نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران

*حسین یوسفی[۱]، علی محمدی[۲]، یونس نوراللهی[۳] و سیدجواد ساداتی‌نژاد[۳]
[۱]استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشگاه تهران، [۲]دانشجوی کارشناسی‌ارشد اکوهیدرولوژی گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشگاه تهران، [۳]دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: مدیریت مصرف آب شهرهای بزرگ در سال‌های اخیر به‌عنوان مباحث کلیدی در زمینه مدیریت منابع آب مطرح شده است. استان تهران با مرکزیت شهر تهران از نقاط اصلی مصرف آب در کشور ایران محسوب می‌شود. یکی از شاخص‌های مطرح برای به‌کارگیری مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، شاخص ردپای آب است. در استان تهران، هم‌چون سایر مناطق، کشاورزی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان آب محسوب می‌شود. به همین سبب این پژوهش با هدف محاسبه ردپای آب بخش کشاورزی استان تهران و تعیین مطلوب‌ترین شهرستان برای کاشت محصولات باغی و زراعی از منظر ردپای آب نگاشته شده است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور محاسبه ردپای آب محصولات کشاورزی، با استفاده از آمارنامه‌های ارائه شده توسط جهاد کشاورزی، شهرستان‌هایی از استان که بالاترین مقدار تولید و سطح زیر کشت را داشتند شناسایی گردید. در مرحله بعد اطلاعاتی مانند نیاز آبی گیاهان از طریق نرم‌افزار NetWat که نسخه بومی‌شده نرم‌افزار CropWat می‌باشد؛ استخراج شد. عملکرد محصولات و پارامترهایی که در محاسبات دخالت داشتند نیز از طریق آمارنامه‌های کشاورزی محاسبه و گردآوری شد. سپس با استفاده از روش ارزیابی شاخص ردپای آب به محاسبه ردپای آب محصولات کشاورزی محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد که در بخش تولیدات زراعی، مقدار محتوی ردپای آب، به مراتب بیش‌تر از تولیدات باغی می‌باشد. بالاترین میانگین ردپای آب مربوط به محصول گندم (۲۵۳۹ مترمکعب بر تن) و پایین‌ترین میانگین ردپای آب مربوط به محصول سیب (۴۷۷ مترمکعب بر تن) بوده است. در مقایسه متناظر محصولات بین شهرستان‌های مشترک در تولید، مشخص شد که از منظر شاخص ردپای آب برای محصولات زراعی به‌خصوص گندم و جو، شهرستان‌های جنوبی و غربی استان یعنی شهرستان‌های ورامین و اسلامشهر نسبت به سایر شهرستان‌ها اولویت دارند. ولی برای محصولات باغی، شهرستان دماوند دارای اولویت است.

نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر مصرف آب برای محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به نتایج، حجم زیادی از منابع آب استان صرف تولید این محصولات می‌شود. در تمامی محصولات مورد مطالعه، ردپای آب

* مسئول مکاتبه: hosseinyousefi@ut.ac.ir

سبز بیش از سایر اجزای ردپای آب بود که نشان‌دهنده اتکای تولید محصولات بر بارش باران و رطوبت خاک است و بخش اعظم آب آبیاری از دسترس گیاه در اثر تبخیر یا نفوذ خارج می‌شود. این در صورتی است که حجم زیادی از آب برای تأمین آب شرب استان به‌خصوص شهر تهران مورد نیاز است که باید با اولویت‌بندی تولیدات، از منابع آب موجود حفاظت کرد. در مجموع بهتر است که در استان تهران تنها تولیدات محصولات باغی گسترش یابد و سایر محصولات زراعی از خارج مرزهای استان تأمین شوند.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، مدیریت کاشت، ردپای آب گندم، استان تهران

مقدمه

رشد بسیار سریع جمعیت، توسعه اقتصادی-اجتماعی جوامع، برداشت جهانی از آب شیرین و گسترش سطح آلودگی‌ها از عوامل اصلی هستند که سبب شده است تا با کمبود و بحران آب بیش از پیش روبرو باشیم (۱۹ و ۲۷). کشاورزی از مصرف‌کننده‌های اصلی آب به‌شمار می‌رود به‌نحوی‌که ۸۵ درصد از مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی را به خود اختصاص داده است (۲٦ و ۲۹) و کاهش آب مصرفی در این بخش مهم اقتصاد، از استراتژی‌های مهمی محسوب می‌شود که برای کاهش معضل کمبود آب مدنظر کارشناسان قرار دارد (۷). در حقیقت برداشت آب و مصرف آن توسط جوامع تنها در مصارف خانگی خلاصه نمی‌شود بلکه بیش‌تر آبی که ما مصرف می‌کنیم آبی است که از طریق مواد غذایی مصرف می‌شود. این غذای مصرفی برای تولید از چندین زنجیره عبور کرده و سپس توزیع شده است. برای مثال گفته می‌شود که برای تولید یک فنجان قهوه ۱٤۰ لیتر آب و یک همبرگر ۲٤۰۰ لیتر آب مصرف شده است (۵).

بنابراین همان‌گونه که گفته شد، آبی که ما با استفاده از کالا مصرف می‌کنیم قطعاً بیش از مقداری است که به‌طور مستقیم برای ما قابل مشاهده است. به این آب جاسازی‌شده در کالاها، به اصطلاح آب مجازی[1] گفته می‌شود (۳). برای نخستین بار مفهوم آب مجازی توسط آقای آلن مطرح شد (۳) و با توجه به این شاخص، تنها می‌توان مشخص نمود که برای تولید یک محصول، چه مقدار آب مصرف شده است. مقدار آب مجازی در تولیدات غذایی مقدار قابل‌توجهی است و با دانستن مقدار آب مجازی رژیم غذایی یک فرد و یا در نگاهی وسیع‌تر یک جامعه می‌توان مصرف آب را مدیریت نمود. حال برای آن‌که مشخص شود آب مصرفی در چرخه تولید محصول از چه منابع آبی تأمین شده، نیاز بود تا یک مفهوم کامل‌تر از آب مجازی مطرح شود. بنابراین مفهوم ردپای آب[2] توسعه یافت که مفهومی جامع‌تر از آب مجازی بوده که به‌طور نزدیکی به آن مرتبط است (۱۳). ردپای آب شاخصی چندبعدی برای استفاده از آب شیرین است که تنها به مصرف مستقیم آب توسط مصرف‌کننده یا تولیدکننده محصور نمی‌شود بلکه در این شاخص استفاده غیرمستقیم از آب نیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع می‌توان به این موضوع اشاره کرد که ردپای آب قادر است ارتباط بین مصارف انسانی از آب شیرین و میزان استفاده از آب در ساخت نوع خاصی از کالا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد (۱۵).

ردپای آب می‌تواند در کنار اندازه‌گیری سنتی مصرف آب، به‌عنوان یک شاخص جامع جهت

1- Virtual Water
2- Water Footprint

شناسایی منابع موجود آب شیرین، منابع تأمین آب و مدیریت مصرف آب نیز در نظر گرفته شود. این شاخص حجم آب مصرفی و نوع آب را نشان می‌دهد. در اینجا منظور از نوع آب این است که منبع تأمین آب از چه طریقی بوده (منابع آب سطحی، زیرزمینی یا رطوبت باقی‌مانده حاصل از بارش در خاک) و همچنین در ازای تولید محصول هدف، چه مقدار از کیفیت اولیه و مطلوب آب از دست رفته است (١٤ و ١٥). ردپای آب مقدار منابع آب اختصاص‌یافته به افراد یا انجام فعالیت خاص در حوزه‌های مختلف را نشان می‌دهد. به بیانی دیگر این شاخص در تدوین استراتژی‌هایی جهت تخصیص منابع آب یک منطقه یا حوضه قابلیت استفاده دارد.

از سال ٢٠٠٢ میلادی که شاخص ردپای آب مطرح شد، تاکنون مطالعات فراوانی برای ارزیابی این شاخص در حوزه‌های مختلف انجام شده است. در ابتدا اکثر مطالعات برای تخمین هر سه جزء ردپای آب (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) در مقیاس کل جهان صورت می‌گرفت ولی سپس با توجه به اهمیت روزافزون مدیریت منابع آب در مقیاس کوچک‌تر، ارزیابی این شاخص به‌صورت محلی دارای اهمیت شد (١٧).

هس و همکاران (٢٠١٥)، در یک مطالعه موردی اطلاعات محلی و جهانی کمبود آب را در تعیین ردپای آب کشت سیب‌زمینی در انگلستان مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش تنها به بررسی ردپای آب آبی پرداخته شد. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط تنها برای تولید این محصول کشاورزی، ٦١ میلیون مترمکعب آب در انگلستان مصرف می‌شود. با استفاده از نقشه‌های موجود در رابطه با کمبود آب مشخص شد که شرق انگلستان به‌عنوان نقطه‌ای نا مناسب جهت تولید این محصول می‌باشد (١٢).

در پژوهشی توسط دنگ و همکاران (٢٠١٦)، استان‌های کشور چین را به هشت منطقه تقسیم شد و ردپای آب محصولات کشاورزی را در کنار سایر محصولات در هر منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج محاسبات نشان داد که فعالیت کشاورزی در اکثر مناطق سهم بیش‌تری از ردپای آب را به خود اختصاص داده است. ایشان بیان داشتند که با اقداماتی مثل افزایش بهره‌وری مصرف آب و اصلاح الگوی صادرات محصولات می‌توانند سهم زیادی از ردپای آب محصولات تولیدی مناطق را کنترل و کاهش دهند (٨).

آبابایی و رمضانی‌اعتدالی (٢٠١٧)، ارزیابی شاخص ردپای آب را برای سه نوع از مهم‌ترین غلات تولیدی ایران (شامل: گندم، جو و ذرت) در بازه زمانی ٢٠٠٦ تا ٢٠١٢ مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه اطلاعاتی در مورد استان‌های اصلی تولید این محصولات، سطح زیر کشت، مقدار تولید و مقدار بهره‌وری محصولات مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد ردپای آب سبز مربوط به تولید این محصولات در کشور، برای گندم و جو، به‌ترتیب ٢/٣ و ١/٩ مرتبه بیش‌تر از ردپای آب آبی برای تولید این محصولات می‌باشد (١).

ژائو و همکاران (٢٠١٧)، در پژوهشی تأثیرات اقدامات مدیریت مختلف کشاورزی را در مقوله‌های مختلف از جمله راندمان آبیاری، بهره‌وری مصرف آب و ردپای آب آبی و سبز را برای محصول گندم زمستانه مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ٢٤ مدل در اثر ترکیب چهار روش آبیاری، دو استراتژی آبیاری و سه نوع مالچ به‌وجود آمد. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری بیش‌ترین تأثیر را در افزایش راندمان مصرف آب آبی داشته است، بدین‌ترتیب که راندمان آبیاری ٥٪ افزایش و ردپای آب آبی ٣٨٪ کاهش یافته است. البته این موضوع در حالی است که عملکرد محصول با ٩٪ کاهش روبرو بوده است (٣١).

علیقلی‌نیا و همکاران (۲۰۱٦)، در مطالعه‌ای اقدام به تخمین و ارزیابی ردپای آب آبی و سبز در حوزه آبخیز ارومیه نمودند. در این پژوهش برای بررسی ردپای آب محصولات زراعی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، پنج محصول عمده در حوضه شامل، گندم، چغندرقند، گوجه‌فرنگی، یونجه و ذرت مورد بررسی قرار گرفته و ردپای آب در این محصولات محاسبه گردید. نتایج بررسی ایشان نشان داد که متوسط سالانه آب مصرفی در محصولات غالب تولید شده حوضه حدود ۳٥٤۷/۸۳ مترمکعب بر تن می‌باشد که از این مقدار سهم دو جزء آب سبز و آبی به‌ترتیب ۲٥٪ و ۷٥٪ می‌باشد (٤).

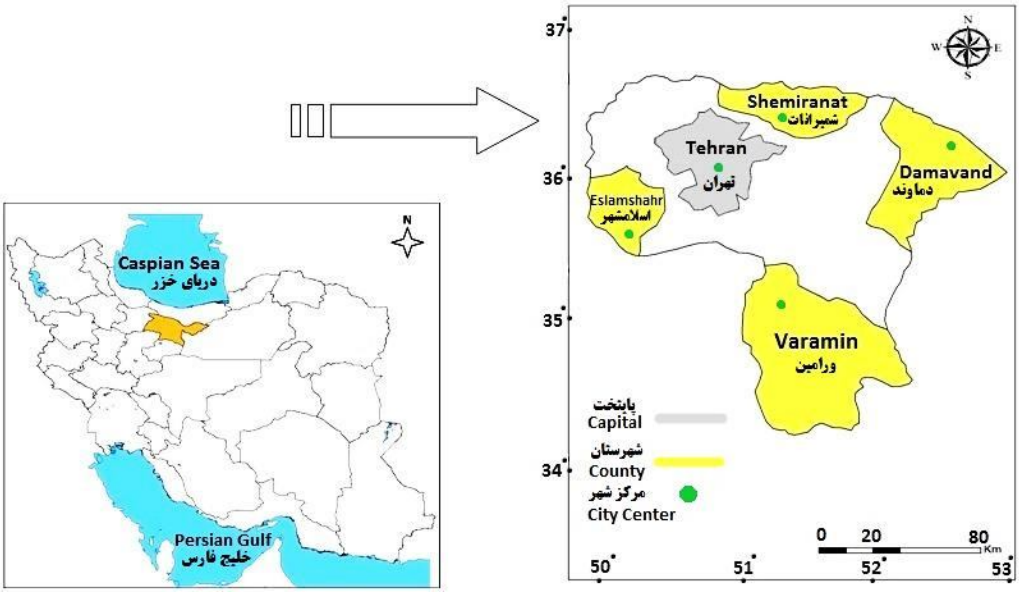
محمدخانی (۲۰۱٥)، در پژوهشی ردپای آب آبی، سبز و خاکستری برخی از محصولات منتخب را در مرحله تولید و مصرف مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه مشخص شد که در ایران تولید یک تن از محصولات (دامی و زراعی) بیش‌تر بر پایه مصرف آب آبی استوار است اما در حالی‌که به‌طور متوسط در ۱۷٦ کشور جهان، ردپای آب سبز سهم عمده را در تولید یک تن از محصولات فوق دارند. پژوهش پیش‌رو با هدف محاسبه شاخص ردپای آب محصولات کشاورزی در قطب‌های تولیدی استان تهران نگاشته شده است تا بتوان با نتایج حاصل از آن مشخص نمود که کدام شهرستان در این استان برای تولید محصولی خاص نسبت به دیگر شهرستان دارای اولویت می‌باشد (۲۱).

با توجه به اهمیت شاخص ردپای آب در بحث مدیریت منابع آب به‌خصوص در بخش کشاورزی، برای نخستین مرتبه از این روش برای تعیین اولویت کاشت بر محور اختصاص آب استفاده شد. به‌منظور بیان جزئیات هدف مذکور می‌توان چنین بیان داشت که با استفاده از شاخص ردپای آب مشخص شد که هر محصول در بخش‌های زراعی و باغی، چه مقدار آب مصرف کرده است، منبع تأمین آن از کجا بوده و به‌ازای تولید آن چه مقدار آب کیفیت مطلوب اولیه خود را از دست داده است. سپس با بررسی متناظر عملیات آمایش بر پایه ردپای آب صورت گرفت و مشخص شد که کدام شهرستان استان تهران، برای تولید کدام محصول (باغی یا زراعی) قابل پیشنهاد است.

مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعه پیش‌رو، از روش ارزیابی ردپای آب برای محاسبه اجزای ردپای آب محصولات کشاورزی استان تهران استفاده شد. بدین‌منظور، اطلاعات کشاورزی استان از طریق آمارنامه ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت (۲۳ و ۲٤). بررسی‌ها نشان داد که عمده فعالیت کشاورزی استان از لحاظ مقدار وزنی تولید و همچنین سطح کشت، در چهار شهرستان ورامین، اسلامشهر، دماوند و شمیرانات انجام می‌شود (شکل ۱). بنابراین، اطلاعات مورد نیاز برای استفاده از روش ارزیابی ردپای آن از جمله مقدار تولید و سطح زیر کشت محصولات، عملکرد محصولات و نیاز آبی آن‌ها از آمارنامه‌های ارائه شده توسط وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد (۲۳).

در مرحله بعد ردپای آب برای محصولات زراعی و باغی در شهرستان‌های اصلی تولید آن‌ها در استان تهران محاسبه شد. سپس برای تعیین این‌که کدام شهرستان از منظر شاخص ردپای آب، شرایط مطلوب‌تری برای کاشت هر یک از محصولات دارد، نتایج حاصل از محاسبات ردپای آب محصولات در شهرستان‌هایی که به‌صورت مشترک اقدام به کاشت محصولی خاص می‌کنند به‌صورت متناظر بررسی و مقایسه شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Spatial location of studied counties.

محاسبات ردپای آب: ردپاهای آب آبی، سبز و خاکستری محصولات مختلف با استفاده از چارچوب کاری ارائه شده توسط هوکسترا و چاپاگین (۲۰۰۸) و هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) مورد محاسبه قرار گرفت (۱۵ و ۱۶). در این چارچوب، ردپای آب به‌عنوان شاخصی در نظر گرفته می‌شود که در آن تخصیص آب برای مصارف انسانی مدنظر قرار دارد و مصارف اکوسیستم در آن مورد بررسی قرار نمی‌گیرد (۱۵). نیاز آبیاری و بارش مؤثر با استفاده از نرم‌افزار NETWAT که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه شده به‌دست آمد. این مدل نسخه بومی شده مدل CROPWAT می‌باشد که در آن تبخیر و تعرق گیاه براساس رابطه پنمن- مانتیث و مقدار بارش مؤثر هم از مدل USDA-SCS گرفته شده است. در محاسبه ردپای آب آبی، فرض بر آن است که آبیاری زمانی صورت می‌گیرد که ۵۰ درصد آب از دسترس گیاه خارج شده و رطوبت موجود در ناحیه ریشه به مقدار ظرفیت زراعی رسیده است. ردپای آب کل[1] محصولات از سه جزء ردپای آب آبی[2] و ردپای آب سبز[3] و خاکستری[4] تشکیل و به‌صورت رابطه ۱ تعریف شده است (۱۸).

$$WF_t = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{gray} \qquad (۱)$$

که در آن، هر جزء از ردپای آب محصول زراعی، به‌صورت مترمکعب بر کیلوگرم بیان می‌شود.

ردپای آب سبز: مصرف آب در این دوره با توجه به محاسبه تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد که در نهایت به‌صورت عددی با واحد مترمکعب بر کیلوگرم بیان می‌شود. ردپای آب سبز محصول از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۱۵):

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \qquad (۲)$$

1- Total Water Footprint
2- Blue Water Footprint
3- Green Water Footprint
4- Gray Water Footprint

که در آن، CWU_{green} مقدار مصرف ردپای آب سبز گیاه در منطقه (مترمکعب بر هکتار) و Y بازده محصول (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد. مقدار مصرف ردپای آب سبز گیاه براساس رابطه ۳ تعیین می‌گردد (۱۸):

$$CW_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{T} ET_{green} \qquad (۳)$$

که در آن، ضریب ده تبخیر و تعرق را از میلی‌متر (ارتفاع) به حجم آب در واحد زمین (مترمکعب بر کیلوگرم) تبدیل می‌کند. در این رابطه T طول مدت رشد گیاه در دوره رشد d (روز) می‌باشد. ET_{green} نیز نشان‌دهنده تبخیر و تعرق آب سبز است. فرض دیگر در این محاسبه این است که تنها وقتی آب سبز موجود در خاک برای استفاده گیاه کافی نباشد، گیاه از آب آبی موجود استفاده می‌کند. از این‌رو، تبخیر و تعرق سبز گیاه (ET_{green}) از روش ارائه شده توسط هوکسترا و همکاران (۱۵) به‌دست می‌آید (رابطه ٤):

$$ET_{green} = \min (ET_c , P_{eff}) \qquad (٤)$$

که در آن، ET_c مقدار تبخیر و تعرق گیاه و P_{eff} نیز نشان‌دهنده مقدار بارش مؤثر می‌باشد. نیاز آبی گیاه از مقدار بارش، دما، فشار هوا، سرعت باد، نوع گیاه، شرایط خاک و زمان کاشت تأثیر می‌پذیرد.

ردپای آب آبی: ردپای آب آبی (رابطه ۵) تقریباً همانند ردپای آب سبز مورد محاسبه قرار می‌گیرد با این تفاوت که تبخیر و تعرق آب آبی (ET_{blue}) به‌صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود (۱۵ و ۱۸):

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \qquad (۵)$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{T} ET_{blue} \qquad (٦)$$

$$ET_{blue} = \max (0 , ET_c - P_{eff}) \qquad (۷)$$

که در آن، CWU_{blue} (رابطه ٦) مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه در منطقه (مترمکعب بر هکتار) و Y بازده محصول (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد.

ردپای آب خاکستری: در این پژوهش، ردپای آب خاکستری نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور تنها استفاده از کود ازته به‌عنوان منبع ایجاد آلودگی مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات مربوط به میانگین میزان کاربرد کود ازته (NAR در کیلوگرم بر هکتار) از وزارت جهاد کشاورزی گرفته شد (۲۵). روش محاسبه بر اساس روش ارائه شده توسط چاپاگین و همکاران (۲۰۰٦) و هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد (٦ و ۱۵). آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) با توجه به پژوهش چاپاگین و همکاران (۲۰۰٦)، حداکثر غلظت مجاز نیتروژن در منابع آب سطحی و زیرزمینی را ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر توصیه کرده است (٦). این استاندارد از زمانی اتخاذ شد که آب‌های ناشی از فعالیت کشاورزی دوباره جمع‌آوری می‌شدند و بعد از انتقال به منابع اولیه خود، در مصارف شهری مورد استفاده قرار می‌گرفتند. از این‌رو لازم بود تا غلظت این عامل کم‌تر از یک آستانه قرار گیرد. از آن‌جایی‌که هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد غلظت طبیعی نیتروژن در آب و محیط در دسترس نبود، مقدار آن در این مطالعه صفر در نظر گرفته شد.

طبق توضیح ارائه شده، رابطه مورد استفاده برای محاسبه ردپای آب خاکستری به‌صورت رابطه ۸ ارائه می‌شود (۱):

$$WF_{gray} = \frac{\alpha_{Irr} \times NAR_{Irr}}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Yield_{Irr}} \qquad (۸)$$

که در آن، α به‌صورت یک ضریب خاص در نظر گرفته شده که در جدول ۱ آورده شده است. NAR_{Irr} مقدار مصرف کود ازته (کیلوگرم بر هکتار)، C_{Max} حداکثر قابل‌قبول نیتروژن (میلی‌گرم بر لیتر)، C_{Nat} غلظت طبیعی نیتروژن (که برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود) و $Yield_{Irr}$ عملکرد محصول در کشت آبی (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر مصرف کود ازته برای هر محصول (ضریب آلفا، ضریبی است که به‌ازای مقدار آبشویی صورت گرفته برای نیتروژن بیان می‌شود) (۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۲۸).

Table 1. Nitrogen fertilizer application rates for each product (Alpha index, is an index which define as a amount of Nitrogen leaching to produce a product) (10, 11, 15 and 28).

محصول Crop	میانگین مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم بر هکتار) Ave of chemical fertilizer usage ($kg\ ha^{-1}$)	ضریب آلفا α	محصول Crop	میانگین مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم بر هکتار) Ave of chemical fertilizer usage ($kg\ ha^{-1}$)	ضریب آلفا α
گندم Wheat	345	40	خیار Cucumber	410	52
جو Barley	339	50	سیب Apple	120	18
ذرت Corn	570	40	انار Pomegranate	60	12
ذرت علوفه Maize	485	65	گیلاس Cherry	80	29
هندوانه Watermelon	284	30	هلو Peach	150	21
زردآلو Apricot	60	15	طالبی Melon	150	30
پسته Pistachio	100	37	-	-	-

نتایج و بحث

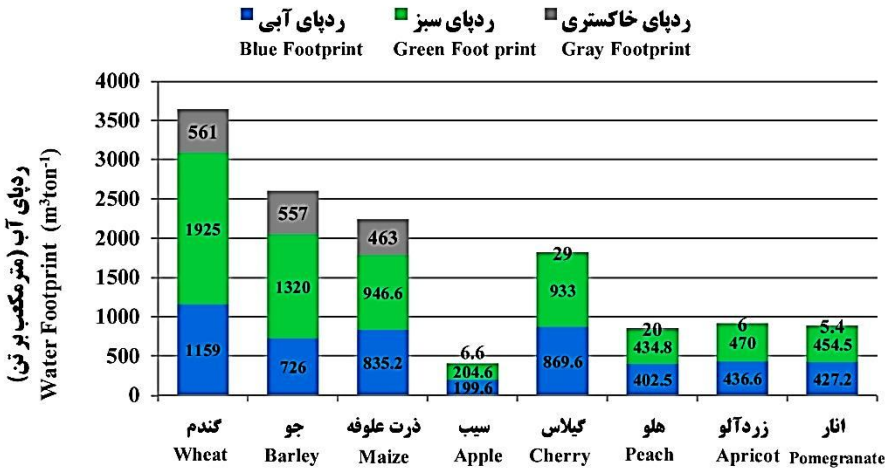
شهرستان دماوند: براساس سیمای کشاورزی استان تهران (۲) اطلاعات مربوط به عملکرد، سطح زیر کشت و مقدار تولید محصولات زراعی و باغی به‌صورت جدول ۲ ارائه شده است:

بر اساس محاسبات انجام شده و برای ارائه نتایج بخش تولیدات زراعی و باغی دماوند شکل ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲- وضعیت کشاورزی شهرستان دماوند و ویژگی‌های عمده محصولات تولیدی.

Table 2. Damavand agricultural status and major characteristics of manufactured products.

محصول Crop	سطح برداشت (هکتار) Harvested Area (ha)	میزان تولید (تن) Production (ton)	عملکرد (کیلوگرم/ هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (mm) (ET_c)	نیاز آبیاری (mm) (IR)	بارش مؤثر (mm) (P_{eff})
گندم Wheat	1200	2950	2458.3	373	284	89
جو Barley	204	620	3039.2	308	220	88
ذرت علوفه‌ای Maize	183	1245	6803.2	568	568	0
سیب Apple	6875	222775	32403.5	655	647	8
گیلاس Cherry	382	3041	7958	712	687	25
هلو Peach	718	11200	15599	649	624	25
زردآلو Apricot	130	1950	15000	680	655	25
انار Pomegranate	119	1575	13235	582	564	18



شکل ۲- نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی شهرستان دماوند.

Figure 2. Comparison of the crops Water Footprint of Damavand County.

با توجه به شکل ۲، در صورتی‌که بخش کشاورزی را برای این استان به دو بخش تولیدات زراعی و تولیدات باغی تقسیم نمائیم، در بین محصولات زراعی تولیدی شهرستان، محصول گندم با ردپای آب ۳٦٤٥ مترمکعب برتن بالاترین سهم را در اختصاص ردپای آب داشته است. در صورتی که

کم‌ترین آن مربوط به ذرت علوفه‌ای با داشتن ردپای ۲۲٤٤/۸ مترمکعب برتن می‌باشد.

در بخش تولیدات باغی، محصول گیلاس با اختصاص ۱۸۳۱/٦ مترمکعب بر تن، بیش‌ترین سهم را داشته در حالی‌که محصول سیب نسبت به سایر محصولات حتی محصولات زراعی کم‌ترین محتوی ردپای آب را داشته است (٤۱۰/۸ مترمکعب برتن). برای بررسی جزءبه‌جزء ردپای آب می‌توان چنین بیان داشت که در بخش زراعی گندم بالاترین ردپای در هر سه بخش را داشته است. با توجه به شکل فوق، بیش‌ترین اختلاف در مورد ردپای آب سبز در این محصول با سایر محصولات هم‌رده است که این موضوع بیانگر اهمیت نگهداری آب در خاک و اتکاء محصول به بارش است. نکته قابل‌توجه این است که ردپای آب آبی ذرت علوفه‌ای، بیش از محصول جو است که نشان می‌دهد آبیاری مستقیم و منابع آب سطحی و زیرزمینی نقش مهم‌تری را نسبت به بارش برای تولید این محصول در این مکان بازی می‌کند. در بخش تولیدات باغی نیز تمام اجزای ردپای آب برای محصول گیلاس بیش از سایر محصولات است.

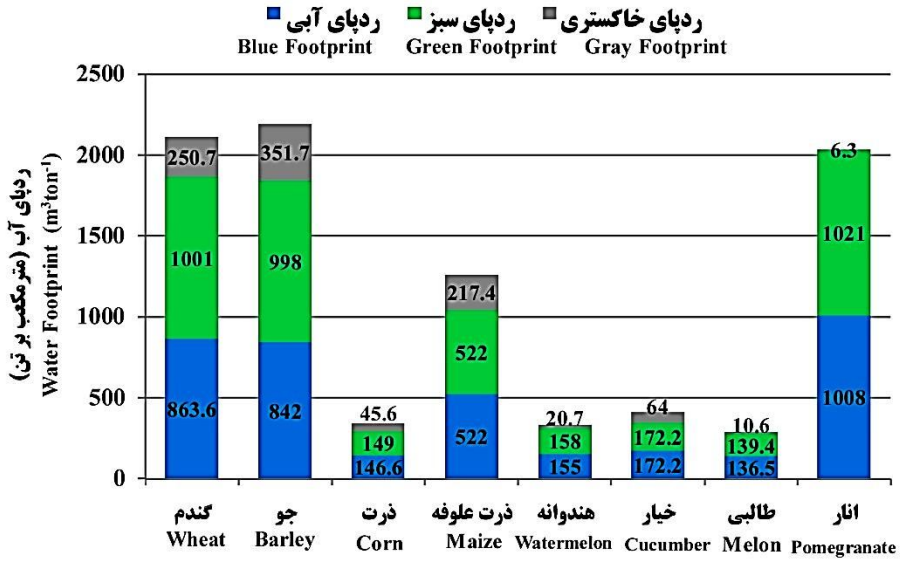
شهرستان ورامین: در جدول ۳ وضعیت تولیدات کشاورزی شهرستان ورامین و ویژگی‌های آن از جمله تبخیر و تعرق گیاه، نیاز آبیاری و بارش مؤثر آورده شده است.

نمودار ردپای آب محصولات زراعی و باغی شهرستان به‌صورت شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- وضعیت کشاورزی شهرستان ورامین و ویژگی‌های عمده محصولات تولیدی.

Table 3. Varamin agricultural status and major characteristics of manufactured products.

محصول Crop	سطح برداشت (هکتار) Harvested Area (ha)	میزان تولید (تن) Production (ton)	عملکرد (کیلوگرم/ هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (mm) (ETc)	نیاز آبیاری (mm) (IR)	بارش مؤثر (mm) (Peff)
گندم Wheat	7800	42930	5503.8	513	475	38
جو Barley	9850	47470	4819.2	442	405	37
ذرت Corn	4445	222250	50000	739	733	6
ذرت علوفه‌ای Maize	2300	33350	14500	757	757	0
انار Pomegranate	165	1870	11333	642	636	6
هندوانه Watermelon	344	14121	41049	572	572	0
طالبی Melon	261	11053.3	42349	584	578	6
خیار Cucumber	827	27514.8	33270	1148	1142	6



شکل ۳- نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی شهرستان ورامین.

Figure 3. Comparison of the crops Water Footprint of Varamin County.

با توجه به شکل ۳، محصول جو در این شهرستان نسبت به تمامی محصولات تولیدی (باغی و زراعی)، بیش‌ترین ردپای آب (۲۱۹۱/۷ مترمکعب بر تن) را داشته است. در این شهرستان محصول باغی انار نیز در حال کشت بوده که این محصول نیز ردپای آب قابل‌توجهی را به خود اختصاص داده است. نکته قابل‌توجه این است که در مورد اجزای ردپای آب، تمامی این اجزاء در محصول جو به‌جز ردپای آب خاکستری، کم‌تر محصول گندم می‌باشد و تنها این عامل سبب افزایش ردپای آب محصول جو نسبت به محصول گندم شده است. بنابراین در این منطقه، آلودگی ناشی از تولید محصول جو به‌علت مصارف بالای کود، بیش از سایر محصولات است. از لحاظ محتوی ردپای آب، محصول انار، در این شهرستان بالاترین مصرف آب و کم‌ترین تولید آلودگی را دارد. محصولات جالیزی هم‌چون طالبی، هندوانه و خیار دارای ردپای آبی بسیار کم‌تری نسبت به اکثریت محصولات زراعی دارند که این خود می‌تواند عاملی جهت جایگزینی سطح زیر کشت آن‌ها با محصولات جالیزی مذکور شود.

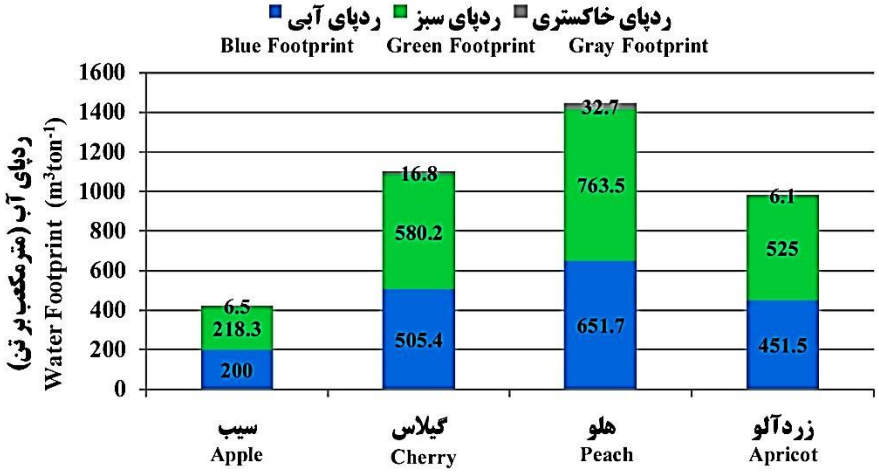
شهرستان شمیرانات: وضعیت کشاورزی شهرستان ورامین و ویژگی‌های مؤثر در محاسبه ردپای آب محصولات آن در جدول ٤ آورده شده است.

نمودار ردپای آب محصولات باغی شهرستان به‌صورت شکل ٤ ارائه شده است.

جدول ٤- وضعیت کشاورزی شهرستان شمیرانات و ویژگی‌های عمده محصولات تولیدی.

Table 4. Shemiranat agricultural status and major characteristics of manufactured products.

محصول Crop	سطح برداشت (هکتار) Harvested Area (ha)	میزان تولید (تن) Production (ton)	عملکرد (کیلوگرم/ هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (mm) (ETc)	نیاز آبیاری (mm) (IR)	بارش مؤثر (mm) (Peff)
سیب Apple	1292	42947	33240	695	665	30
گیلاس Cherry	4575	63000	13770.5	742	696	53
هلو Peach	74.5	717	9624	680	627	53
زردآلو Apricot	63.5	930	14645.6	714	661	53



شکل ٤- نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی شهرستان شمیرانات.

Figure 4. Comparison of the crops Water Footprint of Shemiranat County.

طبق شکل ٤، محصول باغی هلو بالاترین ردپای آب را به خود اختصاص داده است. نکته قابل‌ذکر این است که عمده اختلاف این محصول در اجزای ردپای آب نسبت به سایر محصولات، مربوط به ردپای آب سبز (٧٦٣/٥ مترمکعب بر تن) و خاکستری (٣٢/٧ مترمکعب بر تن) آن است. بر این اساس وابستگی این محصول به بارش و همچنین ایجاد آلودگی آن بیش از سایر محصولات تولیدی این شهرستان می‌باشد. محصول زردآلو با آنکه ردپای آب آبی و سبز آن مقداری قابل‌توجه است ولی کم‌ترین ردپای آب خاکستری را دارد. در این استان شرایط تولید سیب با در نظر گرفتن اجزای ردپای آب از جهت مصرف آب مناسب‌تر از سایر محصولات است.

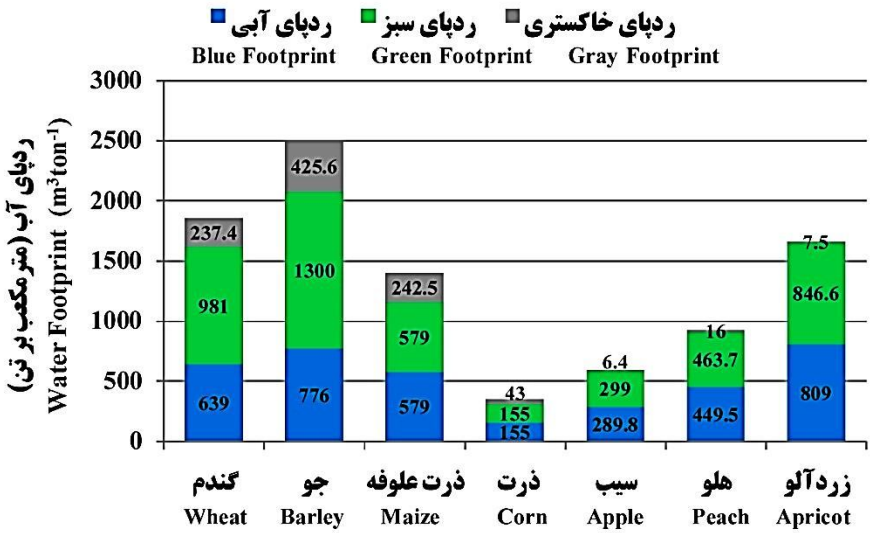
شهرستان اسلامشهر: در جدول ٥، وضعیت کشاورزی شهرستان اسلامشهر و ویژگی‌های مؤثر در محاسبه ردپای آب محصولات آن آورده شده است.

ردپای آب محصولات زراعی و باغی شهرستان اسلامشهر به‌صورت شکل ٥ ارائه شده است.

جدول ۵- وضعیت کشاورزی شهرستان اسلامشهر و ویژگی‌های عمده محصولات تولیدی.

Table 5. Islamshahr agricultural status and major characteristics of manufactured products.

محصول Crop	سطح برداشت (هکتار) Harvested Area (ha)	میزان تولید (تن) Production (ton)	عملکرد (کیلوگرم/ هکتار) Yield (kg ha^{-1})	تبخیر و تعرق گیاه (mm) (ETc)	نیاز آبیاری (mm) (IR)	بارش مؤثر (mm) (Peff)
گندم Wheat	3198	18587	5812	470	371	99
جو Barley	3400	13540	3982.3	408	309	99
ذرت علوفه‌ای Maize	835	10855	13000	753	753	0
ذرت Corn	4212	223236	53000	822	822	0
هلو Peach	120	2360	19666	986	971	15
زردآلو Apricot	10	120	12000	895	881	14
سیب Apple	7	234.5	33500	986	971	15



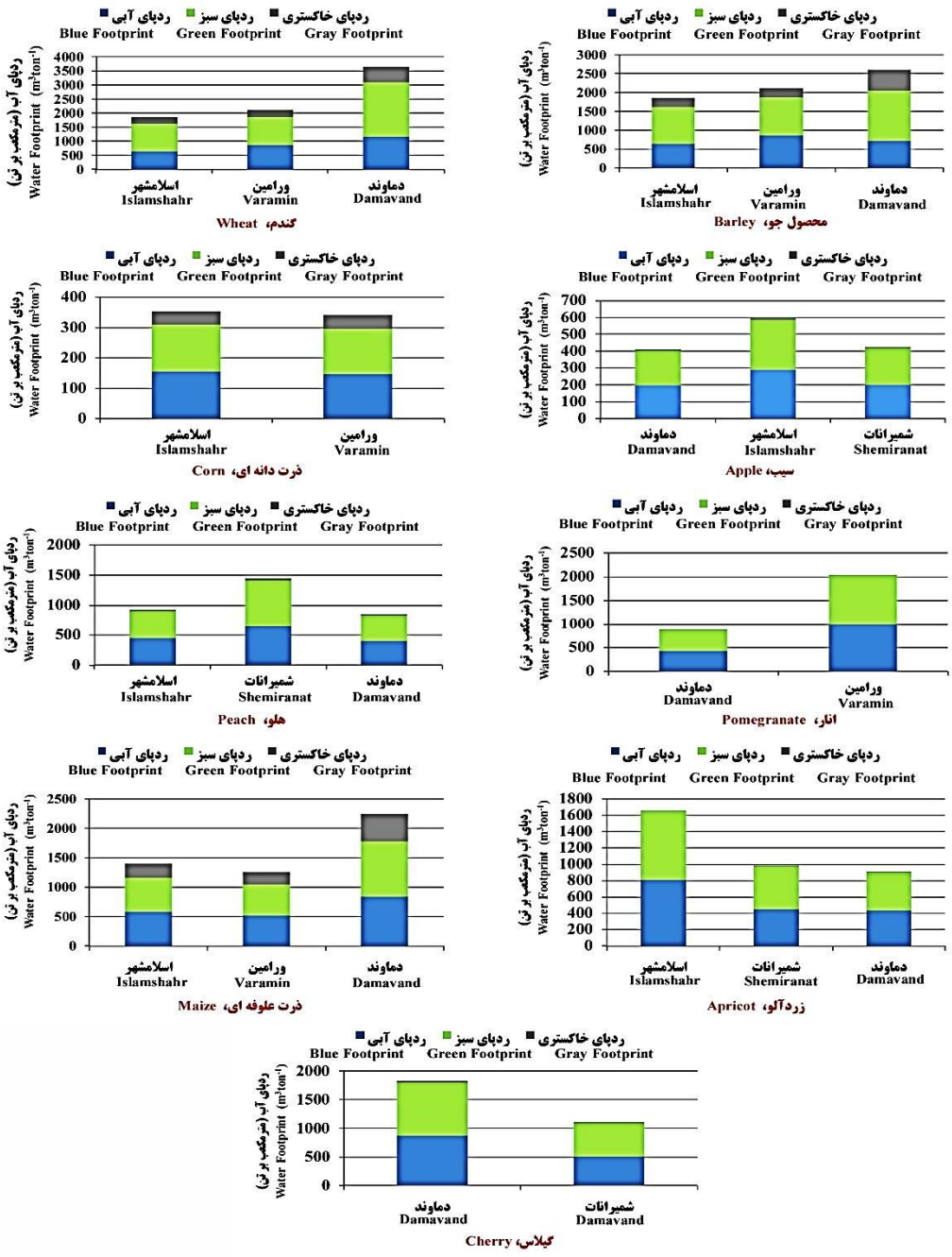
شکل ۵- نمودار مقایسه ردپای آب محصولات زراعی شهرستان اسلامشهر.

Figure 5. Comparison of the crops Water Footprint of Islamshahr County.

شهرستان اسلامشهر از جمله شهرستان‌هایی در استان تهران بوده که دارای تنوع در تولیدات کشاورزی است. با توجه به شکل ۵، محصول جو با داشتن ردپای آب ۲۵۰۱/٦ مترمکعب بر تن، بیش‌ترین ردپای آب را داشته است به‌نحوی‌که تمام اجزای ردپای آب آن بیش از سایرین است. بیش‌ترین اختلاف در محصول جو مربوط به ردپای آب سبز آن (۱۳۰۰ مترمکعب بر تن) بوده که نشان از اهمیت آب نگهداری شده در خاک و بارش برای تولید این محصول است. محصول ذرت دارای کم‌ترین ردپای آب در بین تمامی محصولات تولیدی است. در بین محصولات باغی نیز محصول زردآلو بیش‌ترین ردپای

آب را داشته (۱۶۶۳/۱ مترمکعب بر تن) ولی نسبت به سایر محصولات هم رده، نسبت ردپای آب خاکستری آن، بسیار کم‌تر از سایر اجزای ردپای آب است که نشان می‌دهد ایجاد آلودگی (در ازای مصرف کود کم) در این محصول بسیار کم است.

به‌منظور این‌که بتوان مشخص نمود که برای یک محصول خاص، کدام شهرستان دارای اولویت کاشت می‌باشد، در این بخش از مطالعه، ردپای آب محصولاتی که در بین شهرستان‌ها به‌طور مشترک کشت می‌شوند به‌صورت ارائه در شکل ٦، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ٦- مقایسه ردپای آب تولید محصولات کشاورزی مشترک در شهرستان‌های استان تهران.

Figure 6. Comparison of water footprint production of common agricultural products in the counties of Tehran province.

بر اساس شکل ٦، تولید محصول گندم با توجه به محتوی ردپای آب (از هر منظر هر سه جزء)، در شهرستان اسلامشهر از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است. براساس شکل فوق، تولید محصول جو با توجه به محتوی ردپای آب (از منظر هر سه جزء)، در شهرستان اسلامشهر از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است. برای تولید محصول ذرت، تفاوت بسیار قابل‌ملاحظه‌ای بین دو شهرستان مشاهده نمی‌شود. اما در تحلیل جزءبه‌جزء ردپای آب می‌توان چنین بیان نمود که در شهرستان ورامین، جزء ردپای آبی و سبز دارای مقدار کم‌تری نسبت به مقادیر متناظر در شهرستان اسلامشهر دارند ولی جزء ردپای آب خاکستری آن به مقدار ۲/٦ مترمکعب بر تن بیش‌تر از مقدار آن در شهرستان اسلامشهر است. با توجه به مقادیر تولید در هر شهرستان، مقدار تولید در شهرستان ورامین ۹۸٦ تن کم‌تر از شهرستان اسلامشهر است. در صورتی‌که روند فعلی حفظ شود، مشکلی از منظر افزایش تولید آلودگی (نسبت به حال حاضر) نخواهیم داشت اما اگر سطح تولید در شهرستان ورامین به مقدار تولید در شهرستان اسلامشهر برسد، شاهد افزایش آلودگی به‌ازای ۲/٦ مترمکعب بر تن خواهیم بود. بنابراین با توجه به شرایط فعلی و وضعیت دو جزء ردپاهای آب آبی و خاکستری، کشت و تولید این محصول در شهرستان ورامین مناسب خواهد بود.

تولید محصول سیب در شهرستان دماوند از منظر شاخص ردپای آب، شرایط مناسب‌تری نسبت به سایر شهرستان‌ها دارد. نکات قابل بحث این است که ردپای آب آبی بین شهرستان دماوند و شمیرانات تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای ندارد و همچنین ردپای آب خاکستری در شهرستان شمیرانات کم‌تر از شهرستان دماوند است، اما مقدار ردپای آب سبز آن‌ها تفاوت چشمگیری دارد و از این منظر شهرستان دماوند دارای اولویت خواهد بود. برای تولید محصول هلو، ردپای آب در شهرستان دماوند با اختلاف ناچیزی کم‌تر از شهرستان اسلامشهر می‌باشد که عمده علت آن مربوط به ردپای آب آبی در شهرستان دماوند است. حال در مورد این محصول نیز ردپای آب خاکستری در شهرستان اسلامشهر چهار مترمکعب علی‌رغم بالاتر بودن سایر اجزاء، کم‌تر از شهرستان دماوند است. با توجه به مقدار تولید این محصول، مقدار تولید در شهرستان دماوند به مقدار ۸۸٤۰ تن بیش‌تر از شهرستان اسلامشهر است و در واقع ۳۵۳٦۰ مترمکعب آب در سال به‌ازای این مقدار تولید محصول بیش‌تر، آلوده شده و کیفیت اولیه خود را از دست می‌دهد. بنابراین لازم است تا با تدابیری از مصارف کود شیمیایی در این شهرستان برای تولید این محصول کاسته شود.

در صورتی‌که بخواهیم با توجه به نتایج حاصل از شاخص ردپای آب تعیین مکانی برای تولیدات کشاورزی استان داشته باشیم جدول ٦ را می‌توان ارائه نمود.

جدول ٦- شهرستان‌های مناسب از منظر شاخص ردپای آب برای تولید محصولات کشاورزی.

Table 6. Appropriate counties from the water footprint perspective for agricultural production.

تولیدات کشاورزی Agricultural Production			
محصول Crop	شهرستان County	محصول Crop	شهرستان County
گندم Wheat	اسلامشهر Islamshahr	گیلاس Cherry	شمیرانات Shemiranat
جو Barley	اسلامشهر Islamshahr	زردآلو Apricot	دماوند Damavand
ذرت علوفه‌ای Maize	ورامین Varamin	انار Pomegranate	دماوند Damavand
ذرت Corn	ورامین Varamin	سیب Apple	دماوند Damavand
هلو Peach	دماوند Damavand	–	–

نتیجه‌گیری

در بین منابع و نهاده‌های تولیدی، آب همیشه جایگاه ویژه و مهمی داشته است. در واقع شاید بتوان آب را یکی از مهم‌ترین منابع تولید در کشاورزی محسوب نمود. اهمیت این نهاده در کشور ایران به دلایل محدودیت منابع آب از یک طرف و کم بودن راندمان آبیاری و هدررفت بخش عمده‌ای از منابع آب از طرفی دیگر، دوچندان است (۳۰). حال نیاز است تا با استفاده از ابزارها و یا شاخص‌هایی مصرف آب در گیاهان را به صورت کمی نشان داد تا بتوان جهت اقدامات مدیریتی از جمله مکانیابی برای بهترین ناحیه کاشت محصولی معین زمینه را فراهم نمود.

در این پژوهش از شاخص ردپای آب جهت ارزیابی مصارف آب در حوزه کلیدی مصرف آب یعنی بخش کشاورزی استفاده شد. نتایج حاصل از پژوهش در مورد نسبت اجزای ردپای آب و صحت آن با مطالعاتی مانند محمدی و همکاران (۲۰۱۷) و گربس لینس و هوکسترا (۲۰۱۲) مطابقت دارد (۹ و ۲۲). در شهرستان دماوند، عمده محصولات تولیدی در بخش کشاورزی مربوط به محصول گندم و عمده محصولات باغی مختص به محصول سیب می‌باشد. محاسبات نشان داد که در بین محصولات باغی، سیب کم‌ترین ردپای آب را دارد و بهترین محصول باغی برای کشت در این شهرستان است. در بخش زراعی، محصول ذرت علوفه‌ای ردپای آب به مراتب کم‌تری نسبت به گندم دارد و در مجموع برای کاشت در این استان دارای برتری است. شهرستان ورامین، از جمله نواحی با سطح و مقدار تولید فراوان در سطح استان است که با توجه به ویژگی فیزیوگرافی خود با استقبال کشاورزان روبرو بوده است. بیش‌ترین سطح تولید محصولات کشاورزی در این شهرستان مربوط به محصول جو می‌باشد. اما براساس محاسبات انجام شده، مشخص شد که بالاترین مقدار ردپای آب در بین محصولات کشاورزی شهرستان مربوط به این محصول است. کم‌ترین ردپای آب نیز متعلق به محصول ذرت (دانه‌ای) است. تمامی اجزای ردپای آب آن کم‌تر از سایر محصولات است و تقریباً ردپای آب آبی و سبز

آن با هم برابر است. نکته قابل‌توجه این‌که این محصول عملکرد بسیار بالایی نسبت به بقیه محصولات دارد و در نتیجه این محصول برای کشاورزی شهرستان توصیه می‌شود.

در شهرستان شمیرانات در حوزه کشاورزی تنها تولیدات باغی انجام می‌شود. در این میان ردپای آب محصول سیب کم‌تر از سایر محصولات است در حالی‌که محصول هلو ردپایی تقریباً سه برابر آن دارد. پس اولویت کاشت در بخش کشاورزی از منظر ردپای آب محصول سیب برای این شهرستان می‌باشد. عمده آب و نیاز آبی این محصول از طریق بارش و رطوبت باقی‌مانده در خاک (ردپای آب سبز) حاصل می‌شود. در شهرستان اسلامشهر، بیش‌ترین سطح کشت محصولات زراعی متعلق به ذرت دانه‌ای است. ردپای آب این محصول بسیار کم‌تر از سایر محصولات بوده که به همین سبب جهت کاشت در این شهرستان توصیه می‌شود. در مورد محصولات باغی، کم‌ترین ردپای آب متعلق به محصول سیب است که به همین سبب برای کشت در این شهرستان قابل توصیه است. در پژوهش انجام شده توسط مکانن و هوکسترا (۲۰۱۱)، ردپای آب تعدادی چند از محصولات زراعی و باغی مورد پژوهش قرار گرفت (۲۰). با مقایسه انجام شده نتایج پژوهش حاضر با پژوهش ایشان، ردپای آب جو استان ۱۰۰۸ مترمکعب بر تن، میانگین ردپای آب گندم استان ۷۱۲ مترمکعب بر تن بیش‌تر از میانگین جهانی بوده در حالی‌که میانگین ردپای آب سیب استان ۳٤٦ مترمکعب برتن، ردپای آب گیلاس استان ۱۳۸ مترمکعب بر تن و ردپای آب زردآلو استان ۱۰۲ مترمکعب برتن کم‌تر از میانگین جهانی محاسبه شده است. در پایان می‌توان چنین بیان نمود که با توجه به محتوی بالای ردپای آب محصولات کشاورزی استان، سه راه پیش رو خواهیم داشت. به‌عنوان راه اول و با توجه به هدف و موضوع پژوهش، لازم است تا مکان‌های پیشنهاد شده در جدول ٦ به‌عنوان اولویت در تولید محصولات موجود مدنظر قرار گیرند. به بیانی دیگر بهترین الگوی کشت با توجه به نتایج در جدول مذکور آورده شده است. راه دوم این است که در استان تهران در صورت امکان هیچ‌گونه فعالیت کشاورزی صورت نگیرد و یا حتی‌المقدور محصولات کشاورزی با ردپای آب کم‌تر برای تولید در این استان، آن هم با سطح تولید محدود ادامه یابد و راه سوم این است که طبق نتایج مطالعاتی مانند کار آقای چوکالا و همکاران (۲۰۱۵)، با اقداماتی مانند کم‌آبیاری، مالچ‌پاشی و افزایش بهره‌وری مصرف آب، مقدار ردپای آب محصولات را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد (۷).

منابع

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

2.Agricultural profile of Tehran province. 2015. Tehran province Agricultural Organization. Available at: http://Tehran.agri-jahad.ir.

3.Allan, J.A. 1998. Virtual water: a strategic resource. Ground Water. 36: 545-547.

4.Aligholinia, T., Rezaie, H., Behmanesh, J., and Montaseri, M. 2016. Presentation of water footprint concept and its evaluation in Urmia lake watershed agricultural crops. J. Water Soil Cons. 23: 337-344. (In Persian)

5.Antonelli, M., and Greco, F. 2015. The Water We Eat. Springer, 256p.

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

7.Chukalla, A.D., Krol, M.S., and Hoekstra, A.Y. 2015. Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. Hydrology and Earth System Science. 19: 4877-4891.
8.Deng, G., Ma, Y., and Li, X. 2016. Regional water footprint evaluation and trend analysis of China - based on interregional input–output model. J. Clean. Prod. 112: 4674-4682.
9.Gerbens-Leenes, W., and Hoekstra, A.Y. 2012. The water footprint of sweeteners and bio-ethanol. Environment International. 40: 202-211.
10.Haile, D., Nigussie, D., and Ayana, A. 2012. Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application. J. Soil Sci. Plant Nutr. 12: 389-409.
11.He, J., Dukes, M.D., Hochmuth, G.J., Jones, J.W., and Graham, W.D. 2012. Identifying irrigation and nitrogen best management practices for sweet corn production on sandy soils using CERES-Maize model. Agricultural Water Management. 109: 61-70.
12.Hess, T.M., Lennard, A.T., and Daccache, A. 2015. Comparing local and global water scarcity information in determining the water scarcity footprint of potato cultivation in Great Britain. J. Clean. Prod. 87: 666-674.
13.Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management. 21: 35-48.
14.Hoekstra, A.Y. 2013. The Water Footprint of Modern Consumer Society. Routledge, London, UK, 208p.
15.Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK, 203p.
16.Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 220p.
17.Lovarelli, D., Bacenetti, J., and Fiala, M. 2016. Water Footprint of crop productions: A review. Science of the Total Environment. 548: 236-251.
18.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. J. Clean. Prod. 116: 71-79.
19.Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y. 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. Hydrology and Earth System Science. 14: 1259-1276.
20.Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences. 15: 1577-1600.
21.Mohammad Khani, M.R., Zakeri, Z., and Maghsoudi, A. 2015. Water Footprint calculation for some selected products: Grey, Green and Blue Water Footprint in production and consumption, Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran, 237p. (In Persian)
22.Mohammadi, A., Yousefi, H., Noorollahi, Y., and Sadatinejad, SJ. 2017. Choosing the Best Province in Potato Production using Water Footprint Assessment. Ecohydrology. 4: 523-532. (In Persian)
23.Ministry of Agriculture. 2016a. Statistical Book, Vol. 1, Agricultural Crops, 163p. (In Persian)
24.Ministry of Agriculture. 2016b. Statistical Book, Vol. 2, water resources, soil and services, 384p. (In Persian)
25.Ministry of Agriculture. 2014. Statistical Book. Costs of crops production, 73p. (In Persian)
26.Molden, D. 2007. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. Earthscan, 664p.
27.Postel, S.L. 2000. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. Ecological applications. 10: 941-948.
28.Shejbalová, Š., Černý, J., Vašák, F., Kulhánek, M., and Balík, J. 2014. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. Plant, Soil and Environment. 60: 291-296.

29. Shiklomanov, I.A. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. Water International. 25: 11-32.
30. Yousefi, H., and Mohammadi, A. 2017. Prioritize the Use of Water resources, based on Physical and Economic Productivity of Water Usage (Case study: Apple crop). 4th International Conference on CEPM Environmental Planning and Management, Tehran. (In Persian)
31. Zhuo, L., and Hoekstra, A.Y. 2017. The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 4: 185-194.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Water footprint evaluation of Tehran's crops and garden crops

***H. Yousefi[1], A. Mohammadi[2], Y. Noorollahi[3] and S.J. Sadatinejad[3]**
[1]Assistant Prof., Dept. of New Energies and Environment, University of Tehran,
[2]M.Sc. Student of Ecohydrology, Dept. of New Energies and Environment, University of Tehran,
[3]Associate Prof., Dept of New Energies and Environment, University of Tehran
Received: 07/27/2017; Accepted: 12/30/2017

Abstract
Background and Objectives: In recent years, water consumption management mentioned as key topics in the field of water resources management. Tehran province with Tehran city centrality, is considered as main point in water usage. One of the main indicators for using comprehensive watershed management is the water footprint index. In Tehran province the same as other areas, agriculture is the most water consumer. So the aims of this study are water footprint calculation for Tehran's agricultural products and determine the most desirable county for produce crops and garden crops in water footprint prospective.
Materials and Methods: In order to calculate the water footprint of agricultural products, using the statistics provided by ministry of Agriculture, counties of the province with the highest production and crop area were identified. In the next step, information such as crops water requirement from the CropWat family software, crop yield and the parameters required in the calculations were calculated and aggregated through agricultural statistics. The water footprint was then calculated using the water footprint index method.
Results: The results showed that in the agricultural production sector, the amount of water contents is far more than garden products. The highest water footprint average was related to wheat (2539 m^3 ton^{-1}) and the lowest water footprint average was related to apple (477 m^3 ton^{-1}). Comparing the corresponding products among the common counties in the production, it became clear that from the water footprint perspective for crops especially wheat and barley, the southern and western counties of the province which means, Varamin and Islamshahr, have priority in compare to other areas. But for garden products, the Damavand has priority.
Conclusion: In the present study, water consumption for agricultural products analyzed and according to the results, a large volume of province water resources is used to produce these products. In all of the studied products, green water footprint was more than other water components, indicating the production reliance on rainfall and soil moisture and most of the irrigation water remove from the plant's reach through water evaporation or penetration. This is due to the fact that a large volume of water is needed to provide drinking water, especially in Tehran, which should protect existing water resources by prioritizing production. In general, it is better to expand only garden crops in Tehran province and provide other crops from outside the city.

Keywords: Water crisis, Planting management, Wheat water footprint, Tehran province

* Corresponding Author; Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir