تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱
Volume 18, No. 4, Winter 2023 (IR-WRR)
۱۱۸-۱۳۳

ارزیابی مصرف آب بخش کشاورزی و تأثیر افزایش ضریب خودکفایی محصولات زراعی بر بیلان منفی آب کشور

فاطمه میرزایی ندوشن[۱]، سعید مرید[۲*] و حسین دهقانی سانیج[۳]

چکیده

برآورد مصرف آب بخش کشاورزی براساس مبانی غیردقیق، موجب سیاست‌گذاری‌های غیرواقع‌بینانه، بارگزاری‌های بیشتر و تشدید بحران آب موجود کشور می‌شود. دراین راستا، استفاده از داده و اطلاعات وسیع‌تر- بخصوص بیلان منابع آب که کمتر مورد توجه بوده است- می‌تواند در تدقیق این برآورد مؤثر باشد. در این تحقیق، با توسعه چارچوبی که براساس گروه‌بندی محصولات کشاورزی و مفهوم «ردپای آب» است، این مهم دنبال شد. در چارچوب پیشنهادی، یک مدل بهینه‌سازی نیز درنظر گرفته شد که تبعات سیاست‌های بالادستی در خصوص افزایش ضریب خودکفایی محصولات کشاورزی را بر بیلان آب کشور در بهینه‌ترین شکل مدیریتی مورد بررسی قرار دهد. بر این اساس در دوره آماری مورد بررسی، مصرف بخش کشاورزی برای سال ۱۳۹۷ حدود ۶۴ میلیارد مترمکعب برآورد شد که همراه با تراز ۵/۵- میلیارد مترمکعب است. همچنین، اهداف برنامه ششم توسعه درخصوص افزایش تولید سه گروه محصول دانه‌های روغنی، گیاهان قندی و ذرت دانه‌ای که به ترتیب ۳/۲، ۱/۴ و ۳/۲ برابر تولید آن در سال ۱۳۹۷ بوده، در ۳ سناریوی مدیریتی ارزیابی شد. نتایج نشان داد، با گسترش سطح کشت فعلی برای حصول این اهداف، تراز آب کشور تا ۱۲/۵- میلیارد مترمکعب افزایش خواهد یافت. با این پیش فرض و ۳۰ درصد کاهش سبزیجات و میوه‌های جالیزی، تراز به ۱۰/۵- و در بهینه‌ترین الگوی تولید محصولات در استان‌ها به ۸/۵- میلیارد مترمکعب خواهد رسید. آنچه آمد، زیرساختی برای برآورد مصرف آب بخش کشاورزی، کاهش عدم قطعیت‌ها و تبیین تبعات افزایش ضریب خودکفایی بر بیلان منابع آب بود، با این حال همچنان ارتقاء آن لازم به پیگیری است.

کلمات کلیدی: ردپای آب، مصرف بخش کشاورزی، سیاست‌های خودکفایی محصولات زراعی، بیلان آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۷/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

۱- دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استاد و عضو هیئت علمی گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۲ امکانپذیر است.

Assessment of Agricultural Water Consumption and Impact of Increasing Crops Self-Sufficiency Rate on Iran's Negative Water Balance

F. Mirzaie-Nodoushan [1], S. Morid[2], and H. Dehghanisanij[3]*

Abstract

Estimation of agricultural water consumption with unrealistic bases causes more aggravation of the current Iran water crisis. Accordingly using broader information, especially water budget components which received less attention, can be effective in enhancing such estimates. To this aim, this study developed a framework based on grouping of agricultural crops and the concept of "water footprint". The framework also includes an optimization module to examine consequences of the policies such as increasing self-sufficiency rates of agricultural crops under best optimum management on water budget. Accordingly, the consumption of agricultural sector for 2017 was estimated to be 64 BCM, which was associated with a negative balance of 5.5 BCM. Furthermore, the targets of the 6th national development plan (2016-2021) regarding three crop groups including oil seeds, sugar crops and maize were examined (target values were respectively about 3.2, 1.4 and 3.2 times of their productions in 2017). The results showed that by expansion of the cultivation area to achieve these targets, country's negative water budget will increase to -12.5 BCM/yr. With the same assumption and a 30% reduction in vegetables and fruits, the negative budget would reduce to -10.5 and with the most optimum provincial crop patterns, it reaches -8.5 BCM/yr. What investigated here was an attempt for improving the estimation of agriculture water consumption, reducing related uncertainties and elucidating the alerting consequences of increasing self-sufficiency rates on the water balance. Nonetheless follow ups are needed to improve such methodologies.

Keywords: Water Footprint, Agricultural Sector Consumption, Crop Products Self-Sufficiency Policies, Water Balance.

Received: October 1, 2022
Accepted: January 7, 2023

1- Ph.D. in Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: fatemehnod@yahoo.com
2- Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: morid_sa@modares.ac.ir
3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. Email: h.deghanisanij@areeo.ac.ir
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.4.8.2

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

ارتقاء ضریب «خودکفایی محصولات راهبردی کشاورزی» و جبران «بیلان منفی آب» دو محور راهبردی در برنامه‌های بالادستی کشور و بخصوص برنامه‌های ۵ ساله توسعه هستند. بطور مشخص برنامه توسعه ششم (Six Five-Year Development Plan, 2016)، ذیل ماده ۳۱ اذعان می‌دارد که «دولت موظف است ..... در جهت تأمین امنیت غذایی و نیل به خودکفایی در محصولات اساسی زراعی، دامی و آبزی به میزان نود و پنج‌درصد (۹۵٪) درپایان اجرای قانون برنامه و افزایش تولیدات کشاورزی و ارتقای بهره‌وری آب و خاک کشاورزی اقدامات زیر را جهت حصول به شاخص‌های کمی به شرح مندرج ..... انجام دهد». همچنین، در ماده ۳۵ برای جبران یازده میلیارد مترمکعب از تراز منفی آب تا سال پایانی اجرای قانون برنامه، اقداماتی عنوان شده است. چنین اهدافی برای برخی برنامه‌های دیگر بالادستی و یا سیاست‌گذاری‌های دولت‌ها نیز قابل ملاحظه است.

در بررسی دو بند بالا می‌توان به شکلی عدم انسجام، تزاحم و تعارض آن‌ها را ملاحظه نمود که در برخی مراجع نیز به این نقیصه و حتی بطور کلی‌تر در برنامه‌های بالادستی کشور اشاره می‌دارند (Esmaeili Fard and Kaveh Firoz, 2017). اینکه چگونه این مواد قانونی با وجود چنین پارادوکسی، خروجی برنامه‌ها و دیگر سیاست‌های راهبردی کشور می‌شوند، نیاز به کنکاش گسترده‌ای دارد، اما از دلایل آن، می‌تواند عدم وجود سازوکارهایی برای ملاحظه همزمان منابع آبی و مصارف و نبود یک چارچوب برای بررسی تبعات و اثرات جانبی این‌گونه سیاست‌ها باشد (Islami and Rahimi, 2019). همچنین در ادبیات کشور، نوعی همسان‌پنداری از مفاهیم «برداشت» و «مصرف» وجود دارد که چنین تبعاتی را نیز به دنبال دارد. سوء تعبیری که در ادبیات جهانی نیز به آن اشاره شده است. نمونه‌ای از آنها در گزارشات یونسکو (Mekonnen and Hoekstra, 2010)، مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (Karimov et al., 2012; Karimi et al., 2013) و سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (Perry et al., 2017)، مورد اشاره قرار گرفته‌اند. در این مراجع مستقیم و غیر مستقیم به تفکیک این دو معنا و اشتباهاتی که از قِبل این سوء تعریف‌ها رخ می‌دهد، اشاره و تأکید شده است. در «برداشت»، بخشی از آب مجددا به حوضه در قالب نفوذ و رواناب باز می‌گردد که به معنای تخلیه آب از حوضه یا «مصرف» نیست. براین اساس نیز به دو مفهوم «آب غیرقابل بازگشت» (اشاره به مصرف) و «آب قابل بازگشت» (مستتر در برداشت) اشاره می‌دارند که لازم است در تعریف مصرف آب بخش کشاورزی مدنظر قرار گیرد (Chapagain et al., 2006). از دیگر پیامدهای منفی این یکسان‌نگری، بارگذاری‌های جدید بر منابع آب با این پیش فرض غلط صرفه‌جویی است که نهایتاً منجر به بارگذاری‌های جدید بر منابع آب می‌گردد و یا سرمایه‌گذاری سنگین برای اقداماتی است که چنین صرفه‌جویی را بدنبال ندارد. مانند آنچه Qureshi et al. (2010) برای حوضه ماری–دارلین استرالیا گزارش نمودند. به عنوان نمونه، خبرگزاری رسمی دولت (ایرنا) این‌گونه اذعان می‌دارد که "از ابتدای سال ۱۳۶۹ تاکنون، یک میلیون و ۷۴۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی به سامانه‌های نوین آبیاری تجهیز شده است، این اقدام صرفه‌جویی در مصرف ۷/۵ میلیارد مترمکعب آب را به همراه داشته است"[۱]. با همین ادبیات در پیش‌نویس سیاست‌های برنامه هفتم که هنوز به تصویب نرسیده است، مجدد به کاهش مصرف ۴۴۰۰ مترمکعب در هکتار از قِبل این سامانه‌ها در مصرف بخش کشاورزی اشاره می‌شود و متعاقباً طرح‌هایی در راستای توسعه بخش کشاورزی و یا اهداف جدیدی برای خودکفایی محصولات کشاورزی در دستور کار قرار داده می‌شود.

برای پاسخ به چالش فوق و از طرفی ابزارسازی به منظور نگاه واقع‌بینانه به مصرف بخش کشاورزی و سیاست‌گذاری برای توسعه آن، مفهوم «ردپای آب» (Hoekstra and Hung, 2002) می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در این مفهوم، مصرف مستقیم و غیرمستقیم در فرایند تولید، مدنظر قرار داده می‌شود (مانند آب مصرفی برای تولید شکر در کشت نیشکر و فرآیند تولید آن در کارخانه). همچنین، ردپای آب در قالب سه عبارت «تولید و مصرف»، «آب سبز، آبی و خاکستری» و «داخلی و خارجی[۲]» قابل تعریف می‌گردد (Hoekstra et al., 2011). براین اساس، برای برآورد مصرف آب بخش کشاورزی کشور، «ردپای آب تولید با استفاده از منابع آب داخلی» مبنا قرار داده می‌شود. این تعریف به کل آب استفاده شده از این منابع برای تولید محصولات و ارائه خدماتی اطلاق می‌گردد که ممکن است برای مصارف داخلی یا صادرات به‌کار رود (van Oel et al., 2009). درتکمیل این تعریف، ردپای آب شامل سه جزء «آب سبز، آبی و خاکستری » است (Hoekstra et al., 2011). آب باران پس از نفوذ در خاک و قبل از آن‌که به منطقه اشباع برسد، آب سبز را تشکیل می‌دهد، در حالی‌که آب‌های زیرزمینی (منطقه اشباع) و همچنین رواناب حاصل از بارندگی که به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، پشت سدها و تالاب‌ها می‌پیوندد، آب آبی را شامل می‌شوند (Falkenmark & Rockstorm, 2004). لازم به تأکید است که «آب برگشتی» در محاسبه ردپای آب لحاظ نمی‌شود و همانگونه که قبلا آمد، ویژگی آن در برآورد «مصرف واقعی آب» می‌باشد. آب خاکستری مربوط به کیفیت آب بوده و برابر با حجم آب مورد نیاز برای رقیق کردن آب آلوده و رساندن کیفیت آن به

استانداردهای کیفی جهت تخلیه به سیستم طبیعی آب می‌باشد (Hoekstra et al., 2011). با بهره‌گیری از این رویکرد، در یک مطالعه جهانی Hoekstra and Chapagain (2007) ردپای آب کلیه کشورهای جهان را برآورد کردند. تحقیقات در مقیاس دقیق‌تر برای برخی کشورها مانند هند (Verma et al., 2009)، مراکش (Schyns and Hoekstra, 2014) و چین (Zhuo et al., 2016) انجام شده است. Karandish and Hoekstra (2017) نیز میانگین ردپای آب سبز و آبی ۲۶ محصول متداول در استان‌های ایران را برای بازه زمانی ۱۹۸۰ الی ۲۰۱۰ محاسبه نمودند. در این تحقیق، تفاوت اقلیمی استان‌ها در پنج دسته متفاوت اعمال و در محاسبات دخالت داده شد.

با توجه به مباحث فوق، مقاله حاضر تلاش دارد با بهره‌گیری از «مفهوم ردپای آب» به بررسی میزان مصرف آب بخش کشاورزی، ارزیابی برخی از سیاست‌های بالادستی کشور در حوزه امنیت غذایی و ارتقاء ضریب خودکفایی و تبعات آن بر مصرف بخش کشاورزی و بیلان آب بپردازد. از ویژگی‌های روش‌شناسی آن استفاده همزمان از اطلاعات ردپای آب آبی، میزان تولید و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و به همین ترتیب اطلاعات بیلان منابع و مصارف بخش آب کشور است. به عبارتی اطلاعات وزارت نیرو و جهادکشاورزی مشترکاً مورد استفاده قرار می‌گیرد که کمتر مسبوق به سابقه بوده است. ازاین‌رو بستر مناسبی خواهد بود تا تبعات اهدافی مانند خودکفایی ۹۵٪ محصولات راهبردی بخش کشاورزی و حصول به جبران تراز منفی بیلان آب کشور و اثرات مقابل آنها بر هم که همواره در دستور برنامه‌های توسعه بوده‌اند، بررسی شوند. از طرفی نیز می‌تواند نتایج آن برای برنامه توسعه هفتم مورد توجه قرار داده شود.

۲- مواد و روش‌ها

مهمترین بخش از روش‌شناسی این تحقیق، توسعه بستر محاسباتی برای ارتباط مصرف آب بخش کشاورزی با بیلان منابع و مصارف است، سپس این بستر برای بررسی سیاست‌گذاری‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور چارچوب شکل ۱ به عنوان مدل مفهومی تحقیق تعریف شده است. براین اساس، با استفاده از داده‌های تولید محصولات کشاورزی و ردپای آب محصولات، ردپای آب آبی تولیدات این بخش در مقیاس استانی برآورد شده و سپس توسط اطلاعات تکمیلی واسنجی و اعتبارسنجی صورت می‌گیرد. در گام بعدی، برگرفته از سیاست‌های کلان کشور در خودکفایی محصولات راهبردی کشاورزی، سه سناریو برای افزایش تولید آنها و آثار مربوط بر بیلان آب کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

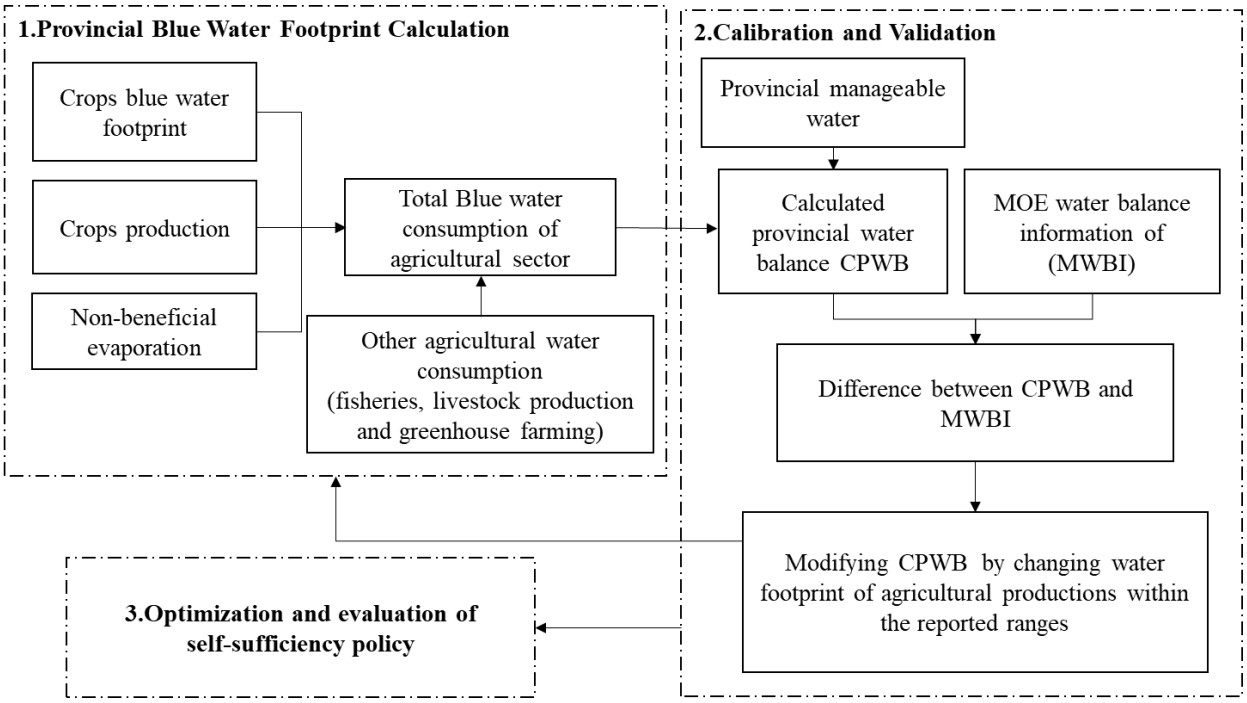

Fig. 1- Conceptual model of research for estimating water consumption of agricultural sector and its consequences on country's water balance

شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق در برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی و تبعات آن بر بیلان آب کشور

مسیر ارائه شده در شکل ۱ بدین‌گونه است که پس از گروه‌بندی محصولات زراعی و باغی، ابتدا میزان تولید این گروه‌ها همراه با برآورد ردپای آب آبی تولید و تلفات آنها، کل مصرف بخش کشاورزی را مشخص می‌کند. در بخش دوم، واسنجی و اعتبارسنجی لازم براساس اطلاعات بیلان آب وزارت نیرو، آب قابل برنامه‌ریزی و مقادیر مربوط در مقیاس استانی به انجام می‌رسد. نهایتاً نیز در بخش سوم سیاست‌های خودکفایی محصولات راهبردی کشاورزی و تبعات آن بر مصرف و بیلان آب با بهره‌گیری از یک مدل بهینه‌سازی، بطوریکه حداقل کمبود ردپای را به همراه داشته باشد، تحلیل و بررسی می‌گردند. شرح جزییات این مراحل در ادامه ارائه خواهد شد.

۲-۱- گروه بندی محصولات کشاورزی

جهت ارزیابی ردپای آب محصولات کشاورزی در کشور، تولیدات محصولات اولیه زراعی و باغی، در ۱۲ گروه شامل: گندم، شلتوک، گیاهان روغنی، میوه باغی، میوه جالیزی، سبزیجات، حبوبات، گیاهان قندی (چغندرقند و نیشکر)، جو، ذرت دانه‌ای، نباتات علوفه‌ای و یونجه دسته‌بندی شدند. گروه‌بندی محصولات به صورتی است که بتواند نمایندگی محصولات اصلی کشاورزی را که بطور مستقیم و غیرمستقیم در تأمین غذای جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرند را شامل شود. این رویکرد در تحقیق (Karandish and Hoekstra, 2017) نیز مورد توجه بوده است. محصولات دامپروری (شامل انواع گوشت، لبنیات و تخم‌مرغ) نیز بطور غیرمستقیم از طریق مصرف علوفه دام وارد محاسبات شدند. فهرست این گروه‌بندی در جدول ۱ قابل مشاهده هستند.

۲-۲- ردپای آب محصولات زراعی و باغی

مقدار ردپای آب آبی محصولات مورد نظر در این مقاله از سه مرجع برای دسته‌بندی مورد اشاره تهیه شده است. توضیح بیشتر اینکه محصولات مدنظر همگی در یک مرجع موجود نبودند. از طرفی نیز درصورت وجود همپوشانی، الزاماً ارقام مربوط در مراجع مورد استفاده برابر نبودند:

مرجع اول (Karandish and Hoekstra, 2017): دسته محصولات: غلات؛ ریشه‌ها و غده‌ها؛ چغندرقند و نیشکر؛ حبوبات؛ گیاهان روغنی؛ سبزیجات و میوه‌ها

در این مطالعه، ردپای آب ۲۶ محصول کشاورزی متداول در ایران در دو سال ۱۹۸۰ و ۲۰۱۰، برای استان‌های کشور محاسبه شده است. آنها ردپای آب این محصولات را در ۸ گروه و برای پنج اقلیم کشور شامل: بسیار خشک (مانند کرمان)، خشک (مانند اصفهان)، نیمه خشک (مانند آذربایجان غربی)، خشک و مرطوب (مانند گلستان)، مرطوب (مانند گیلان) و میانگین کشوری برآورد کردند. گروه‌های غذایی شامل غلات، ریشه‌ها و غده‌ها، چغندرقند و نیشکر، حبوبات، گیاهان روغنی، سبزیجات و میوه‌ها (تروخشک) می‌شوند. در محاسبات مطالعه حاضر، ردپای آب مربوط به سال ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار گرفت.

مرجع دوم (Mekonnen and Hoekstra, 2011): دسته محصولات: شلتوک و میوه‌های جالیزی

ردپای آب شلتوک و میوه‌های جالیزی از گزارش شماره ۴۷ یونسکو (Mekonnen and Hoekstra, 2011) استخراج شده است. در این مطالعه میانگین ردپای آب سبز و آبی ۱۲۶ محصول گیاهی و فرآورده‌های آن‌ها، برای بازه زمانی ۱۹۹۶ الی ۲۰۰۵ در مقیاس استانی و میانگین کشوری موجود است.

مرجع سوم (Omidi et al., 2018): محصولات جو، یونجه، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای

در مرجع سوم ردپای آب ۱۹ محصول اساسی برای بازه زمانی ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۳، در مقیاس استانی و میانگین کشوری برآورد شده است. ردپای آب محصولات جو، یونجه، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای که عمدتاً صرف خوراک دام و طیور می‌شوند از این تحقیق استخراج گردیده است.

براساس مراجع فوق و با بررسی‌های لازم، نهایتاً ردپای آب آبی محصولات استخراج گردید، بطوریکه در جدول ۱ بازه تغییرات آن در استان‌های کشور ارائه شده است.

۲-۳- داده و اطلاعات تولید کشاورزی و منابع آب

بنا به رویکرد تحقیق که جهت تعیین مصرف آب بخش کشاورزی به اطلاعات منابع آب نیز تأکید دارد، حجم قابل توجهی از داده و اطلاعات از هر دو آنها مورد نیاز بود. مانند قبل، این اطلاعات از مراجع مختلفی تأمین شدند. همچنین اطلاعات دریافتی الزاماً برای یک مقطع خاص زمانی قابل دسترس نبودند. البته، نوع این اطلاعات بگونه‌ای نیست که سال به سال تفاوت قابل توجهی داشته باشند.

Table 1- Range of agricultural crops' blue water footprint in country's provinces (m^3/ton)
جدول ۱- بازه تغییرات ردپای آب آبی محصولات کشاورزی استان‌ها در کشور (M^3/ton)

Group number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Crops Group	Wheat	Paddy rice	Oil crops	Garden fruits	Cucurbit fruits	Vegetables	Pulses	Sugar crops	barley	Maize	Fodder crops	Alfalfa
Blue Water Footprint (m^3/ton)	483-2221.9	486-2985	315-4986.1	156.5-1494.8	3-140	106.9-401.8	3212-6031.2	116.1-1756	540.7-2796	461.8-3636.6	11.1-507.7	696.5-2208

مبنای داده‌های تولید محصولات کشاورزی مربوط به سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشد که به استناد سالنامه زراعی و باغی وزارت جهادکشاورزی تهیه شده است (Ministry of Agriculture – Jahad, 2019a; 2019c). طی این سال، سطح کشت محصولات زراعی آبی حدود ۵/۹ و باغات ۲/۴۶ میلیون هکتار بوده که به ترتیب ۸۱/۲ و ۱۹/۲ میلیون تن تولید را به همراه داشته‌اند.

۲-۳-۲- مقادیر منابع آب قابل برنامه‌ریزی در هر استان

متناسب با روش‌شناسی این تحقیق و تأکید بر لزوم دخالت اطلاعات منابع آب در بررسی مصارف؛ اطلاعات «آب سطحی و زیرزمینی قابل برنامه‌ریزی برای مصارف کشاورزی» در سطح حوضه و استان‌ها که توسط دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا وزارت نیرو تهیه شده (Water and Waste Water Macro Planning Office, 2016) نیز مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). محاسبات انجام شده برای آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی بر اساس آمار به‌روز شده تا سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ می‌باشد که در آن براساس سهم‌های تعیین شده استان‌ها از منابع آب حوضه‌های آبریز مختلف و مطابق با برداشت‌های مستقیمی که در حال حاضر توسط بهره‌برداران صورت می‌گیرد، حجم مربوط به بخش‌های مختلف مصرف شامل: شرب، صنعت و کشاورزی برآورد شده‌اند. نتایج مربوط به سهم بخش کشاورزی از آب سطحی و زیرزمینی و مجموع آن‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده هستند. در ستون آخر جدول ۲ مقادیر کسری بیلان منابع آب استانی اعلام شده توسط وزارت نیرو (Water Resources Basic Studies Office, 2014) آورده شده است که بر اساس نتایج بیلان منابع آب منتهی به سال ۹۰-۱۳۸۹ است.

۲-۴- محاسبه ردپای آب تولید محصولات کشاورزی در استان‌ها و واسنجی آن

ردپای آب آبی هر گروه محصول کشاورزی در هر استان ($WF_{blue}[j,c]$)، براساس داده‌های تولید محصولات زراعی و باغی استان و مطابق با رابطه (۱) برآورد می‌گردد که در آن: $BWF[j,c]$ ردپای آب محصول گروه j در استان c (m^3/ton)، $IrrProd[j,c]$ میزان تولید در کشت‌های آبی (ton) و $Loss[c]$ تلفات آبیاری (درصد) (۱۵ تا ۲۰ درصد براساس تحقیق Mohammadi et al. (2019)) در هر استان است:

$$WF_{blue}[c] = \sum_j BWF[j,c] \times (1 + Loss[c]) \times IrrProd[j,c] \quad (۱)$$

در این رابطه c محصول و j استان می‌باشد.

در ادامه جهت کنترل و واسنجی مقادیر ردپای آب استانی، اینگونه عمل شد که اختلاف مقادیر ردپای آب هر استان ($WF_{blue}[c]$) و آب برنامه‌ریزی شده ($WA_{blue}[c]$) مربوط در ستون سوم جدول (۲) محاسبه شده (رابطه ۲) و این مقدار برابر با کسری بیلان استان‌ها فرض شده است ($Balance(c)$). سپس، این مقدار با اطلاعات کسری بیلان آب استانی اعلام شده توسط وزارت نیرو (جدول ۲ ستون چهارم) مقایسه می‌گردد و در صورت اختلاف معنادار، ردپای آب محصولات استان با مراجع دیگر کنترل شده و در صورت نیاز اصلاح می‌گردد:

$$Balance[c] = WA_{blue}[c] - WF_{blue}[c] \quad (۲)$$

لازم به تذکر است که منظور از تغییرات بیلان، تغییر در ذخیره منابع آب زیرزمینی است.

۲-۵- مدل‌سازی پتانسیل کاهش ردپای آب براساس تغییر الگوی تولید

با توجه به ضرورت بهینه‌سازی سناریوی‌های خودکفایی محصولات کشاورزی که در ادامه می‌آیند، برای این بخش یک مدل بهینه‌سازی توسعه داده شد که در آن افزایش تولید از طریق توسعه سطح کشت آبی با حداقل ردپای آب دنبال می‌شود. همچنین، تمام محصولات زراعی و باغی تولیدی جهت مصرف غذا در ۱۲ گروه مطابق با بخش ۲-۱ دسته‌بندی و سطح کشت آبی هر محصول (j) در استان (c) متغیر تصمیم $A[j,c]$ می‌باشند.

Table 2- Agricultural manageable volume of surface and groundwater (MCM*) in each province
جدول ۲- حجم آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی سطحی و زیرزمینی (میلیون مترمکعب)، در هر استان

Number	Province	Volume of Surface water [1]	Volume of groundwater [1]	Total surface and groundwater [1]	Changes in the volume (deficit) of reservoir [2] storage
1	East Azerbaijan	1015.4	549.0	1564.4	-155.5
2	West Azerbaijan	1966.7	1477.1	3443.8	-34.8
3	Ardabil	1047.3	190.9	1238.2	-34.8
4	Isfahan	1287.1	2253.8	3540.9	-602.6
5	Alborz	126.5	173.6	300.1	-57.3
6	Ilam	787.4	223.6	1011.0	-18.2
7	Bushehr	488.4	305.4	793.8	-40.1
8	Tehran	881.5	675.2	1556.7	152.1
9	Chaharmahal and Bakhtiari	634.3	248.0	882.3	-19.0
10	South Khorasan	126.3	393.0	519.3	-159.7
11	Razavi Khorasan	920.0	2162.6	3082.6	-1127.6
12	North Khorasan	481.6	267.4	749.0	-76.6
13	Khuzestan	8215.1	834.1	9049.2	-24.1
14	Zanjan	113.0	628.5	741.5	-94.8
15	Semnan	186.3	310.6	496.9	-190.9
16	Sistan and Baluchestan	741.8	875.1	1616.9	-183.5
17	Fars	1340.7	4618.1	5958.8	-640.9
18	Qazvin	416.7	937.2	1353.9	-300.5
19	Qom	111.7	208.5	320.2	-72.4
20	Kurdistan	586.3	271.1	857.4	-19.9
21	Kerman	641.3	3906.4	4547.7	-1120.7
22	Kermanshah	969.1	564.2	1533.3	-56.8
23	Kohgiluyeh and Buyer Ahmad	559.0	97.2	656.2	-10.4
34	Golestan	449.2	805.0	1254.2	-14.1
25	Gilan	1583.4	224.4	1807.8	-0.8
26	Lorestran	458.3	715.1	1173.4	-26.0
27	Mazandaran	3417.3	861.6	4278.9	-4.5
28	Markazi	472.0	1233.9	1705.9	-166.5
29	Hormozgan	171.1	1004.5	1175.6	-94.6
30	Hamadan	95.5	1124.2	1219.7	-266.2
31	Yazd	40.5	377.3	417.8	-205.5
	Total	30330.8	28516.6	58847.4	-5666.9

*Milion Cubic Meters

1. Ministry of Energy; Water and waste water macro planning office, 2016
2. Water Resources Management Company; Water resources basic studies office, 2014

تابع هدف: تابع هدف حداقل‌سازی حجم ردپای آب آبی تولید کشوری است که مقدار آن برای هر محصول برابر با حاصلضرب مقدار تولید شده و ردپای آب واحد تولیدی آن است. مقدار تولیدی از هر محصول نیز برابر با حاصلضرب سطح زیرکشت در عملکرد محصول می‌باشد. براین اساس، رابطه کلی تابع هدف برای حداقل‌سازی ردپای آب تولید کشاورزی کشور در سطح استانی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min WU = \sum_{c=1}^{k} \sum_{j=1}^{m} BWF[j,c] \times A[j,c] \times Y[j,c] \quad (۳)$$

در این رابطه $BWF[j,c]$ ردپای آب آبی، $A[j,c]$ سطح کشت و $Y[j,c]$ عملکرد محصول زام در استان c و WU مجموع ردپای آب آبی تولید کشور می‌باشد.

محدودیت‌ها: محدودیت‌های مدل مطابق زیر قابل تعریف هستند:

۱- حد پایین و بالای «سطح کشت» برای بهینه‌سازی ($A^*(c,j)$) به ترتیب ۰/۵ و ۴ برابر سطح کشت فعلی قرار داده شده است (رابطه ۴ و ۵). با توجه به این‌که زمین‌های باغی سرمایه به حساب آمده که طی

چند سال به بار می‌نشینند و از طرفی بخش قابل توجهی از ردپای آب کشاورزی را به خود اختصاص داده‌اند (۳۰ درصد از ردپای آب آبی کشاورزی)، حداقل سطح کشت محصولات باغی ($A^*(c,4)$) برابر با ۸۵ درصد از شرایط کنونی و حداکثر آن سطح فعلی قرار داده شده است (رابطه ۶).

$$A^*(c,j) \geq 0.5 \times A(c,j) \quad (۴)$$

$$A^*(c,j) \leq 4 \times A(c,j) \quad (۵)$$

$$0.85 \times A(c,4) \leq A^*(c,4) \leq A(c,4) \quad (۶)$$

علاوه بر قیود سطح کشت برای هر محصول، افزایش «مجموع سطح کشت در هر استان» به حداکثر ۱۰ درصد بیشتر از مجموع سطح کشت فعلی محدود گردیده است (رابطه ۷):

$$\sum_j A^*(c,j) \leq \sum_j A(c,j) \times 1.1 \quad (۷)$$

برای «محدودیت‌های تولید» نیز به غیر از سه گروه محصول هدف، میزان تولید محصولات دیگر برابر با شرایط فعلی یعنی تولید در سال ۱۳۹۷ قرار داده شد. در روابط ۴ تا ۷، ضرایب به کار رفته با اجرای چندباره مدل به گونه‌ای تعیین شدند که از طرفی محدودیت مشخصی برای میزان کاهش یا افزایش سطح کشت قرار داده شود و از طرفی مدل دارای پاسخ در فضای قابل قبول بوده و نتایج حاصل منطقی باشند. بطور مثال در رابطه ۷ چنانچه مجموع سطح کشت محصولات هر استان ثابت فرض گردد، به علت افزایش قابل توجه تولید سه گروه محصول مورد مطالعه، مدل نتیجه قابل قبولی نخواهد داشت. اما اجرای مدل نشان داد با افزایش حداقل ده درصد از سطح کشت استانی می‌توان نتایج مناسبی در سطح استانی و کشوری دریافت کرد.

۲-۶- ارزیابی اثر سیاست‌های افزایش خودکفایی محصولات کشاورزی بر مصرف آب

ضریب خودکفایی، میزان تولیدات محصولات کشاورزی را در داخل کشور و با استفاده از منابع آب داخلی نسبت به نیاز کل این محصولات در کشور تعریف می‌کند. با فرض ثابت بودن واردات، جهت ارزیابی میزان مصرف آب در صورت افزایش تولید و به تبع آن ضریب خودکفایی محصولات کشاورزی، اهداف تعیین شده در قانون «برنامه پنجساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران» مدنظر قرار گرفت. در ماده ۳۱ این برنامه، به صورت کمّی افزایش تولید ۱۴ محصول در بخش زراعت در دستور کار قرار گرفته شده است.

بر اساس اطلاعات این ماده، در شکل ۲ نسبت تولید هدف‌گذاری شده در سال ۱۴۰۰ به تولید در سال پایه ۱۳۹۳ این محصولات آمده است. جهت مقایسه، نسبت مقادیر تولید شده محصولات در سال ۱۴۰۰ (Ministry of Agriculture –Jahad, 2022)، به سال پایه ۱۳۹۳ نیز رسم گردیده است (مقدار ۱ در محور عمودی نشان‌دهنده عدم تغییر تولید نسبت به سال ۱۳۹۳ است). مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش تولید هدف‌گذاری شده، مربوط به محصولات ذرت دانه‌ای، چغندرقند، کلزا، سویا و سایر دانه‌های روغنی هستند (خط ممتد در نمودار). در عمل میزان تولید هفت محصول شامل ذرت دانه‌ای و سویا در سال ۱۴۰۰ کم‌تر از سال ۹۳ شده و افزایش تولید چغندرقند، کلزا و سایر دانه‌های روغنی با هدف، فاصله قابل توجهی دارند (خط‌چین در نمودار). به طور مثال میزان تولید ذرت دانه‌ای ۱/۸ برابر تولید در سال ۱۳۹۳ هدف گذاری شده بود، اما تولید صورت گرفته در این سال با کاهش ۶۰ درصدی به ۰/۴ تولید سال ۱۳۹۳ رسیده است.

با مقایسه این اهداف در سال ۱۴۰۰ با مقادیر تولید شده در سال ۱۳۹۷ که در این تحقیق مورد مطالعه است، مشاهده می‌شود که برای رسیدن به اهداف برنامه ششم توسعه، تولید دانه‌های روغنی (مجموع کلزا، سویا و سایر دانه‌های روغنی) باید ۳/۲ برابر، چغندرقند و نیشکر ۱/۴ برابر و ذرت دانه‌ای ۳/۲ برابر گردد. لذا، به دلیل فاصله تولید واقعی نسبت به تولید هدف‌گذاری شده در این سه گروه محصول، بررسی‌های بعدی تنها براین محصولات متمرکز می‌شود. جهت بررسی تغییر مصرف آب کشاورزی استان‌ها با افزایش تولید این سه گروه، سه سناریو تعریف گردید:

– سناریوهای خودکفایی محصولات هدف (چغندرقند، نیشکر و ذرت دانه‌ای):

سناریو اول (S1) افزایش تولید بدون محدودیت: در این سناریو با فرض موجود بودن زمین و آب کافی، سطح کشت شده سه گروه محصول مورد نظر در هر استان با نسبتی مشابه افزایش داده شد. به طور مثال برای افزایش تولید ذرت دانه‌ای تا ۳/۲ برابر، سطح کشت این محصول در همه استان‌ها ۳/۲ برابر فرض گردید.

سناریو دوم (S2) جایگزینی: در این سناریو نیز رویکرد سناریو اول اعمال شد، با این تفاوت که ۳۰ درصد از سطح کشت سبزیجات و میوه‌های جالیزی با محصولات هدف جایگزین گردید و

سناریو سوم (S3) بهینه‌سازی الگوی تولید: در این سناریو با بهینه کردن الگوی تولید محصولات در هر استان، افزایش تولید با حداقل‌سازی ردپای آب کل کشور دنبال گردید. بدین منظور مدل بهینه‌سازی مطابق با تابع هدف و محدودیت‌های سطح کشت در بخش (۵-۲)، در LINGO 19.0 توسعه داده شد.

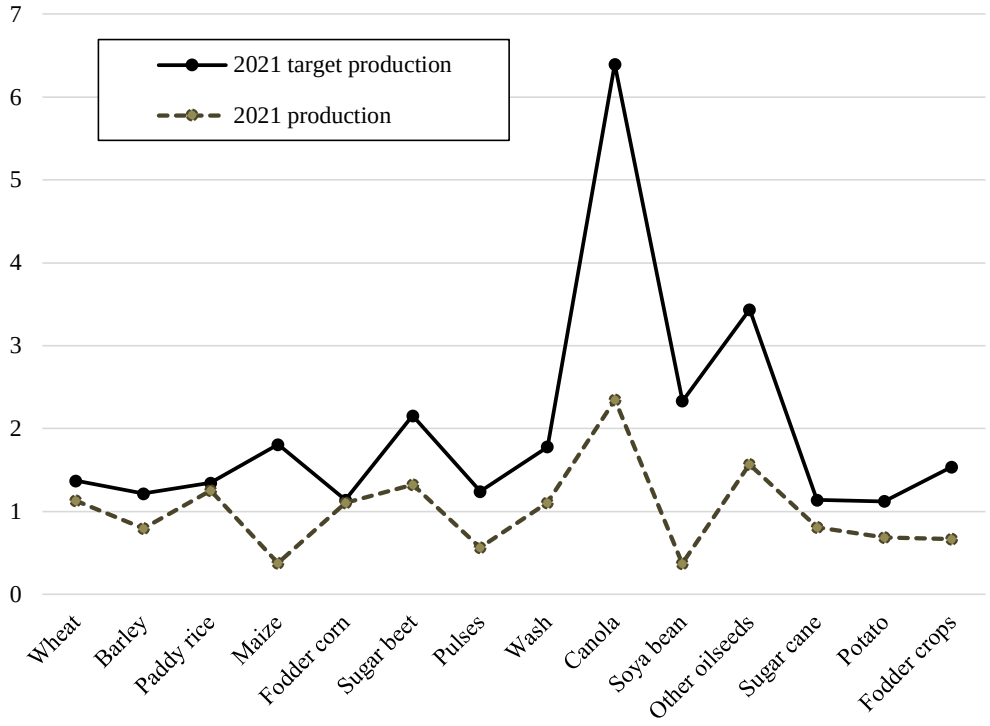

Fig. 2- The ratio of targeted and actual production in 2021 to the production in 2014 (Vertical axis: ratio of production)

شکل ۲- نسبت مقدار تولید هدف‌گذاری شده و تولید واقعی سال ۱۴۰۰ به تولید در سال ۱۳۹۳ (محور عمودی: نسبت تولید)

افزایش تولید محصولات در هر سه سناریو به صورت قیود مدل‌سازی و مطابق با جدول ۳ درنظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، برای رسیدن تولید سال ۱۳۹۷ به مقادیر هدف‌گذاری شده برنامه توسعه ششم، تولید دانه‌های روغنی ۳/۲ برابر، چغندرقند و نیشکر ۱/۴ برابر و ذرت دانه‌ای ۳/۲ برابر تولید سال ۱۳۹۷ و تولید مابقی محصولات ثابت می‌باشد.

۳- نتایج

متناسب با چارچوب تحقیق که در شکل ۱ نشان داده شد، این بخش به نتایج این مطالعه و نهایتاً برآورد مصرف آب بخش کشاورزی و تبعات سیاست‌های بالادستی کشور بر مؤلفه‌های بیلان می‌پردازد. بدین ترتیب، ابتدا ردپای آب آبی تولید محصولات کشاورزی در مقیاس استانی براساس اطلاعات منابع آبی وزارت نیرو همراه با واسنجی لازم انجام و در ادامه ارزیابی‌های سیاست‌های افزایش تولید داخلی از منظر بیلان آبی صورت می‌گیرد.

۳-۱- برآورد ردپای آب محصولات کشاورزی

۳-۱-۱- واسنجی ردپای آب محصولات کشاورزی با توجه به مؤلفه‌های بیلان

جهت کنترل و واسنجی مقادیر ردپای آب استانی، همانطور که بخش ۲-۵ عنوان شد، کسری بیلان آب بر اساس رابطه (۲) محاسبه شده و با اطلاعات بیلان وزارت نیرو مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج اولیه مقایسه در شکل ۳ قابل ملاحظه است.

شکل گویای برخی اختلافات در سطح استان‌ها می‌باشد که در ادامه تلاش گردید این اختلافات حتی‌الامکان مطابق زیر بطور منطقی حذف شوند:

Table 3- Products production increase in scenarios compare to year 2017 production

جدول ۳- افزایش تولید محصولات در سناریوها* نسبت به تولید در سال ۱۳۹۷

Crops Group	Wheat	Paddy rice	Oil crops	Garden fruits	Cucurbit fruits	Vegetables	Pulses	Sugar crops	barley	Maize	Fodder crops	Alfalfa
Production increase ratio	1	1	3.2	1	1	1	1	1.4	1	3.2	1	1

* ضرایب در کلیه سناریوها در راستای برنامه توسعه ششم ثابت می‌باشند.

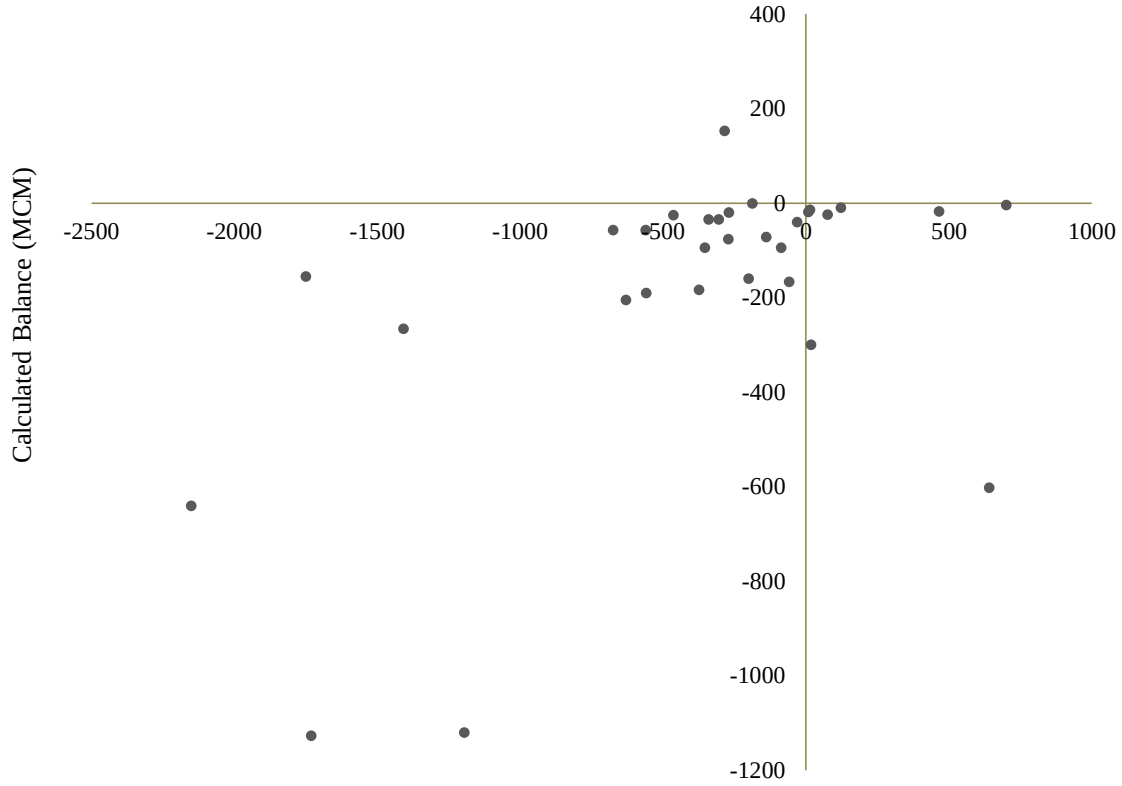

Fig. 3- Comparison of Ministry of Energy water balance level with current research (MCM) before calibration in each province

شکل ۳- مقایسه تراز بیلان آب وزارت نیرو و تحقیق حاضر (MCM) قبل از واسنجی در هر استان

۱- با بررسی اختلافات استانی، بخشی از آنها مربوط به مصرف در بخش غیر زراعی کشاورزی و عمدتاً مزارع پرورش ماهی بوده است. به عنوان نمونه، تفاوت اولیه در استان خوزستان ۱/۷۵ میلیارد مترمکعب بود که با لحاظ مصرف آبزیان، این اختلاف به ۰/۰۲ میلیارد مترمکعب رسید. این مشکل برای استان گیلان نیز به همین منوال حل شد. محاسبه مصرف آبزیان بـر اساس مساحت مزارع پرورش ماهی در هر استان و نرخ تبخیر از سطح آب مزارع صورت گرفت (Ministry of Agriculture –Jahad, 2019b).

۲- درمواردی اختلاف بین ارقام ردپای آب محصولات بین مراجع مورد استفاده بود. به عنوان نمونه براساس تحقیق Karandish and Hoekstra (2017)، ردپای آب گروه میوه‌های باغی در استان‌های دارای اقلیم خشک که مثلا آذربایجان شرقی را نیز شامل می‌شود، ۱۲۶۸/۵ مترمکعب بر تن برآورد شده است. اما، با تقسیم نیاز آبیاری

محصولات باغی سیب، انگور و میوه‌های هسته‌دار برگرفته از اطلاعات سند ملی (آب National Water Document, 2000) که بیشترین تولید را در آذربایجان شرقی به خود اختصاص داده‌اند بر عملکرد این محصولات در این استان (همگی در هکتار)، میانگین مقدار مربوط ۴۵۵/۸ مترمکعب بر تن حاصل می‌شود. لذا ردپای آب گروه میوه باغی هر استان بر اساس نوع میوه‌های تحت کشت و عملکرد آن‌ها در هر استان و اطلاعات سند ملی آب، اصلاح شد. به عنوان نمونه ردپای آب گروه میوه باغی برای استان تهران از ۱۲۶۸/۵ به ۴۱۹/۹ مترمکعب بر تن تغییر داده شد.

با اعمال تغییرات فوق، مجددا تراز بیلان استانی وزارت نیرو با نتایج تحقیق مقایسه شد که در شکل ۴ قابل ملاحظه است. همانطور که در شکل با علامت (×) مشخص شده است، بجز اصفهان، ایلام و البرز، برای سایر استان‌ها نتایج به نحو مطلوبی ارتقاء یافته است. تعدیل ارقام مربوط به این سه استان نیز نمی‌توانست در محدوده منطقی باشد.

پس از واسنجی و اعتبارسنجی، بر اساس روابط (۱) و (۲) ردپای آب کل و کسری مخزن به ترتیب ۶۴/۲ و ۵/۵ میلیارد مترمکعب محاسبه شد. در ادامه نتایج این بخش با جزییات بیشتری ارائه می‌شوند.

۳-۱-۲- ردپای آب در مقیاس استانی

با محاسبه ردپای آب آبی هر گروه محصول در هر استان و سپس مجموع ردپای آب محصولات استان، نتایج تحقیق برای ردپای آب آبی استان‌ها مطابق شکل ۵ ارائه می‌شود. در این شکل، محور عمودی سمت راست مربوط به مقدار کل ردپای آب آبی تولید کشاورزی استان و سمت چپ آن مربوط به سهم هریک از ۱۲ گروه محصولات کشاورزی مورد مطالعه و همچنین سایر مصارف در این خصوص است. متذکر می‌شود که «سایر مصارف»، مجموع ردپای آب کشت‌های گلخانه‌ای، مصرف آب برای مصارف شرب و نگهداری در دامپروری و همچنین تبخیر از سطح در مزارع پرورش ماهیان گرم‌آبی و میگو است.

میانگین ردپای آب شرب و نگهداری به ازای تولید هر کیلوگرم از محصولات دامپروری (شامل گوشت قرمز، گوشت طیور، شیر و تخم‌مرغ) توسط اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی (ICCIMA, 2017) برآورد شده است که از حاصل‌ضرب آن با میزان تولید سالانه این محصولات در هر استان (Ministry of Agriculture –Jahad, 2019b)، مصرف شرب و نگهداری بخش دامپروری هر استان محاسبه گردیده است. مقدار تبخیر از سطح مزارع پرورش ماهی و میگو نیز بر اساس مساحت این مزارع در هر استان (Ministry of Agriculture –Jahad, 2019b) و نرخ تبخیر از سطح آب با توجه به اقلیم منطقه محاسبه شده است.

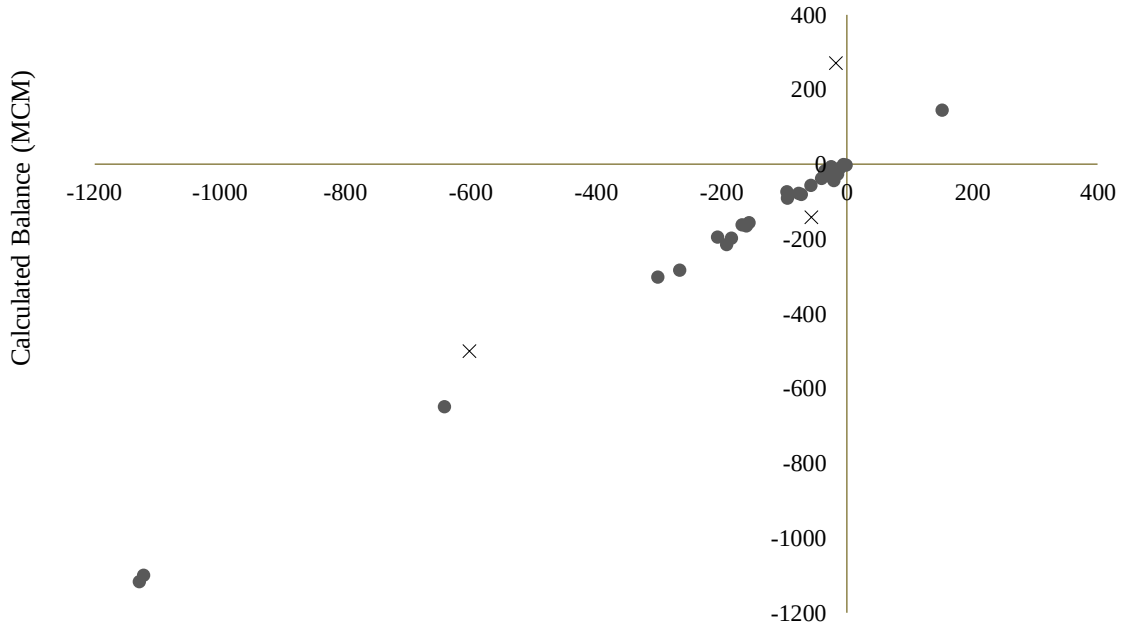

Fig. 4- Comparison of Ministry of Energy water balance level with current research (MCM) after calibration in each province

شکل ۴- مقایسه تراز بیلان آب وزارت نیرو و تحقیق حاضر (MCM) بعد از واسنجی در هر استان

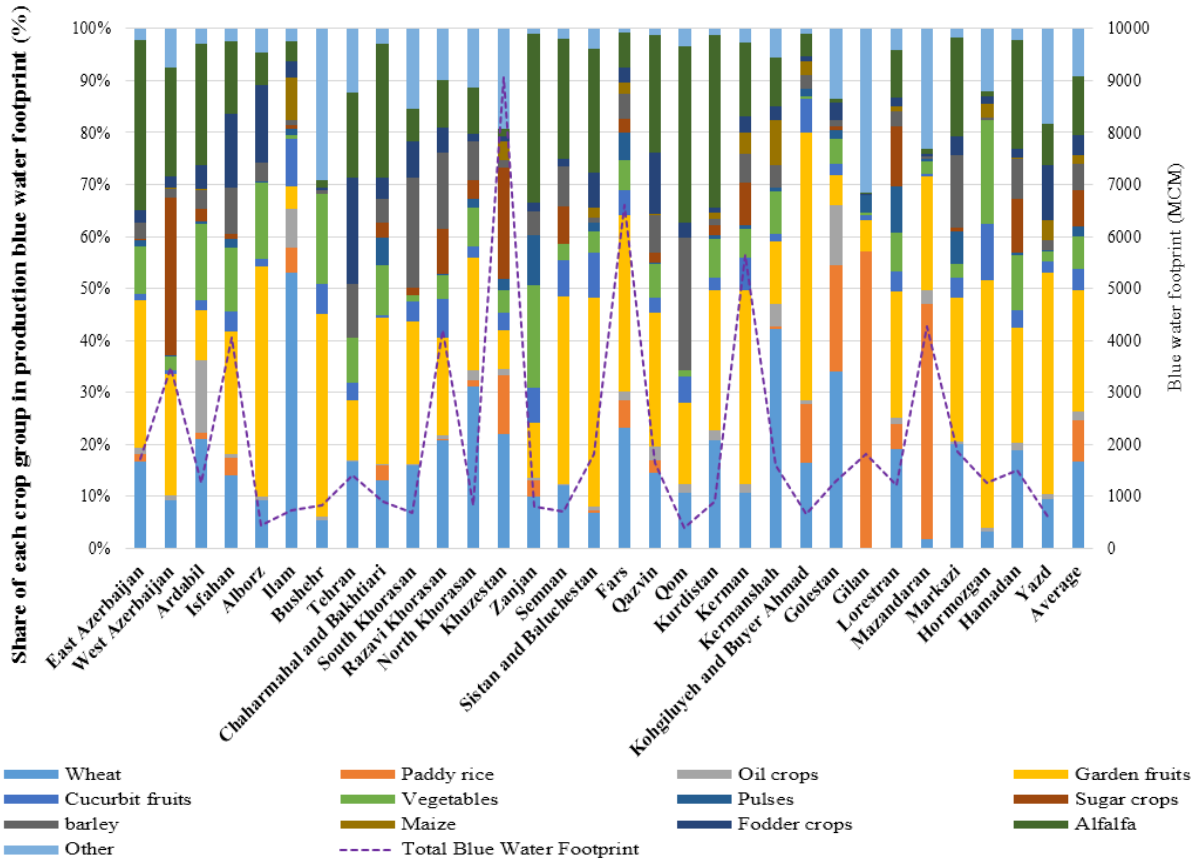

Fig. 5- Blue water footprint of crop production in provinces and share of agricultural products in each province's blue water footprint

شکل ۵- ردپای آب آبی تولید در استان‌ها و سهم محصولات کشاورزی در ردپای آب آبی هر استان

بیشترین ردپای آب آبی تولید مربوط به استان خوزستان با مصرف ۹/۰۶ میلیارد مترمکعب است. در این استان، بالاترین سهم ردپای آب آبی مربوط به گندم و نیشکر می‌باشد. کمترین ردپای آب ۴۰۱ میلیون مترمکعب و مربوط به استان قم است که سهم دو محصول یونجه و جو در مصرف آب بالاتر از نصف کل ردپای آب استان است.

نهایتاً مصرف کل آب کشاورزی در سال ۱۳۹۷ با تعریفی که در ابتدا مقاله ارائه شد (به معنای تبخیر و تعرق و نه برداشت) ۶۴/۲ میلیارد متر مکعب برآورد گردید. براین اساس بطور میانگین در کشور؛ محصولات باغی شامل گروه میوه باغی و میوه‌های خشک، ۲۳/۳ درصد از مصرف آب کشاورزی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، در محصولات زراعی، بالاترین مصرف آب مربوط به گندم با سهم ۱۶/۶ درصد است. گیاهان با مصرف خوراک دام و طیور شامل یونجه، جو، نباتات علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای در مجموع ۲۱/۹ درصد از ردپای آب آبی را شامل می‌شوند. مصرف آب آبی برنج ۷/۹ درصد از ردپای آب آبی کل است که تولید آن بیشتر در استان‌های مازندران و گیلان متمرکز است. در رتبه‌های بعدی گیاهان قندی، سبزیجات، میوه‌های جالیزی، حبوبات و گیاهان روغنی، به ترتیب با مصرف ۷/۱٪، ۶/۲٪، ۴٪، ۲٪ و ۱/۸٪ از ردپای آب آبی کل قرار دارند.

۳-۲- ارزیابی سیاست‌های خودکفایی محصولات بخش کشاورزی و تبعات آنها بر مؤلفه بیلان

همانطور که در بخش (۲-۶) تشریح شد، سه سناریو برای ارزیابی اثر افزایش تولید سه گروه محصول دانه‌های روغنی، گیاهان قندی و ذرت دانه‌ای روی مصرف منابع آب تعریف شد. در هر سه سناریو مقدار تولید این سه گروه از محصولات، مقادیر هدف برای افق سال ۱۴۰۰ در برنامه توسعه ششم قرار داده شد. نتایج این بررسی‌ها در جدول ۴ همراه با شرایط پایه (وضعیت مصرف در سال ۱۳۹۷) آمده است. ملاحظه می‌شود که در سناریو اول (تولید بدون محدودیت سطح)، با رشد ۱۳درصد سطح کشت کشوری؛ ردپای آب تولید کشاورزی از ۶۴/۲۳

میلیارد مترمکعب در شرایط پایه سال ۱۳۹۷ (Ref)، به ۷۱/۳۳ میلیارد متر مکعب رسیده و کسری مخزن ۷ میلیارد مترمکعب افزایش یافته است.

در سناریوی دوم با وجود جایگزینی ۳۰ درصد از سبزیجات و محصولات جالیزی با محصولات هدف، کسری مخزن حدود ۵ میلیارد مترمکعب افزایش یافته است و مصرف کل هم به ۶۹/۳۶ می‌رسد. مجدداً افزایش سطح تا حدود ۱۰ درصد برای این سناریو قابل تصور است.

بهینه‌سازی الگوی تولید براساس سناریو سوم، ردپای آب را به ۶۶/۷۱ میلیارد مترمکعب رسانده که در نتیجه آن کسری مخزن نسبت به شرایط فعلی حدود ۳/۱۲ میلیارد مترمکعب افزایش را نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که در مدل افزایش سطح کشت هر استان محدود به ۱۰ درصد از شرایط فعلی قرار داده شد. در صورت حذف این محدودیت امکان کاهش ردپای آب تا پایین‌تر از شرایط پایه وجود خواهد داشت، اما نتایج حاصل با وضعیت منابع آب و زمین استان‌ها فاصله قابل توجهی پیدا خواهد کرد.

در شکل ۶ درصد تغییرات سطح کشت و ردپای آب استان‌ها در هر سناریو نشان داده شده است. در سناریو اول سطح کشت سه گروه محصول مورد نظر در استان‌ها افزایش پیدا کرده که این افزایش به میزان کشت این محصولات در هر استان وابسته است. مشاهده می‌شود، افزایش سطح کشت در بالای سی درصد از استان‌ها بیشتر از ۱۰ درصد بوده و به تبع آن ردپای آب آبی تعدادی از استان‌ها به بالای ۳۰ درصد از ردپای آب اولیه رسیده است.

در سناریو دوم به ازای کاهش ۳۰ درصد از تولید سبزیجات و میوه‌های جالیزی، افزایش سطح کشت و ردپای آب استان‌ها نسبت به سناریو اول کاهش یافته است. در تعدادی از استان‌ها نیز که کشت سه گروه محصول دانه‌های روغنی، گیاهان قندی و ذرت دانه‌ای قابل توجه نبوده، با کاهش سطح کشت سبزیجات و میوه‌های جالیزی، ردپای آب استان کمتر شده است.

در سناریو سوم با افزایش ۱۰ درصدی سطح کشت در همه استان‌ها، تغییر سطح کشت همه محصولات در آنها به گونه‌ای بهینه شده است که از طرفی افزایش ردپای آب در استان‌ها با شدت کمتری صورت می‌گیرد و از طرف دیگر در تعدادی از آنها کاهش ردپای آب نیز مشاهده می‌شود.

Table 4- Results of modeling in three scenarios of production increase
جدول ۴- نتایج حاصل از مدل‌سازی سه سناریو افزایش تولید

Scenario	Ref	S1	S2	S3
Production Water Footprint (BCM*)	64.23	71.33	69.36	67
Reservoir Deficit (BCM)	-5.38	-12.48	-10.51	-8.5
Total Irrigated Area (1000 ha)	7046	7974	7734	7692

*Billion Cubic Meters

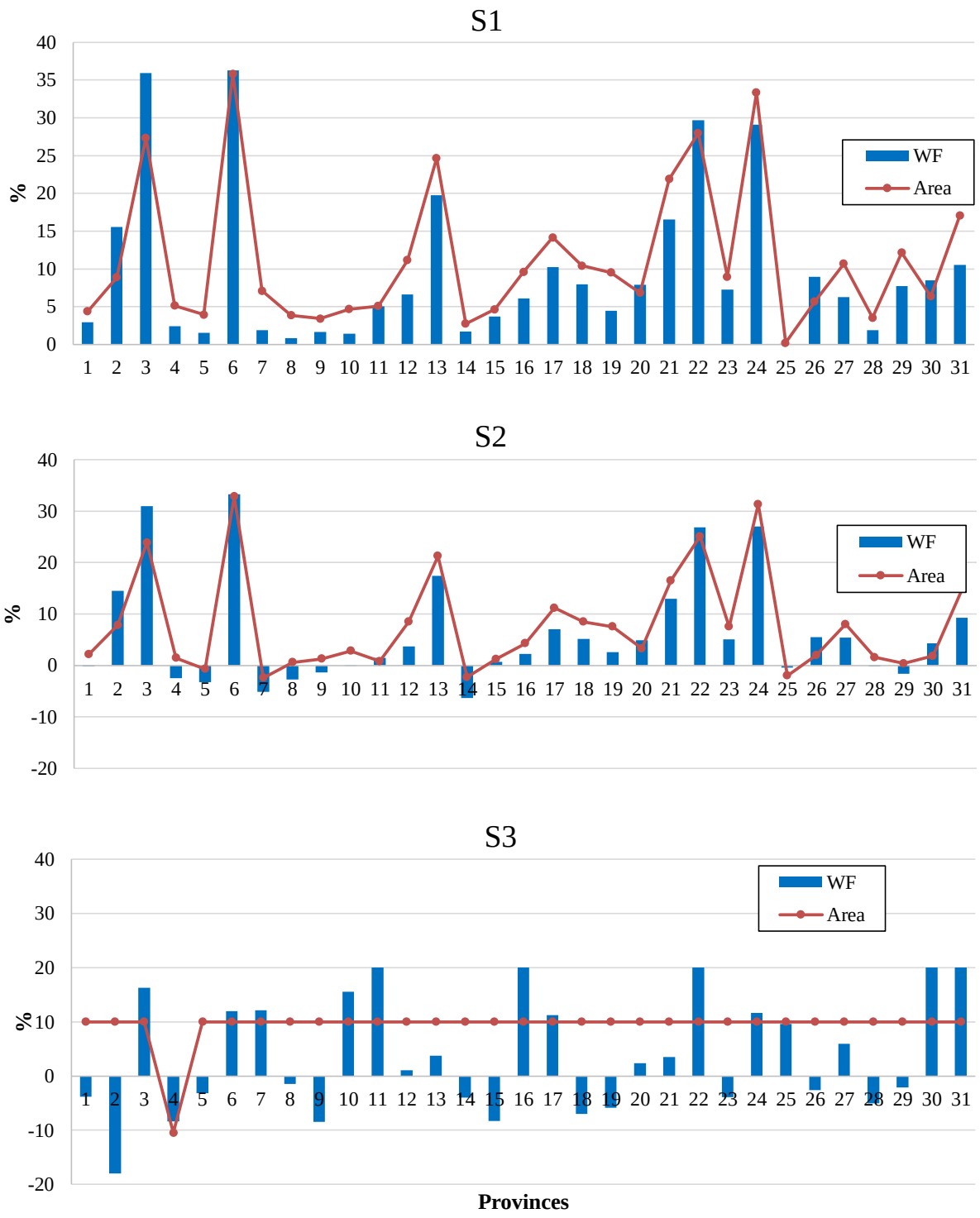

Fig. 6- Percentage changes of water footprint and cultivation area in provinces in production increase scenarios for three product groups: oilseeds, sugar plants and grain corn

شکل ۶- درصد تغییرات ردپای آب و سطح کشت استان‌ها در سناریوهای افزایش تولید سه گروه محصول دانه‌های روغنی، گیاهان قندی و ذرت دانه‌ای

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

برآورد مصرف آب بخش کشاورزی از اصولی‌ترین مباحث در تدوین سیاست‌های کلان آبی و غذایی کشور بوده است. از طرفی نیز برآورد آن بخصوص در سطح کلان ملی عدم قطعیت‌های خاص خود را دارد. یکی از اقداماتی که می‌تواند بخشی از این مسأله را مرتفع کند، تنوع بخشی به روش‌های محاسباتی برآورد مصارف با دخالت اطلاعات بیشتر، بخصوص کنترل با تراز آبی کشور می‌باشد. ضمن اینکه با بهره‌گیری از این بستر، تأثیر سیاست‌های افزایش تولید محصولات زراعی بر بیلان منابع آب کشور قابل بررسی خواهد بود. این مهم در این تحقیق با توسعه چارچوبی که از مفهوم «ردپای آب» بهره می‌جوید، دنبال شده است. چارچوب پیشنهادی هم از ظرفیت برآورد مصرف بخش کشاورزی برخوردار است و هم تبعات سیاست‌هایی مانند افزایش ضریب خودکفایی را می‌تواند بر برخی مؤلفه‌های بیلان را مورد بررسی قرار دهد. براین اساس مهمترین یافته‌های این تحقیق مطابق ذیل قابل ارائه هستند:

۱- روش‌شناسی استفاده شده در این تحقیق بدینسان بود که بجای شروع محاسبات از بارندگی به عنوان پارامتر ابتدایی زنجیره محاسباتی بیلان، از تولیدات کشاورزی به عنوان انتهای زنجیره و با بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب استفاده گردید و حجم مصرف سالانه را برآورد نمود. طبق آن و برای سال آماری مورد بررسی تحقیق (۹۷-۱۳۹۶)، مصرف سالانه آب بخش کشاورزی حدود ۶۴ میلیارد متر مکعب از منابع آب آبی کشور بدست آمد، در حالی‌که آب برنامه‌ریزی شده برای کشاورزی ۵۸/۸ میلیارد مترمکعب در سال تعیین شده است و تراز منفی حدود ۵ میلیارد در سال را رقم می‌زند. بدیهی است که این اضافه برداشت‌ها اثر تجمعی دارند و نهایتاً علاوه بر تهدید امنیت آبی، ظرفیت تولید داخلی محصولات کشاورزی را نیز در وضعیت ناپایداری قرار می‌دهد.

۲- روش‌شناسی مورد استفاده این ظرفیت را دارد تا برخی کنترل‌ها در مقیاس استانی وزارت نیرو اعمال شود، کما اینکه نتایج نشان داد که ارقام ۵۷/۳-، ۶۰۲/۶- و ۱۸/۲- به ترتیب برای استان‌های البرز، اصفهان و ایلام با مغایرت‌هایی روبرو هستند که تصحیح شدند.

۳- با توجه به اهداف کمی برنامه ششم توسعه، از میان محصولات زراعی سه گروه محصول دانه‌های روغنی، گیاهان قندی و ذرت دانه‌ای نیاز به بیشترین افزایش تولید را دارند. بطوریکه میزان تولید این محصولات نسبت به سال ۹۷ باید به ترتیب ۳/۲، ۱/۴ و ۳/۲ برابر گردد. مدل‌سازی افزایش تولید این گروه‌ها در سه سناریو و در بهینه‌ترین حالت موجب افزایش تراز منفی آب کشور از ۶۴/۲ به ترتیب به ۷۱/۳، ۶۹/۴ و ۶۷ می‌شود. بدیهی است که هرگونه افزایش خودکفایی این ضریب می‌تواند تبعات شدیدتری را بر بیلان آب کشور به همراه داشته باشد.

۴- در بررسی سوابق مطالعاتی مرتبط با «مصرف آب بخش کشاورزی»، ارقام بسیار متنوعی بین محدوده ۶۰ تا ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال (Abbasi et al., 2017; Soltani et al., 2019; Mesgaran and Azadi, 2018) محاسبه شده است. علت این اختلافات به بررسی بیشتری نیاز دارد، ولی یکی از اصلی‌ترین دلایل آن تفاوت در تعریف «مصرف» می‌باشد که بعضاً با «برداشت» یکسان تلقی شده است. همچنین، مبانی اطلاعات مورد استفاده (زمینی، ماهواره‌ای و غیره)، نوع داده‌ها (دخالت داده‌های صرفاً مرتبط با مصارف و یا استفاده توامان از داده‌های منابع و مصارف) و روش‌شناسی بکار رفته از برخی از علل مربوط هستند. این تحقیق تلاش نمود، مبنای مصرف را نیاز آبی و مستقل از بحث «راندمان آبیاری» بیان دارد که «مفهوم ردپای آب» دراین باره بکارگرفته شد. سپس با استفاده توأمان از اطلاعات منابع و بیلان در مقیاس استانی، نیازآبی را به مصرف واقعی بخش کشاورزی نزدیک نمود، به عبارتی «ردپای آب استانی» اصلاح شد. درعین حال ضروری است تا بسترسازی برای مقایسه این روش‌ها و تعامل تهیه‌کنندگان آنها فراهم آید.

۵- ساختار فعلی جمع‌آوری و ارائه داده‌ها در سطح کشور بیشتر بر مبنای استانی است، با توجه به تغییر ساختار در مدیریت آب کشور و مبحث حوضه آبریز، ضروری است که این مقیاس نیز در نظام جمع‌آوری و توزیع اطلاعات در دستور کار قرار گیرد. موضوعی که از چالش‌های این تحقیق می‌بود.

نهایتاً لازم است، بسترهای فنی و نهادی برای تأمین بروز داده و اطلاعات این‌گونه روش‌شناسی‌ها که برآورد مصارف آب کشور را هدف دارند، فراهم گردد. زیرساختی که نهایتاً امکان توسعه اقداماتی پایه مانند توسعه «حسابداری و حسابرسی ملی کشور» را فراهم می‌آورند.

پی‌نوشت‌ها

1- https://irna.ir/xjp6Gg
2- Internal and External Water Footprint

۵- مراجع

Abbasi F, Nasseri A, Akbari M, Baghbani J and Abbasi N (2017) Analysis of water consumption in agricultural sector. Technical analyzes for in Iran's agricultural management and engineering, Institute of Technical and Agriculture Research 1:18-25 (In Persian)

Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G, Gautam R (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. Ecololgical Economics 60(1):186–203

Esmaeili Fard M, Kaveh Firoz H (2017) Pathology of the water policies in Iran. Socio-Cultural Research Journal of Rahbord 5(21):169-97 (In Persian)

Falkenmark M, Rockström J (2004) Balancing water for humans and nature: The new approach in ecohydrology. Earthscan, London 272 p

Hoekstra A Y, Chapagain A K (2007) Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management 21(1):35–48

Hoekstra A Y, Hung P Q (2002) Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 120p

Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, Mekonnen M M (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London,UK, 203p.

Iran Chamber of Commerce, Industries, Mines & Agriculture (2017) Personal Communication.

Islami R, Rahimi A (2019) Policymaking and water Crisis in Iran. Quarterly journal of Macro and Strategic Policies 7(3):410-435 (In Persian)

Karandish F, Hoekstra A (2017) Informing national food and water security policy through water footprint assessment: the case of Iran. Water 9:831

Karimi P, Bastiaanssen W G, Molden D (2013) Water Accounting Plus (WA+)–a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. Hydrology and Earth System Sciences 17(7):2459-2472

Karimov A, Molden D, Khamzina T, Platonov A, Ivanov Y (2012) A water accounting procedure to determine the water savings potential of the Fergana Valley. Agricultural Water Management 108:61-72

Mekonnen M M, Hoekstra A Y (2010) The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences 15(5):1577–1600

Mesgaran M B, Azadi P (2018) A national adaptation plan for water scarcity in Iran. Working Paper 6, Stanford Iran 2040 Project, Stanford University

Ministry of Agriculture-Jahad (2019a) Agricultural statistics of the crop year 2017-2018, Volume 1. Technical Report (In Persian)

Ministry of Agriculture-Jahad (2019b) Agricultural statistics of the crop year 2017-2018, Volume 2. Technical Report (In Persian)

Ministry of Agriculture-Jahad (2019c) Agricultural statistics of the crop year 2017-2018, Volume 3. Technical Report (In Persian)

Ministry of Agriculture-Jahad (2022) Report on area, production and yield of crop products year 2020-2021. Technical Report (In Persian)

Mohammadi A, Rizi A P, Abbasi N (2019) Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin irrigation scheme, Iran. Global Ecology and Conservation, 18, e00646

National Water Document (2000) Crops net water requirement. Iran Meteorological Department, Ministary of Agriculture (in Persian)

Omidi T, Bagheri A, Heidari N (2018) Exploring export-import strategies and pri-orities of agricultural products based on the concept of virtual water. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 258p

Perry C, Steduto P, Karajeh F (2017) Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Cairo, 42

Qureshi M E, Schwabe K, Connor J, Kirby M (2010) Environmental water incentive policy and return flows. Water Resources Research 46(4)

Schyns J F, Hoekstra A Y (2014) The water footprint in Morocco: The added value of water footprint assessment for national water policy. Value of Water Research Report Series No. 67, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands

Six Five-Year Development Plan 2016-2021 (2016) http://dolat.ir/detail/281959

Soltani A, Alimagham M, Nehbandani A, and et al. (2020) Modeling plant production at country level as

affected by availability and productivity of land and water. Agricultural Systems 183:102859

Van Oel P, Mekonnen M, Hoekstra A Y (2009) The external water footprint of The Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. Ecological Economics 69(1):82–92

Verma S, Kampman D A, Van der Zaag P, Hoekstra A Y (2009) Going against the flow: A critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Programme. Physics and Chemistry of the Earth 34(4-5):261–269

Water and Waste Water Macro Planning Office (2016) Ministry of Energy.

Water Resources Basic Studies Office (2014) Personal communication

Zhuo L, Mekonnen M M, Hoekstra A Y (2016) Water footprint and virtual water trade of China: Past and future. Value of Water Research Report Series No. 69, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 70p