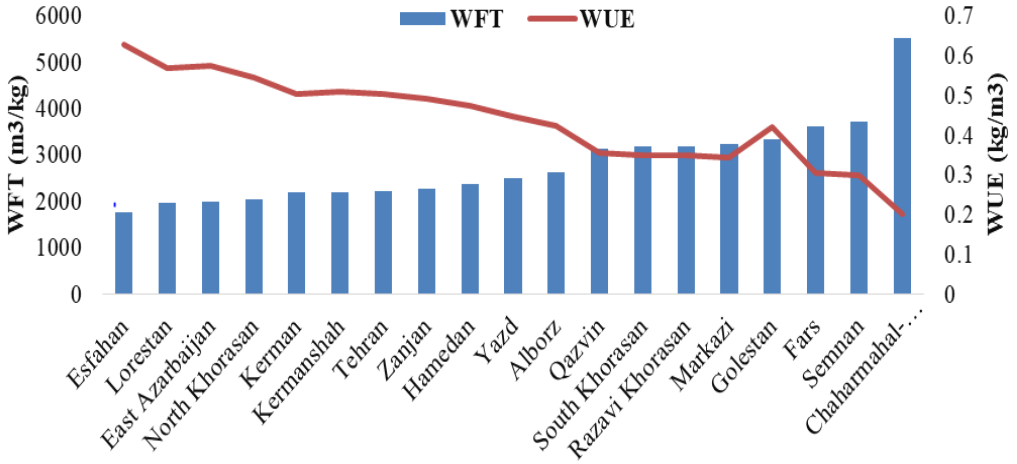
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦- خوشه‌بندی کارایی مصرف آب در استان‌های اصلی تولیدکننده زعفران در ایران

Figure 6- Clustering of in WUE in the Saffron producing provinces in Iran.



شکل ۷- تغییرات کارایی مصرف آب زعفران نسبت به کل ردپای آب در استان‌های تولیدکننده زعفران در ایران

Figure 7- Changes in WUE & WFT in the saffron producing provinces in Iran.

بررسی میزان تشابه استان‌ها در شاخص‌های مورد بررسی

استان‌های تولید کننده زعفران با توجه به دو شاخص ردپای کل و کارایی مصرف آب نیز خوشه‌بندی شدند (شکل ۸ و جدول ۲). در خوشه اول استان‌های آذربایجان شرقی، اصفهان، تهران، خراسان شمالی، زنجان، کرمان، کرمانشاه، لرستان و همدان با ردپای آب کم و کارایی مصرف بالای آب قرار می‌گیرند. در این استان‌ها ردپای آب کم (بین ۱۷۶۱/۷ تا ۲۳۵۲/۲ مترمکعب بر کیلوگرم) و کارایی مصرف آب خیلی زیاد (۰/۴۷ تا ۰/۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب) است. لذا این استان‌ها در صدر اول اولویت کشت زعفران قرار می‌گیرند چرا که کارایی مصرف آب بالا و ردپای آب کمتر نسبت به سایر استان‌ها دارند. در خوشه دوم استان‌هایی با ردپای آب متوسط و کارایی مصرف آب زیاد قرار دارند، شامل البرز، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، قزوین، گلستان، مرکزی و یزد که در این استان‌ها طیف ردپای آب بین

www.SID.ir

Archive of SID

۲۴۷۶/۸ تا ۳۳۱۴/۱ مترمکعب بر کیلوگرم و کارایی مصرف آب بین ۰/۳۰۱ تا ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب است. استان‌های نامبرده در رده دوم اولویت کشت زعفران قرار دارند. استان‌های اولویت اول و دوم، به لحاظ شرایط آب و هوایی و میزان بارش بسیار مناسب توسعه کشت دیم هستند (بجز استان خراسان جنوبی و یزد)، توسعه کشت دیم سبب می‌شود، ردپای آب آبی در تولید زعفران در ایران کاسته شده و ارزش اقتصادی آب صادر شده افزایش یابد. در رده سوم استان فارس و سمنان با میزان ردپای آب زیاد (۳۵۹۸/۸ تا ۳۷۱۶/۴ مترمکعب بر کیلوگرم) و کارایی مصرف آب کم (۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) قرار می‌گیرند. طبق آمارنامه جهادکشاورزی بیش از ۴۸ درصد اراضی زراعی و باغی در استان فارس مبتنی بر استفاده از آب سبز، بارش مؤثر و بصورت کشت دیم است. مناطق شمالی استان فارس پنجمین تولیدکننده عمده زعفران ایران هستند که به لحاظ کیفیت، هم تراز زعفران استان خراسان رضوی است. لذا توسعه کشت زعفران در این مناطق با تأکید بر پتانسیل اراضی زارعی و تغییر الگوی کشت باغات کم‌بازده در بوانات، استهبان، اقلید و سپیدان سبب کاهش ردپای آب در مقیاس استانی و ارزآوری قابل توجهی خواهد شد. عمده‌ترین تولیدکننده زعفران استان سمنان، شهرستان شاهرود (روستای ابر) است که به لحاظ ارتفاع از سطح دریا و میزان بارش بسیار مستعد کشت زعفران است. براساس گزارش جهادکشاورزی استان سمنان در سال ۱۳۹۷، روستای ابر با عملکرد ۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار زعفران، رکورد کشور را شکست. تبدیل اراضی باغی مانند زردالو، هلو و آلو به اراضی زعفران در این مناطق، سبب کاهش حجم ردپای کل محصولات کشاورزی و افزایش بهره‌وری اراضی می‌گردد.

استان چهارمحال و بختیاری به تنهایی در رده چهارم قرار می‌گیرد این استان دارای ردپای آب بسیار زیاد (۵۵۱۹/۶ مترمکعب بر کیلوگرم) و کارایی مصرف آب بسیار کم (۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب) است. جالب توجه است که به لحاظ شرایط آب و هوایی و همچنین ذخیره آب سبز موجود در استان چهارمحال و بختیاری، دور از انتظار بود که این استان در اولویت آخر کشت زعفران قرار گیرد. پائین بودن عملکرد زعفران در این استان مهم‌ترین دلیل بالا بودن ردپای آب و پائین بودن کارایی مصرف آب است، لذا لازم است، مسئولین امر در خصوص توسعه کشت در استان‌های با پتانسیل بالا، به امر ترویج مدیریت آبیاری در جهت کاهش هدررفت، راهکارهایی در جهت افزایش عملکرد زعفران که منتج به کاهش ردپا می‌گردد، توجه ویژه‌ای نمایند.

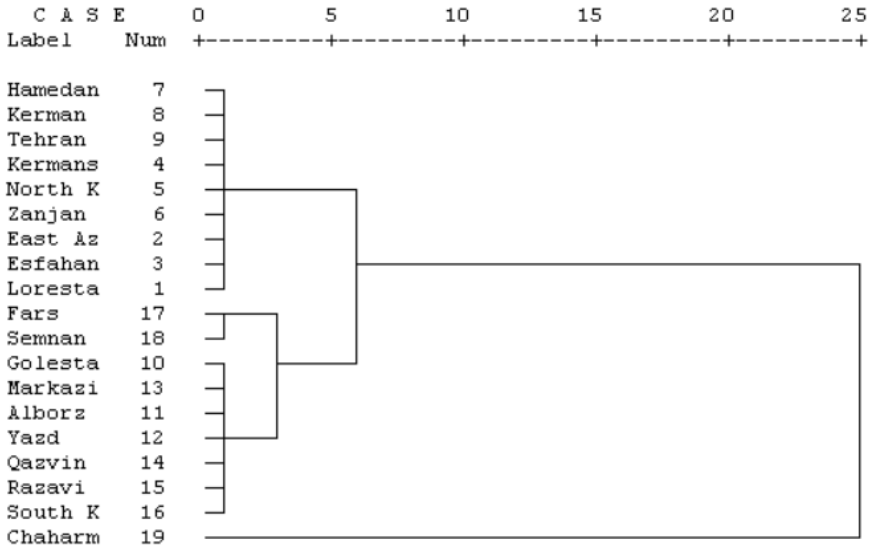
نتیجه‌گیری

در این مطالعه دو شاخص ردپای آب و کارایی مصرف آب محصول زعفران از طریق تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در استان-های اصلی تولیدکننده زعفران مورد بررسی تحلیل قرار گرفتند. با توجه به هریک از شاخص‌ها استان‌های تولید کننده زعفران دسته‌بندی شدند، در نهایت نیز با استفاده از هر دو شاخص یک دسته‌بندی کلی برای استان‌های تولیدکننده زعفران ارائه شد.

بررسی توزیع ردپای کل آب در تولید زعفران در ۱۹ استان تولیدکننده زعفران در ایران حاکی از دامنهٔ وسیع ردپای آب می‌باشد و این تغییرات عمدتاً بدلیل تفاوت در ترکیب شرایط آب و هوایی، دروه رشد و زمان گلدهی، ارتفاع از سطح دریا، مصرف کود و شرایط خاک حادث گردیده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- خوشه‌بندی ردپای کل آب و کارایی مصرف آب در استان‌های اصلی تولیدکننده زعفران در ایران

Figure 8- Clustering of in WF_{Total}, WF_E & WUE in the Saffron producing provinces in Iran.

جدول ۲- دسته‌بندی استان‌های تولیدکننده زعفران بر طبق شاخص‌های WF_{Total} & WUE

Table 2- Classification of saffron producing provinces according to indices WF_{Total} and WUE

نام استان Province name	دسته‌بندی کارایی مصرف آب Water use efficiency clustering	دسته‌بندی ردپای آب Water footprint clustering	اولویت Rank
همدان، کرمان، کرمانشاه، لرستان، خراسان شمالی، زنجان، اصفهان آذربایجان شرقی Hamedan, Kerman, Kermanshah, Lorestan, Nort K, Zanjan, Esfahan, East Az	خیلی زیاد Exerme (0.45-0.62)	کم Low (<2475)	1
گلستان، البرز، مرکزی، یزد، قزوین، خراسان رضوی، خراسان جنوبی Golestan. Alborz, Mrkazi, Yazd, Razai K, Qazvin, South K	زیاد Sever (0.44-0.301)	متوسط Middle (2476-3597)	2
فارس و سمنان Fars, Semnan	متوسط Midlle (0.3-0.2)	زیاد Sever (3598-3716)	3
چهارمحال و بختیاری Chaharmahl and Bakhtiari	کم Low (<0.2)	خیلی زیاد Extreme (>3717)	4

استان‌های یزد، خراسان جنوبی و خراسان رضوی بالاترین سهم آب سفید را در میان استان‌های تولید کننده زعفران دارا می‌باشند. این استان‌ها در اقلیم خشک و نیمه خشک با میزان باران کم و نیاز آبی بالای گیاه مواجه هستند. از سوی دیگر مدیریت نامناسب آبیاری، تعداد آبیاری و حجم آبیاری بیش از نیاز گیاه و تاریخ و زمان نامناسب آبیاری سبب کاهش عملکرد زعفران (کاهش بهره‌وری و افزایش ردپای آب) در این مناطق شده است. از طرفی کمترین سهم ردپای آب سفید مربوط به استان‌های لرستان، گلستان و آذربایجان شرقی است. ضمناً توزیع آب سبز در سطح سه استان مذکور نشان می‌دهد میزان قابل توجه بارش در این مناطق، موجب بالاتر بودن متوسط رطوبت خاک و رفع بخش قابل‌توجهی از نیاز آبی گیاه می‌گردد.

سهم ردپای آب خاکستری در تولید زعفران طی دوره آماری مورد مطالعه، بطور متوسط ۵٪ که با مصرف بهینه کود شیمیایی از نظر زمانی و مقدار آن و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های سازگارتر با شرایط اقلیمی، کاهش سهم آب خاکستری در این

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه قابل حصول است.

بررسی کارایی مصرف آب در محصول زعفران در ایران نشان داد، محدوده کارایی مصرف آب بین ۰/۶۲ تا ۰/۲ متغیر است. کارایی مصرف آب، وابسته به عملکرد و میزان تبخیر و تعرق گیاهی است، هر قدر عملکرد کمتر باشد، میزان کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد.

نتایج این تحقیق نشان داد، ۱۹ استان تولید کننده زعفران در ایران به لحاظ دو شاخصه ردپای آب و کارایی مصرف آب به چهار دسته تقسیم می‌شوند ،که این دسته بندی مستقل از نوع اقلیم منطقه می‌باشد. لذا عواملی همچون عملکرد در واحد سطح، میزان تبخیر و تعرق و نوع مدیریت آبیاری در اولویت-بندی کشت زعفران بسیار مؤثر است.

بسیاری از محققین افت شدید آب زیرزمینی و کمبود منابع آبی در مناطق فراخشک، خشک و نیمه خشک ایران را گزارش داده‌اند. از آنجائی‌که زعفران به عنوان یکی از ارزآورترین محصولات صادراتی ایران در این مناطق محسوب می‌شود، توسعه کشت این محصول نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت منابع آب دارد، لذا در این زمینه توجه به شاخص‌هایی همچون کارایی مصرف آب و ردپای آب می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیران در این زمینه ارائه دهد.

منابع

Ababaei, B., and Ramezani Etedali, H. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agricultural Water Management 179: 401-411.

Allan, J.A. 2003. Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. PP. 137-145. In: A. Y. Hoekstra (Ed.), Virtual Water Trade, Proc. of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12, IHE, Delft, The Netherlands.

Bazrafshan, O., Dehghanpir, S., and Holisaz, A. 2018. Estimation of virtual water trade in the Hormozgan province over the past decade. Desert Management 5 (10): 116-129. (In Persian with English Summary).

Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Gerkani Nezhad Moshizi, Z., and Shamili, M. 2019. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. Agricultural Water Management 213 (5) 368-374.

Bazrafshan, O., and Gerkani Nezhad Moshizi, Z. 2018. The impacts of climate variability on spatiotemporal water footprint of tomato production in the Hormozgan. Journal of Water and Soil 32 (2): 29-34. (In Persian with English Summary).

Chapagain, A.K., Hoeksta, A.Y., and Savenije, H.H.G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrol. Earth System Science 10: 455-468.

FAO, 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (http://www.faostat.fao.org).

Gholam Hosein Pour Jafari Nejad A., Alizadeh A., Nashat A., and Abolhasani Zeraatkar M., 2014. Virtual water trade to improve the efficiency of water use (The case by case study of Kerman province) .Iranian Journal of Irrigation and Drainage 8 (2): 325- 335. (In Persian).

Haulicek, J. 1985. The effect of weather on crop production. Ustav vedekotechnickych informaci pro zemedelstvi metrology and climatology, crop husbandry, UNSEF/CS, Praha1314: 1053-1064.

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 if the Water

www.SID.ir

Archive of SID

Research Report Series. No. 11, UNESCO-IHE, Delft.

Hoekstra. A.Y., and Chapagain, A.K. 2008. Globalization of Water: Sharing the Planets Freshwater Resources. Blakwell Publishing, Oxford, UK.

Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture contrib. from the USDA-ARS, Southern Plains Area, Conserv. And Production Res. Lab., Bushland, TX 79012. Mention of trade or commercial names is made for information only and does not imply an endorsement, recommendation, or exclusion by USDA-ARS. Agronomy Journal 93: 281-289.

IRIMO, 2015. Iran Meteorological Bulletin. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization Press, Tehran. (In Persian).

Lu, Y., Zhang, X., Chen, S., Shao, L., and Sun, H. 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.

Morell, F.J., Lampurlan_es, J., _Alvaro-Fuentes, J., and Cantero-Martínez, C. 2011. Yield and water use efficiency of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: long-term effects of tillage and N fertilization. Soil and Tillage Research 117: 76-84.

Nyakudya, I.W., and Stroosnijder, L. 2014. Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: modelling with AquaCrop. Agric. Water Managment 146: 280-296.

Obuobie, E., Gachanja, P.M., and Dorr, A.C. 2005. The role of green water in food trade. Term paper for the Interdixciplinary Course, International Doctoral Studies. Center of Development Research University of Bonn.

Omidi. F., and Homaee m. 2015. Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price. Journal Management System 5 (2):131-143. (In Persian with English Summary).

Ridoutt, B.G., and Pfister, S. 2010 .A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. Global Environmental Change 20: 113-120.

Safi R., and Mirlotfi S.M. 2015. Sugarcane in Khuzestan assess the situation from the perspective of virtual water. Journal of Water Resources 8: 87-95. (In Persian with English Summary).

Salari, S., Karandish, F., and Darzi-Naftchali, A. 2016. Spatial and temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Blouchestan Province. Journal of Irrigation and Water Engineering 5 (18): 81–94.

Shokoohi, A., Ramezani Etedali, H., Mojtabavi, S., and Singh, V. 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 Persian with English Summary).

Madani, K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. Journal of Environmental Studies and Sciences 4 (4): 315-328.

Shirzadi Laskookalaye, S., Sabuhi Sabuni, M., Keikha, A.A., and Davari, K. 2017. Irrigation management of saffron by using the price and quantity policies of water (case study: Naishabur basin). Journal of Saffron Agronomy and Technology 5 (2): 149-160.

www.SID.ir

Archive of SID

Assessment of Water Use Efficiency and Water Footprint of Saffron Production in Iran

Ommolbanin. Bazrafshan[1] and Zahra Gerkani Nezhad Moshizi[2]*

Submitted: 23 July 2018 **Accepted:** 24 April 2019

Bazrafshan, O., Gerkani Nezhad Moshizi, Z. 2020. Assessment of Water Use Efficiency and Water Footprint of Saffron Production in Iran. Saffron Agronomy & Technology, 7(4): 505-519.

Abstract

Lack of adequate water resources not only reduces the trend of agricultural development but also causes damage and losses in the future. This study is a comprehensive research on water resource management using water footprint approach, water footprint accounting and water use efficiency by clustering analysis. In this study, water footprint of green, blue, gray and white in saffron production are calculated using principle framework during 2008-2014. These indicators were calculated using data and common methodology. The result showed that the share of WF_{Green}, WF_{Blue}, WF_{White} and WF_{Gray} is 12, 39, 44 and 5%, respectively in saffron production for which a mean water footprint of 4900 $m^3.kg^{-1}$ is estimated. The amount of water footprint accounting and water use efficiency is calculated to be 1.91-5.93 $m^3.kg^{-1}$ and 0.2-0.62 $kg.m^{-3}$, respectively. In assessing prioritization of provinces using two indicators, the provinces were divided into four categories. Lorestan, Kermanshah, Hamedan, North Khorasan, Tehran, Kerman, East Azerbaijan and Zanjan provinces including the lowest water footprint accounting and water footprint while these provinces have the highest water use efficiency. The category of these provinces has the first rank. Golestan, Ghazvin, Markazi, Alborz, Yazd, South Khorasan and Razavi Khorasan provinces have the second rank, Fars and Semnan have the third rank and Chaharmahal and Bakhtirai have the last rank of priority. Based on these results, considering indicators such as water use efficiency, water footprints and footprint counting can help decision makers to develop the cultivation of Saffron.

Keywords: Virtual Water, Cluster Analysis, Prioritrization.

1- Associate Professor of Natural Resources Engineering Department, Agriculture and Natural Resources Engineering Faculty, University of Hormozgan.
2 - Ph.D Student of Natural Resources Engineering Department, Agriculture and Natural Resources Engineering Faculty, University of Hormozgan.
(*- Corresponding Autor Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir)
DOI: 10.22048/jsat.2019.141824.1311

www.SID.ir