DOI: 10.22059/IJAEDR.2022.330430.669083

مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران

دوره ۲-۵۳، شماره ۲، ۱۴۰۱ (۵۱۴-۴۹۷)

Investigating The Relationship Between Water Security And Food Security In Terms of Quantity In Different Climatic Zones of Iran

MARYAM. SALARI BARDSIRI[1], HOSSEIN. MEHRABI BOSHRABADI*[2], MOHAMMAD REZA ZARE MEHRJERDI[3], SOMAYEH AMIRTAIMOORI[4] AND HAMID REZA MIRZAEI KHALILABADI[5]

1, PH.D. Candidate, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran

2, Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran

3, Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran

4, Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran

5, Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran

(Received: Sep. 22, 2021- Accepted: Feb. 5, 2022)

ABSTRACT

Achieving food and water security is one of the most important goals of policymakers in different countries. Water scarcity in Iran could be one of the major food security challenges in the future. For this purpose, climatic zoning was performed using the Domarten method. After calculating the water requirement using CROPWAT software; the amount of virtual water, water footprint, water productivity, volume of water consumed by each crop in each zone and the optimal food gap in different climates were calculated. According to the results; The per capita water footprint of the agricultural sector in hyper-arid, desert arid, semi-arid, Mediterranean and humid climates and Iran is 1611.97, 1228.09, 665.83, 884.01, 600.21 and 998.20cubic meters, respectively. In addition, the intensity of water consumption within the 5 climatic zones and Iran is 64.89, 88.03, 63.19, 41.01, 56.38 and 65.48 %, respectively. Net virtual water imports for each zone show that desert arid and humid zones are exporters of virtual water and hyper-arid, semi-arid and Mediterranean zones are importers of virtual water.

The results show a contradiction between the realization of water security and food security in terms of quantity. The results showed that if the goal is to establish water security; by increasing the net import of virtual water (in the case of high-consumption products with low water efficiency), the intensity of pressure on domestic water resources in each area could be reduced. But if the goal is self-sufficiency; If the current situation does not change (crop composition in cropping pattern, yield and irrigation efficiency in each zone), more pressure will be put on water resources. Therefore, in order to achieve the goals of self-sufficiency and water security coefficients at the same time; It is recommended to increase the yield, improve the irrigation efficiency, formulate a suitable cultivation pattern and allocate water resources according to water productivity and its yield in each zone.

Keywords: Food gap, Virtual water, Domarten method, Water Footprint, Penman Monteith

Extended Abstract

Objectives

The water used in the production process of an agricultural product is called "virtual water" in the product. Real water trade between water-rich and water-poor areas is generally impossible

due to the large distances and costs involved, but but virtual water trade is realistic. For water-scarce areas is important to achieve water security by importing water-intensive products instead of producing all water-demanding products within the area. Water scarcity in Iran could be one of the major food security challenges in the future. Virtual water trade between areas could be used as an instrument to improve water use efficiency, to achieve water security in water-poor areas.

Methods

The methods and indicators used in this paper are: The developed Domarten method, Penman-Monteith method, Water scarcity index, water self-sufficiency index, net virtual water import, virtual water value, water footprint index and use of standards provided by the Ministry of Health for food security of each person.

Results

According to the results of climatic zoning developed by the Domarten method; Iran is divided into 5 climatic zones: hyper-arid, desert arid, semi-arid, Mediterranean and humid. The results of virtual water estimation showed that legumes, cotton, soybean and paddy products have the highest water consumption in all 5 climates. Also in all climates, fodder corn, sugar beet and potato have the lowest water consumption, respectively. The results of water footprint showed that in the hyper-arid climate, the greatest impact of people on water resources is related to alfalfa, wheat and barley, respectively. In desert arid climates, most water footprint are related to wheat, sugarcane, and barley crops. In semi-arid climates, wheat, alfalfa and barley crops have the highest water footprint. The greatest influence of people on water resources in the Mediterranean climate is related to wheat, legumes and alfalfa. In humid climates, it is also related to paddy, soybean and wheat. Water footprints in hyper-arid, desert arid, semi-arid, Mediterranean and humid climates are 18313.61, 30812.84, 16208.36, 11910.27 and 4691.87 million cubic meters per year, respectively. Water self-sufficiency is 68.27, 100, 81.97, 88.90 and 100%, respectively. The net virtual water import of in 5 climates is 5810.70, -809.71, 2921.35, 1321.03 and -2645.76 million cubic meters, respectively.

Discussion

Examining the optimal food gap in wheat, rice, grains, potato and vegetables it was found that hyper-arid to achieve food security of own population, need to provide a virtual water deficit of 3.94 Billion cubic meters. According to the climatic conditions and average rainfall in this zone, the import of virtual water is not a weakness for its. Therefore, to avoid pressure on water resources within the hyper-arid zones, it is better to provide this virtual water deficit by importing virtual water. Desert arid, Semi-arid, Mediterranean and humid climatic zones can also store 1.22, 0.662, 3.38 and 3.99 billion cubic meters of water virtually, respectively, while bringing their population to food security. According to the rainfall conditions in the country and the high water consumption in the agricultural sector, to avoid further pressure on water resources within the mentioned zones, the export of these amounts of virtual water is not reasonable. Rather, according to the optimal nutritional needs of people in each climate zone, the amount of virtual water needed for each product and water resources in each climate zone, the cultivation pattern of the region should be changed. So by increasing the virtual water trade, the intensity of pressure on water resources in different climates can be reduced. This is possible by redistributing water between plants, changing cultivation patterns, and modifying the diet based on food security goals in each climate zone.

بررسی ارتباط بین امنیت آب و بعد کمی امنیت غذایی در پهنه‌های مختلف اقلیمی ایران

مریم سالاری بردسیری[۱]، حسین مهرابی‌بشرآبادی[۲*]، محمدرضا زارع‌مهرجردی[۳]، سمیه امیرتیموری[۴]، حمیدرضا میرزائی‌خلیل‌آبادی[۵]

۱، دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲، استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳، استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۴، استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۵، دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(تاریخ دریافت : ۱۴۰۰/۶/۳۱- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶)

چکیده

دستیابی به امنیت آب و غذا از مهم‌ترین اهداف سیاست‌گزاران در جهان است. کمبود آب در ایران یکی از چالش‌های عمده‌ی امنیت غذا در آینده می‌باشد. در پژوهش حاضر، ابتدا با روش دومارتن توسعه یافته، پهنه‌بندی اقلیمی انجام شد. پس از محاسبه نیاز آبی با نرم‌افزار **CROPWAT**؛ مقدار آب مجازی، ردپای آب، بهره‌وری آب، حجم آب مصرف شده توسط هر محصول زراعی در هر پهنه‌ی اقلیمی و شکاف مطلوب غذایی در اقلیم‌های مختلف برای سال زراعی ۹۷-۹۶ محاسبه شد. طبق نتایج؛ سرانه‌ی ردپای آب بخش زراعت در اقلیم‌های فراخشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب و در ایران ۱۶۱۱/۹۷، ۱۲۲۸/۰۹، ۶۶۵/۸۳، ۸۸۴/۰۱، ۶۰۰/۲۱ و ۹۹۸/۲ مترمکعب می‌باشد. همچنین شدت فشار بر منابع آب داخلی هر پهنه‌ی اقلیمی و ایران به ترتیب ۶۴/۸۹، ۸۸/۰۳، ۶۳/۱۹، ۴۱/۰۱، ۵۶/۳۸ و ۶۵/۴۸ درصد است. خالص واردات آب مجازی برای هر پهنه نشان می‌دهد که پهنه‌های خشک بیابانی و مرطوب، صادرکننده‌ی آب مجازی و پهنه‌های فراخشک، نیمه خشک و مدیترانه‌ای، واردکننده‌ی آب مجازی می‌باشند.

نتایج نشان از وجود تناقض بین تحقق امنیت آب و بعد کمی امنیت‌غذایی دارد. اگر هدف برقراری امنیت آب باشد؛ می‌توان با افزایش واردات خالص آب مجازی (در مورد محصولات آب‌بر با بهره‌وری آب پایین)، شدت فشار بر منابع آب داخلی هر پهنه را کاهش داد. ولی اگر هدف رسیدن به بعد کمی امنیت غذایی یا همان خودکفایی باشد؛ در صورت عدم تغییر در وضعیت موجود (ترکیب محصولات در الگوی کشت، میزان عملکرد و راندمان آبیاری در هر پهنه)، بر منابع آب فشار بیشتری وارد می‌شود. جهت رسیدن همزمان به اهداف بعد کمی امنیت غذایی و امنیت آب؛ افزایش عملکرد، بهبود راندمان آبیاری، تدوین الگوی کشت مناسب و تخصیص منابع آب با توجه به بهره‌وری آب و عملکرد آن در هر پهنه پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شکاف غذایی، آب مجازی، دومارتن، ردپای آب، پنمن مانتیث

مقدمه

آب یکی از عوامل تولید موردنیاز در تمام بخش‌های اقتصادی برای ایجاد رشد وتوسعه‌ی اقتصادی است. این آب باید با کمیت و کیفیت مناسب، در زمان و مکان مناسب به بخش‌های اقتصادی تحویل داده شود تا تقاضا برای استفاده از آن جهت تولید در بخش‌های مختلف برآورده شود. اگر به هر دلیلی نتوان آب را به بخش‌های مختلف رساند، ممکن است تولید اقتصادی در آن بخش با محدویت مواجه شود (Panella et al., 2020) بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های متولی امر تولید در نظام اقتصادی نیز می‌تواند با مشکل امنیت آب مواجه شود. کاهش منابع آب دردسترس و نمود یافتن مساله کم‌آبی قبل از هر چیز تولیدات بخش کشاورزی را تحت تاثیر قرار داده و در نهایت، مساله امنیت غذایی را برای بشر در شرایط بحران و سردرگمی فرو خواهد برد (Mwesa G. 2012).

۴۸/۵ درصد از منابع آب سدهای مخزنی بزرگ، ۹۰ درصد از منابع آب زیرزمینی و حدوداً ۷۰ درصد از حجم منابع آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Abbasi & Abbasi, 2020). بخش کشاورزی، سهم بسزایی در مصرف منابع آب و تولید اقتصادی دارد. با توجه به تنوع اقلیمی و پراکنش سطح خشکی و آبی ایران و سایر عوامل طبیعی، میزان محدودیت آب در موقعیت‌های جغرافیایی و واقعیت‌های اقلیمی متفاوت و مسئله ساز است. مناطقی که با مشکلات ناشی از کمبود آب مواجه هستند و نمی‌توانند نیازهای کشاورزی خود را تنها از طریق تولید داخلی تامین کنند به تجارت آب مجازی روی می‌آورند. مفهوم "آب مجازی" اولین بار توسط تونی آلان در اوایل دهه نود معرفی شده است (Allan, 1993). آب مجازی هر محصول به سه بخش آب آبی، آب سبز و آب خاکستری بررسی می‌شود. نزدیک به یک دهه طول کشید تا اهمیت دستیابی به امنیت آب منطقه‌ای و جهانی در سطح جهان شناخته شود. مفهوم آب مجازی می‌تواند یک تصویر شفاف از نیاز به آب جهت تأمین غذای جمعیت جهان را ارایه می‌نماید. برای اینکه بتوان اثر الگوی مصرف مردم بر منابع طبیعی را به‌خوبی نشان داد می‌توان از مفهوم آبرانه یا ردپای آب استفاده نمود که اولین بار توسط هوکسترا و هانگ معرفی گردید (Hoekstra & Hung ,2002). بر اساس این مطالعه؛ آبرانه یا ردپای آب حجم کل آبی است که در تولید کالاها و خدمات برای ساکنین آن جامعه مصرف می‌شود و می‌توان آن را برای مقیاس‌های زمانی، مکانی، داخلی ویا خارجی محاسبه کرد. از آنجا که محصولات مصرفی ساکنین یک منطقه در داخل همان منطقه تولید نمی‌شود، ردپای آب شامل دو مولفه ردپای آب داخلی و خارجی می‌باشد که به ترتیب بسته به مصرف منابع آب داخلی و حجم منابع آب خارجی تعریف می‌گردد.

مفهوم رد پای آب به‌عنوان مقدار آب مجازی انباشته شده در تمامی کالاها و خدمات مصرف شده توسط یک فرد یا افراد یک کشور بیان می‌گردد (Hoekstra & Hung ,2002). همچنین، می‌تواند ابزاری قدرتمند برای نشان دادن تاثیر مردم بر منابع طبیعی باشد(Wackernagel et al., 1997). سرانه‌ی ردپای آب بر حسب مترمکعب را در دوره‌ی زمانی ۱۹۹۹-۱۹۹۵برای کشورهای مختلف از جمله ایران محاسبه نمودند. سرانه‌ی ردپای آب، ضرایب خودکفایی و وابستگی برای ایران به‌ترتیب ۱۴۵۷، ۹۳/۶ و ۶/۴ درصد به‌دست آمد (Hoekstra & Hung ,2002).

اخیراً مطالعات بسیار زیادی در زمینه‌ی ردپای آب در کشاورزی در تمامی کشورها انجام شده است. مانند بررسی ردپای آب در باودینگ چین که پس از محاسبه‌ی نیاز آبی از روش پنمن- مانتیث؛ نشان دادند که مجموع ردپای آب آبی و خاکستری بسیار بیشتر از موجودی منطقه است و این نشان‌دهنده‌ی کمبود جدی آب در منطقه می‌باشد (Deng et al., 2020)؛ نتایج حاصل از بررسی ردپای آب در تولید غذای جهانی، نشان داد که تقریباً ۵۷ درصد از ردپای جهانی آب آبی به‌خاطر الزامات زیست‌محیطی می‌باشد و تا سال ۲۰۹۰، به‌دلیل تغییرات آب و هوایی و کاربری اراضی، ۲۲ درصد نیز افزایش خواهد یافت

(Mekonnen & Gerbens-Leenes, 2020)؛ بررسی ردپای آب آبی و سبز در کشاورزی ترکیه نشان داد که ردپای آب آبی و سبز به ترتیب ۱۱۶۱ و ۷۴۸ مترمکعب به ازای هر تن گندم است (Muratoglu, 2020)؛ ردپای آب در محصولات کشاورزی و دامی کره در سال ۲۰۱۴ تقریباً ۲۷/۹ درصد از کل منابع آب داخلی مصرف شده در کره می‌باشد (Kim, I., & Kim, K. S. 2019)؛ بررسی ردپای آب در کشاورزی لبنان برای دوره‌ی ۲۰۱۹-۲۰۱۶ بر اساس ۶ منطقه آب و هوایی و ۴ نوع خاک نشان داد که ردپای آب بیشتر به اقلیم و نوع خاک حساس است و به‌طور میانگین محدوده‌ی ردپای آب بین ۷۰۵- ۷۳۷ میلی‌متر در سال است (Nouri et al., 2019)؛ کل ردپای آب در تونس حدوداً ۱۹ میلیارد مترمکعب در سال محاسبه شد که سهم ردپای تولید محصولات زراعی از آن ۸۷ درصد بود (Chouchane et al., 2015)؛ ردپای آب برای برنج در آرژانتین نیز با توجه به مولفه‌های آن (آبی، سبز و خاکستری) برآورد شد (Marano & Filippi, 2015). بررسی ردپای آب در دو کشور مراکش و هلند نشان داد که هر دو کشور بیشتر وارد کننده‌ی آب مجازی هستند تا صادر کننده. پس هر دو کشور به منابع آب خارج از کشور وابسته هستند. این وابستگی برای مراکش (با اقلیم خشک و نیمه‌خشک)۱۴ درصد و برای هلند (با اقلیم مرطوب) ۹۵ درصد برآورد شد (Hoekstra & Chapagain,2007).

در داخل ایران هم مطالعات مفیدی در زمینه ردپای آب انجام شده است مانند بررسی ردپای آب در استان فارس که مجموع ردپای آب در محصولات زراعی، حدود ۶/۶ میلیارد مترمکعب در سال محاسبه شد (Ashktorab & Zibaei, 2021)؛ Mohammadi & Yousefi در سال 2020 در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص ردپای آب، مقدار آب مصرفی برای تولید هر واحد انرژی از زیست توده‌ی گندم را محاسبه نمودند ؛ بررسی ردپای آب محصولات کشاورزی در شهرستان قلعه گنج نشان داد که ۶۰ درصد از ردپای آب در این شهرستان متعلق به غلات و نخیلات است. همچنین، بیش‌ترین مقدار بهره‌وری آب مربوط به ذرت علوفه‌ای، پیاز و خربزه است (Rahimipour Anaraki et al., 2020)؛ بررسی ردپای آب در محصول زعفران ایران نشان داد که استان‌های لرستان، کرمانشاه، همدان، خراسان شمالی، تهران، کرمان، آذربایجان شرقی و زنجان با اولویت اول در دسته کمترین ردپای آب و بیشترین کارایی مصرف آب قرار می گیرند. استان گلستان، قزوین، مرکزی، البرز، یزد و خراسان رضوی و جنوبی در زمره‌ی استان‌هایی با اولویت دوم؛ استان فارس و سمنان در اولویت سوم و استان چهارمحال و بختیاری در اولویت آخر قرار دارد (Bazrafshan & Gerkani Nezhad, 2019)؛ بررسی ردپای آب کشاورزی در استان خراسان جنوبی نشان داد که در دوره‌ی ۹۰-۹۴، برنج بیش‌ترین حجم واردات آب مجازی در سال ۱۳۹۰ (معادل ۳۴۱ میلیون مترمکعب) را به استان وارد کرده است. در این دوره استان خراسان جنوبی صادرکننده‌ی آب مجازی بوده است و بیشترین صادرات آب مجازی مربوط به پنبه، زعفران و زرشک بوده است. حجم ردپای آب کشاورزی ۵۱۰ میلیون مترمکعب است که به ازای هر نفر ۷۰۰ مترمکعب در سال برآورد گردید (Dehghan et al., 2019)؛

بررسی وضعیت تجارت داخلی و بین‌المللی آب مجازی نشان داد که استان فارس بزرگ‌ترین صادرکننده و استان تهران بزرگ‌ترین واردکننده آب مجازی است. سرانه‌ی ردپای آب در ایران ۷۵۲ لیترو میزان خودکفایی آب کشور ۸۲ درصد برآورد شد(kiani, 2017)؛ در دوره‌ی زمانی ۸۴-۸۸، حجم آب مجازی وارداتی به ایران سه برابر حجم آب مجازی صادراتی برای ۱۶ محصول عمده بوده است (به ترتیب حدود ۱۲۵/۸ و ۳۷/۹ میلیارد مترمکعب). ردپای آب در بخش کشاورزی سالانه ۱۰۴/۸ میلیارد مترمکعب، خاص واردات سالانه ۱۷/۶ میلیارد مترمکعب، شدت مصرف سالانه آب در کل دوره ۶۷/۱ درصد، وابستگی به واردات آب مجازی ۱۶/۸ درصد، میزان خودکفایی آب ۸۳/۲ درصد برآورد شد (Zarei & Jafari, 2015)؛ بررسی ردپای آب کشاورزی در اقلیم خشک (خراسان

جنوبی) نشان داد که سرانه ردپای آب ۱۷۲۳/۷ مترمکعب در سال است و بیشترین واردات آب مجازی (۷/۷۶ میلیون مترمکعب) به استان مربوط به برنج است (Arabiyazdi et al, 2014)؛ Arabiyazdi et al در سال 2014 همچنین سرانه ردپای آب کشاورزی ایران را نیز ۱۴۷۰ مترمکعب در سال ۱۳۸۵ تخمین زدند و نشان دادند که بیشترین سهم (۴۲ درصد) از ردپای بخش کشاورزی مربوط به گروه غلات است. همچنین، ضریب وابستگی ایران به منابع آب خارجی حدود ۱۰/۱ درصد برآورد نمودند.

تجارت آب مجازی؛ مقدار آبی است که در تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌شود و سپس، در بین مناطق با تنش‌های آبی متفاوت معامله می‌گردد (Graham et al., 2020). تجارت آب مجازی می‌تواند در پهنه‌های اقلیمی یک کشور صورت گیرد. لذا، در این پژوهش ابتدا ایران به پهنه‌های اقلیمی مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. سپس، پس از تخمین مقدار آب مجازی در بخش زراعت، به تخمین شاخص رد پای آب و بررسی امکان بهره‌گیری از مبادلات آب مجازی در پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران جهت دستیابی به امنیت آبی و غذایی در زیر بخش زراعت پرداخته می‌شود.

روش تحقیق

جهت دستیابی به اهداف پژوهش ابتدا نیاز است تا استان‌هایی با شرایط اقلیمی تقریباً مشابه را در یک پهنه قرار دهیم. برای انجام پهنه‌بندی اقلیمی روش‌های مختلفی مانند طبقه‌بندی کوپن، ایوانف، بارات، ترنت وایت، سلیانینوف و دومارتن وجود دارد. دومارتن معادله تجربی زیر را جهت تعیین نوع اقلیم یک منطقه ارایه داده است:

$$I_A = \frac{P}{T+10} \qquad (۱)$$

I_A ضریب خشکی دومارتن، P میانگین بارش سالیانه بر حسب میلی‌متر و T متوسط درجه‌ی حرارت سالانه بر حسب درجه سانتیگراد است. Khalili (2004) در جهت تکمیل سیستم دومارتن، مرزهای جدید حرارتی را برآن اعمال نموده است. در این مطالعه از روش دومارتن اصلاح یافته استفاده شد.

نیازآبی هر گیاه با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT و با اطلاعات زیر برآورد می‌گردد: نیاز آبی هر گیاه[1] (ET_c) تابعی از نیاز آبی گیاه مرجع[2] (ET_0) بوده که در قالب ضریب گیاهی[3] (K_c) به صورت $ET_c = ET_0 * k_c$ بیان می‌شود(Allan,1998). در این پژوهش تبخیر و تعرق محصولات بر اساس اطلاعات اقلیمی به روش پنمن مانتیث فائو برآورد می‌گردد.

در رابطه‌ی (۲)، متوسط نیاز آبی هر محصول در سطح استان مطابق با روش Hoekstra and Hung (2002) با استفاده از روش میانگین وزنی محاسبه می‌گردد:

$$\overline{CWR}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} CWR_{ci} * A_{ci}}{TA_c} \qquad (۲)$$

که در آن $\overline{CWR}_C$ متوسط نیاز آبی در سطح استان برای محصول c (مترمکعب در هکتار)؛ CWR_{ci} نیاز آبی محصول c در دشت i (مترمکعب در هکتار)؛ A_{ci} سطح زیر کشت محصول c در دشت i (هکتار) و TA_c کل سطح زیر کشت محصول c در تمام دشت‌های آن استان است. برای نزدیک شدن حجم آب مصرفی بخش زراعت به مقادیر واقعی، تلفات آبیاری در قالب راندمان آبیاری در هر پهنه در محاسبات نیاز آبی هر محصول وارد می‌گردد.

نیاز ویژه آبی هر محصول را که به صورت نسبتی از متوسط نیاز آبی به متوسط عملکرد آن محصول است، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$SWD_c = \frac{\overline{CWR}_c}{\overline{CY}_c} \qquad (۳)$$

در این رابطه، SWD_c نیاز ویژه‌ی آبی محصول C(مترمکعب بر هر تن محصول)، $\overline{CWR}_c$: متوسط نیاز آبی در پهنه اقلیمی برای محصول c (مترمکعب در

1. Crop evapotranspiration
2. evapotanspiration eReferenc
3. Crop coefficient
4.Specific Water Demand

هکتار) و CY_c متوسط عملکرد محصول (تن در هکتار) است. لازم به ذکر است که عملکرد هر محصول به روش میانگین وزنی محاسبه می‌شود.

مبادلات آب مجازی[1] هر پهنه‌ی اقلیمی به ازای صادرات یا واردات هر محصول، از حاصلضرب مقدار کمی واردات یا صادرات آن محصول در نیاز ویژه آبی (آب مجازی محصول) به‌دست می‌آید. واردات و صادرات آب مجازی هر محصول در هر پهنه‌ی اقلیمی از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$VWI_c = I_c * SWD_c \quad (۴)$$

$$VWE_c = E_c * SWD_c \quad (۵)$$

VWI_c واردات آب مجازی محصول c (مترمکعب در سال)، I_c نیز مقدار واردات سالانه محصول c (تن در سال)، VWE_c صادرات آب مجازی محصول c (مترمکعب در سال) و E_c نیز مقدار صادرات سالانه محصول c (تن در سال) می‌باشد.

واردات (صادرات) ناخالص آب مجازی پهنه‌ی اقلیمی از مجموع واردات (صادرات) آن پهنه‌ی اقلیمی و از طریق رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$GVWI = \sum_c VWI_c \quad (۶)$$

$$GVWE = \sum_c VWE_c \quad (۷)$$

که در آن، $GVWI$ واردات ناخالص آب مجازی (مترمکعب در سال) و $GVWE$ نیز صادرات ناخالص آب مجازی (مترمکعب در سال) است. از اختلاف بین این دو، خالص واردات آب مجازی پهنه‌ی اقلیمی به دست می‌آید:

$$NVWI = GVWI - GVWE \quad (۸)$$

که در آن، $NVWI$ واردات خالص آب مجازی (مترمکعب در سال) است.

برای محاسبه‌ی ردپای آب[2] از روش top-down ارایه شده توسط Van oel et al در سال ۲۰۰۸[3] استفاده می‌گردد:

$$WF = WU + NVWI \quad (۹)$$

که در آن، WU کل آب مصرفی کشاورزی داخل پهنه‌ی اقلیمی (مترمکعب در سال) و WF شاخص رد پای آب (مترمکعب در سال) است.

شاخص شدت مصرف آب[4] نسبتی از کل آب مصرفی پهنه‌ی اقلیمی در بخش زراعت (مترمکعب در سال) به کل منابع آب موجود در پهنه‌ی مورد نظر (مترمکعب در سال) است (Hung & Hoekstra, 2002):

$$WS = {}^{WU}/_{WA} * 100 \quad (۱۰)$$

که در آن ws شدت مصرف آب(کمبود آب ملی) به‌صورت درصد و WA نیز موجودیت آب ملی (مترمکعب در سال) می‌باشد. از منابع آب تجدیدپذیر داخلی سالانه به عنوان معیاری برای WA می‌توان استفاده کرد.

شاخص وابستگی به آب[5] منعکس کننده وابستگی یک پهنه‌ی اقلیمی به منابع آب خارجی (از طریق واردات آب مجازی) است. وابستگی به آب نسبتی از کل واردات آب مجازی پهنه به کل آب تخصیص یافته برای تولید محصولات زراعی (مجموع آب‌های داخل و خارج از پهنه) است:

$$WD = \begin{bmatrix} \frac{NVWI}{WU + NVWI} * 100 & \text{if NVWI} \geq 0 \\ 0 & \text{if NVWI} < 0 \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

مقدار شاخص وابستگی به آب بین صفر و صد درصد متفاوت است. اگر مقدار شاخص به عدد ۱۰۰ نزدیک شود یعنی آن پهنه‌ی اقلیمی تقریباً به‌طور

1. Virtual Water Trade

2. Water Footprint
3. Van oel et al
4. Water use Intensity
5. Water Dependency

کامل به واردات آب مجازی متکی است. به‌عنوان یک نمونه از شاخص وابستگی به آب، می‌توان از شاخص خودکفایی آب نام برد.

شاخص خودکفایی آب[1] توانایی یک پهنه‌ی اقلیمی را در تامین آب مورد نیاز برای تولید محصولات زراعی، از منابع داخلی نشان می‌دهد . (۱۲)

$$WSS = \begin{bmatrix} \frac{WU}{WU + NVWI} * 100 & \text{if NVWI} \geq 0 \\ 100 & \text{if NVWI} < 0 \end{bmatrix}$$

مقدار شاخص خودکفایی آب یک پهنه اگر به صفر نزدیک شود یعنی آن پهنه‌ی اقلیمی به شدت به واردات آب مجازی متکی است.

بهره‌وری آب کشاورزی[2] هر محصول، استفاده‌ی صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات زراعی است که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$CWP = {}^{1}/_{SWD} \qquad (۱۳)$$

شکاف مطلوب غذایی

در این پژوهش برای اینکه مشخص شود افراد در هر پهنه‌ی اقلیمی از لحاظ امنیت غذایی در چه وضعیتی می‌باشند، از انحراف بین میزان تولیدات هر پهنه از میزان محصول مورد نیاز افراد هر پهنه برای رسیدن به امنیت غذایی استفاده می‌شود. شکاف مطلوب غذایی همان تفاوت بین میزان مصرف مطلوب محصولات زراعی و میزان تولید محصولات زراعی است. محصولات زراعی مورد بررسی شامل گندم، برنج، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزی‌ها می‌باشند.

آمار و اطلاعات مورد نیاز برای سال ۱۳۹۷ از وزرات نیرو، سازمان جهاد کشاورزی هریک از استان‌های ایران، مرکز آمار ایران، گمرک جمهوری اسلامی ایران، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد(فائو)، شرکت‌های آب منطقه‌ای استان‌های کشور، طرح امنیت غذایی کشور (تدوین شده در سال ۱۳۹۱) و سازمان هواشناسی (۱۳۷۸-۱۳۹۷)گرفته شده است.

نتایج و بحث

جهت برآورد تجارت آب مجازی، شاخص ردپای آب و پرداختن به بحث امنیت آب و امنیت غذا در پهنه‌های اقلیمی مختلف ابتدا لازم است تا استان‌هایی با شرایط اقلیمی تقریباً مشابه را در یک پهنه متمرکز کرد. تا بتوان هر یک از پهنه‌های اقلیمی را به عنوان یک مزرعه بزرگ مد نظر قرار داد. ایران دارای ۳۱ استان با شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد. میزان تولید محصولات کشاورزی و مصرف آب از شرایط متغیرهای آب و هوایی و پارامترهای اقلیمی مثل درجه حرارت و رطوبت هوا و خاک متأثر است. بنابراین، تمام داده‌های مورد نیاز پژوهش در مقیاس ۵ پهنه اقلیمی زیر که هر کدام شامل چند استان بوده، گردآوری و تمام محاسبات در سطح آن انجام شد. بدین‌منظور، از روش دومارتن اصلاح یافته استفاده شد و ایران به ۵ پهنه‌ی اقلیمی تقسیم گردید:

اقلیم فراخشک شامل استان‌های خراسان جنوبی، قم، یزد، کرمان، هرمزگان، سیستان و بلوچستان است. اقلیم خشک بیابانی شامل استان‌های خراسان رضوی، مرکزی، سمنان، اصفهان، خوزستان، فارس، بوشهر است. اقلیم نیمه خشک شامل استان‌های تهران، قزوین، زنجان، آذربایجان شرقی، کرمانشاه، همدان، ایلام می‌باشد. اقلیم مدیترانه‌ای شامل استان‌های خراسان شمالی، اردبیل، آذربایجان غربی، کردستان، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد و البرز است و در نهایت، اقلیم مرطوب شامل استان‌های گیلان، مازندران، گلستان می‌باشد.

براساس آمارنامه کشاورزی منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی برای سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و بر اساس سالنامه آماری منتشر شده توسط مرکز آمار ایران برای سال ۱۳۹۷؛ میزان کل سطوح زیر کشت محصولات زراعی آبی و دیم در کشور حدود ۵/۹ و ۵/۱۸ میلیون هکتار است. سهم پهنه‌های فراخشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب از این میزان سطح زیر کشت آبی به‌ترتیب ۱۰/۷۱، ۳۷،

1. Water Self-Sufficiency
2. Crop Water Productivit

۱۹/۳۷، ۱۷/۱۸ و ۱۵/۷۳ درصد است و سهم پهنه‌های ۵ گانه از سطوح زیر کشت دیم نیز به‌ترتیب ۰/۰۴، ۹/۶، ۴۱/۳۹، ۴۰/۲۶ و ۸/۷ درصد می‌باشد. همچنین سهم این پهنه‌ها از جمعیت کشور به‌ترتیب ۱۳/۸۴، ۳۰/۵۶، ۲۹/۶۵، ۱۶/۴۲ و ۹/۵۳ درصد است.

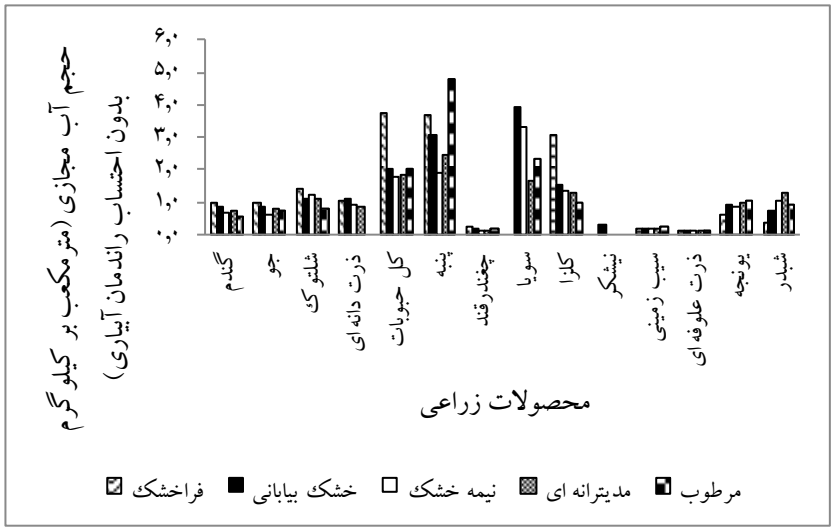
حدود ۳۳ درصد از کل سطوح زیر کشت محصولات آبی به کشت گندم در کشور اختصاص دارد که سهم پهنه‌های ۵ گانه از کل سطح زیر کشت گندم آبی به‌ترتیب ۷/۹، ۴۲/۸، ۲۱/۲، ۱۸/۴ و ۹/۵ درصد است.

در پهنه‌های فراخشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای بیشترین سطح زیرکشت آبی به گندم اختصاص دارد ولی در پهنه‌ی مرطوب بیشترین سطوح زیر کشت آبی به کشت شلتوک (۵۳/۴ درصد) و پس از آن به گندم (۱۹/۹ درصد) تعلق دارد. کمترین سطح زیرکشت محصولات زراعی آبی در کشور نیز اختصاص به شبدر و سویا دارد.

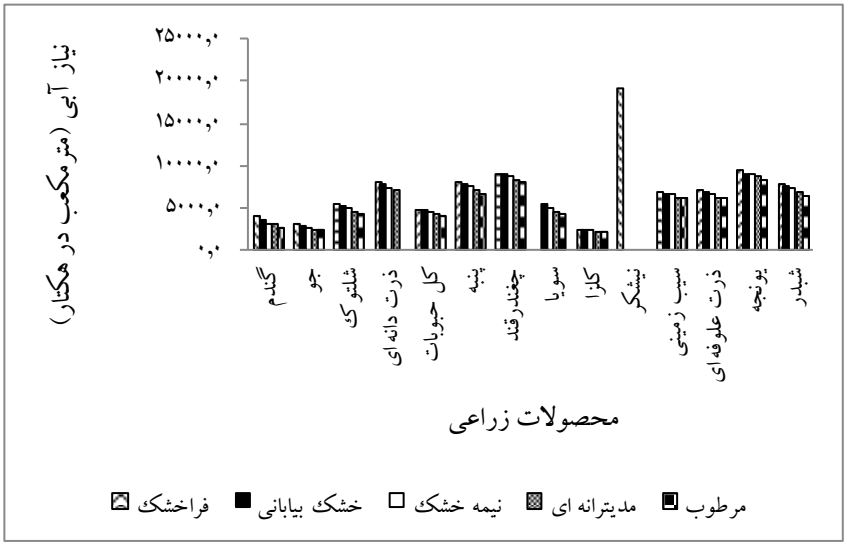
بر اساس مطالعه‌ی انجام شده توسط Abbasi et al در سال ۱۳۹۴ که در راستای تعیین راندمان‌های آبیاری توسط موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی برای استان‌های ایران انجام شده است؛ متوسط راندمان آبیاری در پهنه‌های اقلیمی فراخشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب و ایران به ترتیب ۳۶، ۴۱، ۴۷، ۵۲، ۵۵ و ۴۸ درصد در نظر گرفته شد (Abbasi et al., 2016).

در ادامه ابتدا نیاز آبی محصولات زراعی در هر یک از دشت‌های ایران با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT محاسبه گردید. سپس، نیاز آبی هر استان با استفاده از نیاز آبی دشت‌های آن استان، محاسبه شد. با توجه به اینکه هر پهنه‌ی اقلیمی شامل تعدادی استان می‌باشد، با استفاده از نیاز آبی استان‌ها، نیاز آبی محصولات زراعی در هر پهنه‌ی اقلیمی محاسبه گردید. نتایج حاصل از محاسبات آب مجازی محصولات زراعی برای ۵ پهنه اقلیمی در نمودار (۱) آمده است:

آب مجازی محصولات متأثر از نیاز آبی و عملکرد محصول است که تحت شرایط اقلیمی مختلف، متفاوت می‌باشد. با توجه به نمودارهای شماره (۱) و (۲) می‌توان گفت در پهنه‌ی فراخشک تولید یک کیلوگرم حبوبات نیازمند حجم بیشتری از آب نسبت به سایر محصولات موجود در الگوی کشت است. بعد از آن به ترتیب محصولات پنبه، سویا، کلزا و شلتوک، حجم بیشتری از آب را مصرف می‌کنند. در پهنه‌ی خشک بیابانی محصولاتی مانند سویا، پنبه، حبوبات، کلزا، شلتوک و ذرت دانه‌ای نسبت به بقیه محصولات در این پهنه به حجم بیشتری از آب برای هر واحد تولید نیازمند می‌باشند. محصولات پرمصرف‌تر در پهنه‌ی نیمه‌خشک نیز به ترتیب عبارتند از: سویا، پنبه، حبوبات، کلزا و شلتوک. در پهنه‌ی مدیترانه‌ای نیز تولید هر واحد از محصولاتی مانند پنبه، حبوبات، سویا، کلزا، شبدر و شلتوک به ترتیب نیاز به مصرف حجم بیشتری از آب نسبت به تولید سایر محصولات دارد. در پهنه‌ی مرطوب، بیشترین حجم آب به‌ترتیب برای تولید یک واحد پنبه، سویا، حبوبات و یونجه مصرف می‌شود.



نمودار ۱- میزان آب مجازی محصولات زراعی در اقلیم‌های مختلف (مترمکعب بر کیلوگرم)
مأخذ: یافته‌های تحقیق و و سازمان جهاد کشاورزی استان‌ها



نمودار ۲- نیاز آبی محصولات زراعی در پهنه‌های اقلیمی مختلف (مترمکعب در هکتار)
مأخذ: یافته‌های پژوهش

همچنین، تولید یک کیلوگرم شلتوک کشت شده در پهنه‌ی مرطوب نسبت به سایر پهنه‌ها نیازمند حجم کمتری از آب می‌باشد. به‌عبارتی، بهره‌وری آب در تولید شلتوک برای پهنه‌ی مرطوب بیشتر از سایر پهنه‌ها می‌باشد. محصول گندم در پهنه‌ی فراخشک به نسبت سایر پهنه‌ها، پرمصرف‌تر است. زیرا بیشترین نیاز آبی و کمترین بازده تولید گندم، متعلق به این پهنه می‌باشد. محصول پنبه نه تنها در بین محصولات زراعی کشت شده در اقلیم مرطوب بلکه نسبت به تمام محصولات زراعی موجود در الگوی کشت ۵ پهنه، یک محصول آب‌بر است زیرا عملکرد پنبه پایین‌ترین عملکرد نسبت به تمام محصولات موجود در الگوی کشت پهنه‌ی مرطوب و حتی پایین‌ترین عملکرد (پس از کلزا در پهنه‌ی فراخشک) در بین محصولات زراعی در تمام پهنه‌ها را دارد.

کلزا در تمامی پهنه‌ها، یک محصول با نیاز آبی کم می‌باشد ولی به‌علت عملکرد بسیار ضعیف آن در تمام پهنه‌ها، بخصوص در پهنه‌ی فراخشک، یکی از

پرمصرف‌ترین محصولات است. در مقابل، محصولاتی مانند ذرت‌علوفه‌ای، چغندرقند، سیب‌زمینی و نیشکر با وجود نیاز آبی بالایی که دارند، جزو محصولات کم‌مصرف به حساب می‌آیند زیرا بازده تولید بسیار خوبی دارند.

از حاصلضرب عملکرد در قیمت سر مزرعه، درآمد ناخالص هر هکتار محصول زراعی کشت شده در هر پهنه محاسبه گردید.

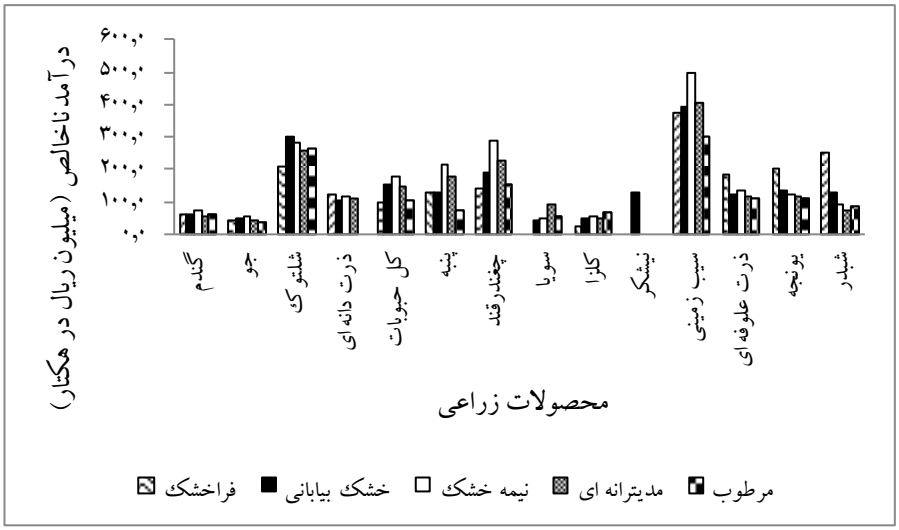
با توجه به نمودارهای شماره (۱) و (۳) می‌توان گفت: محصولات سیب زمینی، ذرت علوفه‌ای و چغندرقند در تمامی اقلیم‌ها محصولاتی کم‌آب با درآمد ناخالص قابل توجه درهر هکتار می‌باشند. قیمت هر کیلوگرم سیب‌زمینی در پهنه‌ی مرطوب کمی گران‌تر از سایر پهنه‌ها می‌باشد ولی درآمد ناخالص حاصل از هر هکتار سطح زیر کشت سیب‌زمینی در این پهنه کمتر از سایر پهنه‌ها است که این به علت عملکرد بسیار ضعیف سیب‌زمینی در این پهنه می‌باشد.

محصول سویا در تمام پهنه‌های کشت شده، یک محصول آب‌بر با درآمد ناخالص کم می‌باشد زیرا بازده‌ی تولید ضعیفی دارد.

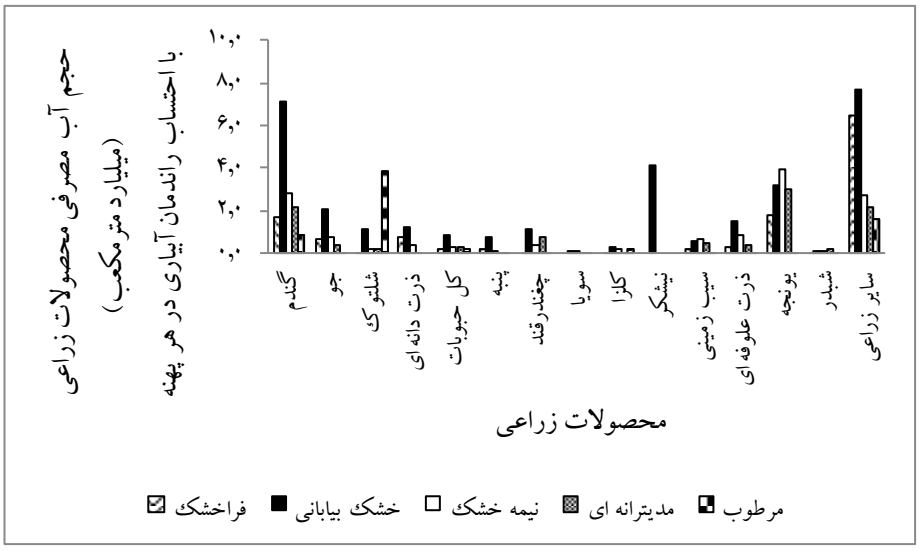
پنبه نیز در پهنه‌ی مرطوب یک محصول آب‌بر با درآمد ناخالص بسیار کم است.

در پهنه‌ی فراخشک؛ محصولاتی مانند حبوبات، پنبه و کلزا محصولاتی آب‌بر با درآمد ناخالص کم هستند زیرا بازده‌ی تولید کمتری نسبت به سایر پهنه‌ها دارند ولی شبدر و یونجه در این پهنه نسبت به سایر پهنه‌ها؛ محصولاتی کم‌آب با درآمد ناخالص بیشتر هستند زیرا بازده تولید این دو محصول در پهنه‌ی فراخشک تفاوت بسیار زیادی با بازده تولید آن‌ها در سایر پهنه دارد.

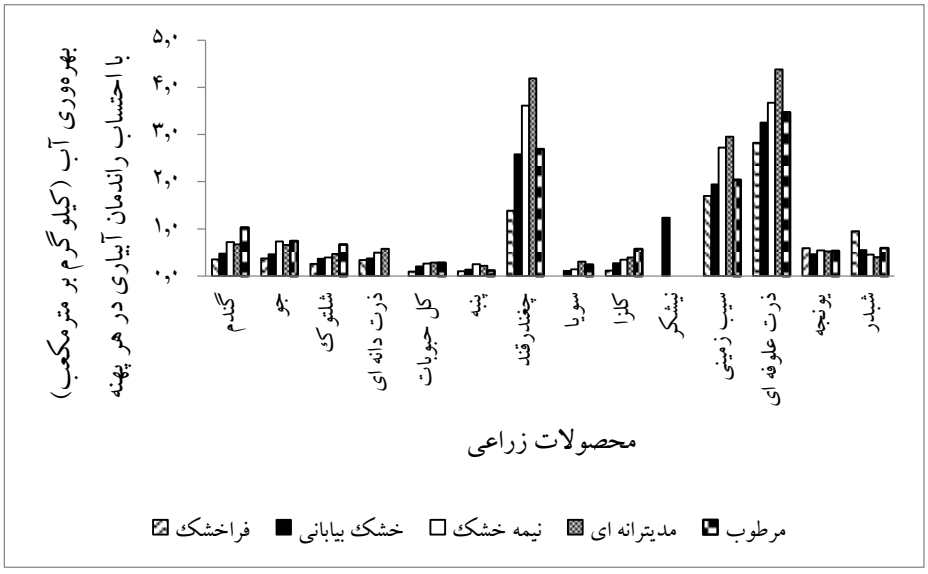
هرچه میزان تولید محصول به ازای آب مصرفی بیشتر باشد، بهره‌وری آب بالاتر است. با توجه به نمودارهای (۱) و (۵)؛ چغندرقند، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای محصولات کم‌مصرف با بهره‌وری آب بالا هستند.



نمودار ۳- درامد ناخالص حاصل از هر هکتار محصول زراعی در پهنه‌های اقلیمی مختلف (میلیون ریال در هکتار)
مأخذ: محاسبات پژوهش



نمودار ۴- حجم آب مصرفی محصولات زراعی در اقلیم‌های مختلف (میلیارد مترمکعب)
مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی و محاسبات تحقیق



نمودار ۵- بهره‌وری آب محصولات زراعی در اقلیم‌های مختلف (کیلوگرم بر مترمکعب)
سازمان جهاد کشاورزی و محاسبات تحقیق

حجم آب مصرفی توسط بخش زراعت در سال زراعی ۹۶-۹۷، حدود ۷۵/۳ میلیارد مترمکعب است. با توجه به نمودار (۴) بیشترین سهم از مصرف آب در این بخش به اقلیم خشک بیابانی تعلق دارد و پس از آن، به‌ترتیب اقلیم‌های نیمه‌خشک، فراخشک، مدیترانه‌ای و مرطوب قرار دارند. این درحالی‌است که بالاترین بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی به پهنه‌ی مدیترانه‌ای تعلق دارد (۱/۱۵ کیلوگرم به ازای هر واحد آب مصرفی). پس از آن، بالاترین بهره‌وری آب محصولات زراعی مربوط به پهنه‌های نیمه‌خشک، خشک بیابانی، فراخشک و مرطوب می‌باشد. پس پهنه‌ی خشک بیابانی با وجود اینکه بیشترین سطح

زیر کشت آبی (۳۷ درصد) و میزان آب را در اختیار دارد، نتوانسته است در تولید محصولات زراعی مانند پهنه‌ی مدیترانه‌ای موفق عمل نماید. این مسأله نشان می‌دهد که ترکیب محصولات در الگوی کشت کنونیِ برای پهنه‌ی خشک بیابانی مناسب نیست. به‌عنوان مثال: بر طبق نمودار (۱)؛ تولید یک کیلوگرم گندم در پهنه‌ی خشک بیابانی نسبت به پهنه‌های نیمه خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب نیاز به آب بیشتری دارد. یا به عبارتی مصرف یک مترمکعب آب برای تولید گندم در پهنه‌ی خشک بیابانی نسبت به پهنه‌های یاد شده، گندم کمتری تولید می‌کند. در حالی‌که در نمودار شماره (۴)؛ پهنه‌ی خشک بیابانی درصد بسیار زیادی از آب خود را صرف تولید گندم کرده است. پس اگر در پهنه‌ی خشک بیابانی و حتی در سایر پهنه‌ها، تخصیص آب به محصول بر اساس بهره‌وری آب در تولید آن محصول صورت گیرد، می‌توان در هر پهنه با مصرف هر واحد آب مشخص به تولید بیشتری دست پیدا کرد.

در صورت واردات خالص آب مجازی به یک پهنه، باید این حجم آب مجازی به کل آب مصرفی بخش زراعت در داخل هر پهنه اضافه گردد تا تصویر واقع بینانه‌تری از یک پهنه در مورد تخصیص منابع آب کشور به‌دست آید. در این راستا؛ شاخص رد پای آب و به دنبال آن ضرایب خودکفایی، شدت مصرف آب، وابستگی به آب و سرانه‌ی ردپای آب محاسبه در جدول (۱) آمده شده است.

لازم به ذکر است در محاسبه‌ی خالص واردات آب مجازی، میزان آب مجازی محصولات فرآوری شده با استفاده از ضریب تبدیل به معادل میزان آب مجازی محصولات خام اولیه تبدیل شده است.

جدول ۱- مقادیر جمعیت، ردپای آب اقلیم و به ازای هر نفر (WF)، مصرف آب زراعت (WU)، خودکفایی آب (WSS)، وابستگی به آب (WD)، حجم کل بهره‌برداری از منابع آب (WA)، واردات خالص آب مجازی (NVWI)، شدت مصرف آب (WS) در بخش زراعت در اقلیم‌های مختلف

نام اقلیم	جمعیت (نفر)	WF (m^3/cap/yr)	WF (BCM/yr)	WU (BCM)*	WSS (%)	WD (%)	WA (BCM)*	NVWI (BCM)*	WS (%)
فراخشک	۱۱۳۶۱۰۰۰	۱۶۱۱/۹۷	۱۸۳۱۳/۶۱	۱۲۵۰۲/۹	۶۸/۲۷	۳۱/۷۲	۱۹۲۶۶/۱	۵۸۱۰/۷۰	۶۴/۸۹
خشک بی‌ابانی	۲۵۰۹۰۰۰۰	۱۲۲۸/۰۹	۳۰۸۱۲/۸۴	۳۱۶۲۲/۵۵	۱۰۰	۰	۳۵۹۲۱/۷۸	-۸۰۹/۷۱	۸۸/۰۳
نی‌مه خشک	۲۴۳۴۳۰۰۰	۶۶۵/۸۳	۱۶۲۰۸/۳۶	۱۳۲۸۷/۰۱	۸۱/۹۷	۱۸/۰۲	۲۱۰۲۷	۲۹۲۱/۳۵	۶۳/۱۹
مدی‌ترانه‌ای	۱۳۴۷۳۰۰۰	۸۸۴/۰۱	۱۱۹۱۰/۲۷	۱۰۵۸۹/۲۳	۸۸/۹۰	۱۱/۰۹	۲۵۸۲۱/۳۳	۱۳۲۱/۰۳	۴۱/۰۱
مرطوب	۷۸۱۷۰۰۰	۶۰۰/۲۱	۴۶۹۱/۸۷	۷۳۳۷/۶۳	۱۰۰	۰	۱۳۰۱۳/۰۴	-۲۶۴۵/۷۶	۵۶/۳۸
ای‌ران	۸۲۰۸۴۰۰۰	۹۹۸/۲۰	۸۱۹۳۶/۹۵	۷۵۳۳۹/۳۳	۹۱/۹۴	۸/۰۵	۱۱۵۰۴۹/۲۵	۶۵۹۷/۶۲	۶۵/۴۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق، آمارنامه وزرات جهاد کشاورزی- سال زراعی ۹۶-۹۷، مرکز آمار ایران سال ۱۳۹۷

* در فرهنگ اوزان و مقادیر علمی و علمی بین المللی به معنای میلیون مترمکعب است.

خالص واردات آب مجازی برای هر پهنه نشان می‌دهد که پهنه‌های خشک بیابانی و مرطوب، صادرکننده‌ی آب مجازی به خارج از پهنه هستند و در مقابل پهنه‌های فراخشک، نیمه خشک و مدیترانه‌ای، واردکننده‌ی آب مجازی به پهنه می‌باشند. لازم به ذکر است که بیشترین واردات آب مجازی به اقلیم فراخشک بعنوان یک پهنه‌ی واردکننده‌ی آب مجازی؛ از طریق محصولاتی مانند گندم، جو، شلتوک، حبوبات، چغندرقند، سویا و نیشکر می‌باشد، زیرا کمترین سهم از تولید این محصولات در کشور به اقلیم فراخشک تعلق دارد. سهم این اقلیم از کل تولید محصولات مذکور در کشور به‌ترتیب ۴/۵، ۷/۷، ۰/۱۲، ۲/۲، ۰/۳، ۰، ۰ درصد است. همچنین، بیشترین صادرات آب مجازی از اقلیم مرطوب به خارج از اقلیم، از طریق محصولاتی مانند شلتوک و شبدر است؛ زیرا این اقلیم بیشترین سهم از کل تولید این دو محصول در کشور را به خود اختصاص داده است. سهم این اقلیم از کل تولید محصولات مذکور در کشور به‌ترتیب ۸۱/۷ و ۵۶/۲ درصد است.

شاخص ردپای آب کشور در بخش زراعت ۸۱/۹ میلیارد مترمکعب برای سال ۹۷ تخمین زده شده است که به ازای هر نفر در اقلیم‌های فراخشک، خشک بیابانی، نیمه خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب و ایران به ترتیب ۱۶۱۱/۹، ۱۲۲۸، ۶۶۵/۸، ۸۸۴، ۶۰۰/۲ و ۹۹۸/۲ مترمکعب در سال است. وابستگی ایران به‌عنوان یک کشور واردکننده آب مجازی به منابع آب خارجی ۸/۰۵ درصد است و حدود ۹۱/۹۴ درصد در تامین محصولات زراعی مورد نیاز خودکفا است. وابستگی اقلیم‌های فراخشک، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای به منابع آب خارجی به‌ترتیب ۳۱/۷۲، ۱۸/۰۲ و ۱۱/۰۹ درصد است. همچنین، اقلیم‌های خشک بیابانی و مرطوب هیچ وابستگی به منابع آب خارج از پهنه ندارند. به عبارتی اقلیم‌های فراخشک، خشک بیابانی، نیمه خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب در تولید محصولات زراعی مورد نیاز جمعیت خود، به ترتیب ۶۸/۲۷، ۱۰۰، ۸۱/۹۷، ۸۸/۹ و ۱۰۰ درصد خودکفا هستند. این ارقام تحت تاثیر هر اقلیم، الگوی کشت در سال ۹۷ و راندمان آبیاری در هر اقلیم می‌باشند.

امنیت غذایی و شکاف مطلوب غذایی

برای رسیدن به امنیت‌غذایی نیاز است که الگوی غذایی طراحی شود. الگوی غذایی مطلوب ارایه شده توسط وزارت بهداشت که بر اساس هرم غذایی مطلوب ارایه شده است؛ تنها ۵ محصول مستقیماً مربوط به بخش زراعت است و سایر محصولات موجود در هرم غذایی مطلوب مربوط به سایر زیربخش‌های کشاورزی و منابع‌طبیعی است.

میزان مصرف مطلوب محصولات زراعی مورد نیاز بر حسب الگوی مطلوب وزارت بهداشت سال ۱۴۱۰ به ازای هرنفر در سال محاسبه گردیده است و این میزان مصرف از محصولات زراعی، همان میزان لازم جهت رسیدن آن فرد به امنیت‌غذایی در محصولات مذکور است. شکاف مطلوب آب مجازی نیز از تفاوت بین دو مورد آب مجازی به‌دست می‌آید. مورد اول؛ آب مجازی مربوط به محصولات زراعی مورد نیاز جهت نیل به امنیت غذایی در اقلیم و مورد دوم؛ آب مجازی مربوط به محصولات زراعی تولید شده در سال ۹۷ در اقلیم مذکور است.

در تمامی تحلیل‌های زیر بر اساس الگوی مطلوب وزرات بهداشت و با درنظرگرفتن راندمان ۱۰۰ درصد، عدم وجود آفات، بیماری و تنش بیان شده‌اند. سپس، راندمان واقعی متناسب با هر اقلیم (فراخشک، خشک بیابانی، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب به ترتیب ۳۶، ۴۱، ۴۷، ۵۲ و ۵۵ درصد) لحاظ می‌گردد. بر طبق جداول (۲) و (۳) می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

بر طبق آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۹۷ و سالنامه‌ی آماری مرکز آمار ایران؛ سهم پهنه‌ی فراخشک از تولید گندم، شلتوک، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات کشور به ترتیب ۴/۵، ۰/۱۲، ۲/۲، ۸/۱۷ و ۲۰/۶ درصد است. همچنین، این پهنه ۱۳/۸ درصد از جمعیت کشور را در بر می‌گیرد. بر اساس جداول (۲) و (۳)؛ بررسی بعد کمی امنیت غذایی (خودکفایی) در اقلیم فراخشک نشان می‌دهد که تولید گندم، برنج و حبوبات کشت شده در اقلیم فراخشک پاسخگوی مصرف مطلوب افراد در اقلیم نیست. ولی ۱۲۹/۹ هزار تن سیب‌زمینی و ۲۰۸۴/۶ هزار تن سبزیجات مازاد بر بعد کمی امنیت غذایی افراد در این اقلیم کشت می‌شود. در حالت ایده آل و راندمان آب ۱۰۰ درصد؛ اگر بخواهیم افراد در اقلیم فراخشک به بعد کمی امنیت غذایی در هر ۵ محصول برسند، جمعاً حجمی معادل ۱/۴۱۹ میلیارد مترمکعب آب مجازی بیش از حجم آب مجازی مصرفی در سال ۹۷ نیاز است. در شرایط واقعی و راندمان آبیاری ۳۶ درصد، می‌توان گفت اقلیم فراخشک برای رسیدن به امنیت غذایی جمعیت ۱۱۳۶۱۰۰۰ نفری خود در ۵ محصول فوق، نیاز به تامین کسری آب مجازی به میزان حدوداً ۳/۹۴ میلیارد مترمکعب دارد.

سهم اقلیم خشک بیابانی از جمعیت و تولید محصولات گندم، شلتوک، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات در ایران به‌ترتیب؛ ۳۰/۵۶ درصد و ۲۷/۹، ۱۳/۷، ۲۳/۸، ۲۱/۶ و ۴۰/۳ درصد است. بر طبق جداول (۲) و (۳)؛ در این اقلیم به میزان ۶۹۳/۵ هزار تن گندم، ۴۶۹/۸ هزار تن سیب‌زمینی و ۴۴۷۴/۸ هزار تن سبزیجات مازاد بر بعد کمی امنیت غذایی افراد در این اقلیم کشت می‌شود. در حالی‌که در تأمین بعد کمی امنیت غذایی ساکنین خود در مورد محصولات برنج و حبوبات موفق عمل نکرده است و این دو محصول در

جدول ۳- شکاف مطلوب غذایی (تن)

محصول	الگوی مطلوب وزارت بهداشت(سال ۱۴۱۰) (گرم/نفر/روز)	اقلیم فراخشک	اقلیم خشک بی‌بابانی	اقلیم نیمه خشک	اقلیم مدیترانه‌ای	اقلیم مرطوب
گندم	۳۳۰	۷۵۷۳۲۸/۵	-۶۹۳۵۶۲	-۱۰۱۵۵۳۲	-۱۸۷۱۶۰۴	-۵۸۹۶۱۲
برنج	۹۵	۳۸۹۹۸۷/۷	۴۴۴۰۱۹/۸	۷۸۴۸۹۱/۵	۳۸۹۲۸۰/۳	-۲۲۶۸۲۹۶
حبوبات	۲۶	۹۱۱۱۸/۹	۵۹۳۷۲/۱	۲۱۸۵۴/۱	-۱۶۱۷۹۷	۲۰۴۰۷/۳
سیب‌زمینی	۷۰	-۱۲۹۹۴۳	-۴۶۹۸۹۲	-۱۲۶۶۸۰۷	-۱۱۷۷۵۲۳	-۱۴۷۸/۶
سبزی‌ها	۳۰۰	-۲۰۸۴۶۸۰	-۴۴۷۴۸۷۸	-۲۱۲۴۹۳۳	-۱۹۸۲۷۷۰	-۳۳۰۶۸۵

مأخذ: آمار از طرح امنیت غذایی کشور - تدوین ۱۳۹۱و محاسبات تحقیق

اقلیم با کمبود تولیدات داخلی مواجه هستند. در راندمان آب ۱۰۰ درصد؛ اگر بخواهیم افراد در اقلیم خشک بیابانی به بعد کمی امنیت غذایی در این ۵ محصول برسند نه تنها مصرف آب زیاد نمی‌شود بلکه جمعاً حجمی معادل ۵۰۱/۲ میلیون مترمکعب آب مجازی کمتر از حجم آب مجازی مصرفی در سال ۹۷ نیاز است ولی در شرایط واقعی با راندمان آبیاری ۴۱ درصد؛ این اقلیم می‌تواند ضمن رساندن افراد خود به امنیت غذایی به میزان ۱/۲۲ میلیارد مترمکعب آب کمتر مصرف نماید.

حدود ۲۹/۶۵ درصد از جمعیت ایران در اقلیم نیمه‌خشک ساکن می‌باشند، سهم این اقلیم در تولید محصولات گندم، شلتوک، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات در سال زراعی ۹۶-۹۷ به‌ترتیب ۲۹/۶، ۱/۹، ۲۷/۹، ۳۶/۷ و ۱۹/۹۶ درصد است. بررسی بعد کمی امنیت غذایی (خودکفایی) در این اقلیم بر طبق جداول (۲) و (۳) نشان می‌دهد که به میزان ۱۰۱۵/۵ هزار تن گندم، ۱۲۶۶/۸ هزار تن سیب‌زمینی و ۲۱۲۴/۹ هزار تن سبزیجات مازاد بر بعد کمی امنیت غذایی افراد در این اقلیم کشت می‌شود ولی میزان برنج و حبوبات کشت شده در اقلیم نیمه‌خشک پاسخگوی مصرف مطلوب افراد اقلیم نیست. در ایده‌آل‌ترین حالت و با راندمان آب ۱۰۰ درصد در سال ۹۷، اقلیم نیمه خشک می‌تواند ضمن رساندن افراد خود به بُعد کمی امنیت غذایی؛ جمعاً ۳۱۱/۳ میلیون مترمکعب آب مجازی کمتر از حجم آب مجازی در سال زراعی ۹۷-۹۶ مصرف نماید. به‌عبارتی، در حالت واقع‌بینانه؛ با راندمان آب ۴۷ درصد در اقلیم نیمه خشک؛ این اقلیم می‌تواند ضمن ایجاد خودکفایی برای ساکنین خود در ۵ محصول فوق؛ ۶۶۲/۳ میلیون مترمکعب آب نیز کمتر مصرف نماید.

بر طبق آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۹۷ و سالنامه‌ی آماری مرکز آمار ایران؛ سهم پهنه‌ی مدیترانه‌ای از جمعیت و تولید محصولات گندم، شلتوک، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات کشور به ترتیب ۱۶/۴ درصد و ۲۶/۲، ۲/۵، ۳۸/۷، ۲۹/۵ و ۱۰/۹ درصد است. در اقلیم مدیترانه‌ای میزان تولید گندم، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات بیشتر از سطح مصرف مطلوب این افراد جهت نیل به امنیت غذایی می‌باشد ولی میزان برنج کشت شده در اقلیم مدیترانه‌ای پاسخگوی مصرف مطلوب افراد در اقلیم نیست. اگر بخواهیم افراد در اقلیم مدیترانه‌ای به بعد کمی امنیت‌غذایی برسند جمعاً حجمی معادل ۱/۷۶۰ میلیارد مترمکعب آب مجازی کمتر از حجم آب مجازی مصرفی در سال زراعی ۹۷-۹۶ نیاز است. با راندمان آب ۵۲ درصد در این اقلیم، می‌توان ضمن تامین امنیت غذایی ساکنین در ۵ محصول فوق، حجم آبی معادل ۳/۳۸۴ میلیارد مترمکعب کمتر مصرف نمود.

بر طبق آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۹۷؛ پهنه‌ی مرطوب توانسته است به‌ترتیب ۱۱/۵، ۸۱/۷، ۷/۱۸، ۳/۹ و ۷/۱۲ درصد از تولید محصولات گندم، شلتوک، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات کشور را تأمین نماید. در حالی‌که کمترین درصد از جمعیت کشور (۹/۵ درصد) را در بر دارد. بر اساس الگوی مطلوب وزارت بهداشت در مورد امنیت غذایی افراد در اقلیم مرطوب می‌توان اینگونه بیان کرد که میزان تولید گندم، برنج، سیب‌زمینی و سبزیجات بیشتر از سطح مصرف

مطلوب این افراد جهت نیل به بعد کمی امنیت غذایی می‌باشد. ولی افراد اقلیم برای رسیدن به امنیت غذایی در حبوبات به میزان ۲۰/۴ هزار تن کمبود تولیدات داخلی دارند. اگر بخواهیم افراد در اقلیم مرطوب در تمام ۵ محصول به امنیت غذایی برسند، جمعاً حجمی معادل ۲/۱۹۷ میلیارد مترمکعب آب مجازی کمتر از حجم آب مجازی مصرفی در سال زراعی ۹۷-۹۶ نیاز است. با لحاظ نمودن راندمان آب ۵۵ درصد؛ این اقلیم نیز ضمن تامین امنیت غذایی ساکنین در ۵ محصول فوق، می‌تواند حجم آبی معادل ۳/۹۹ میلیارد مترمکعب کمتر مصرف نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، به بررسی ارتباط بین بعد کمی امنیت غذایی با امنیت آب در اقلیم‌های مختلف پرداخته شده است. با بررسی شکاف مطلوب غذایی در محصولات گندم، برنج، حبوبات، سیب‌زمینی و سبزیجات، مشخص شد که اقلیم فراخشک برای رسیدن به بُعد کمی امنیت غذایی جمعیت خود، نیاز به تامین کسری آب مجازی به میزان ۳/۹۴ میلیارد مترمکعب دارد. به عبارتی دیگر؛ اقلیم فراخشک جهت پر کردن شکاف مطلوب غذایی در محصولاتی مانند برنج، گندم و حبوبات نیاز به مقدار بیشتری از این محصولات دارد و برای رسیدن به مقدار مطلوب، تنها دو راه پیش رو دارد. ۱-افزایش تولید گندم، حبوبات و برنج در داخل اقلیم که همان "تحقق بعد کمی امنیت غذایی (خودکفا شدن)" می‌باشد. بر طبق نتایج؛ گندم حبوبات و برنج در این پهنه به نسبت سایر پهنه‌ها جزو محصولات آب‌بر با بهره‌وری آب پایین به حساب می‌آیند. پس افزایش تولید آن‌ها در داخل اقلیم؛ بر شدت فشار بر منابع داخلی اقلیم می‌افزاید. ۲- تأمین مقدار مطلوب از طریق واردات آن‌ها از سایر پهنه‌های اقلیمی به این پهنه. با واردات آب مجازی ناشی از این محصولات، از شدت فشار بر منابع آب داخلی اقلیم کاسته می‌شود ولی باعث عدم خودکفایی پهنه در این محصولات می‌گردد. این نشان از تناقض بین امنیت آب و بعد کمی امنیت غذایی دارد. در نهایت، با توجه به وضعیت اقلیمی و متوسط بارندگی در این اقلیم، واردات آب مجازی به اقلیم فراخشک یک ضعف به حساب نمی‌آید.

اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب نیز می‌توانند ضمن رساندن جمعیت خود به امنیت غذایی در ۵ محصول یاد شده، به ترتیب به حجم ۱/۲۲، ۰/۶۶۲، ۳/۳۸ و ۳/۹۹ میلیارد مترمکعب آب کمتر مصرف نمایند.

از آنجا که پهنه‌ها موظف می‌باشند ضمن توجه به مصرف آب؛ اهداف کمی امنیت‌غذایی محصولات مختلف در کشور را نیز تأمین نمایند، لازم است یکسری از پهنه‌ها مازاد بر بعد کمی امنیت‌غذایی ساکنین خود تولید داشته باشند و آن محصول را به سایر پهنه‌ها به شکل صادرات آب مجازی، وارد کنند. با توجه به شرایط بارندگی در کشور و بالا بودن مصرف آب در بخش زراعت، در صورتی صادرات آب مجازی از یک اقلیم منطقی می‌باشد که در آن محصول یا محصولات، نسبت به دیگر اقلیم‌ها دارای بهره‌وری آب بالاتر باشد و آن محصول یا محصولات در اقلیم صادرکننده جزو محصولات کم‌آب‌تر به حساب آیند.

گندم در اقلیم‌های فراخشک و خشک بیابانی؛ عملکرد ضعیف‌تر، مصرف آب بالاتر و بهره‌وری آب پایین‌تر نسبت به سایر پهنه‌ها دارد. در حال حاضر سهم این دو اقلیم از کل تولید گندم در کشور حدود ۴/۵ و ۲۷/۹ درصد است. بهتر است گندم در این دو اقلیم هرگز مازاد بر نیاز امنیت غذایی جمعیت در این اقلیم‌ها کشت نشود. ولی اقلیم‌های نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب می‌توانند از طریق گندم مازاد بر نیاز امنیت غذایی افراد اقلیم خود، صادرات آب مجازی به خارج از پهنه داشته باشند.

در سال زراعی ۹۷-۹۶ به میزان حدود ۳/۱ میلیون تن شلتوک تولید شده است که سهم پهنه‌های فراخشک، خشک بیابانی، نیمه خشک، مدیترانه‌ای و مرطوب از آن ۰/۱۲، ۱۳/۷، ۱/۹، ۲/۵ و ۸۱/۷ درصد است. یعنی مجموع سایر پهنه‌ها (به‌جز پهنه‌ی مرطوب) ، ۱۸/۲ درصد از کل تولید شلتوک کشور را تامین کرده‌اند. اگر ترکیب کشت محصولات زراعی در پهنه‌ها بر اساس بهره‌وری آب تدوین گردد؛ پهنه‌ی مرطوب توانایی تامین ۱۸ درصد تولید مازاد را دارد. ولی از آنجا که محدودیت زمین زراعی دارد. می‌تواند سطوح اختصاص یافته به کشت پنبه و مقداری از سطح زیر

کشت سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای را به کشت شلتوک اختصاص دهد. زیرا این محصولات در این پهنه، "کمترین بهره‌وری آب" نسبت به سایر پهنه‌ها را دارند. علاوه بر آن پنبه در الگوی کشت پهنه‌ی مرطوب، نسبت به تمام محصولات موجود در الگوی کشت نیز بهره‌وری آب کمتری دارد. با این حال؛ توصیه می‌شود که تولید برنج در پهنه‌های فراخشک، خشک بیابانی و نیمه‌خشک به صفر برسد و درصد بالایی از نیاز برنج کشور از طریق پهنه‌ی مرطوب و درصد بسیار کمی نیز از طریق پهنه‌ی مدیترانه‌ای تامین شود.

در پهنه‌ی مرطوب، تولید سیب‌زمینی بیشتر از مصرف مطلوب افراد می‌باشد؛ در حالیکه سیب زمینی در این پهنه نسبت به سایر پهنه‌ها نه تنها عملکرد پایین‌تر بلکه بهره‌وری آب پایین‌تری نیز دارد. این پهنه بهتر است مازاد بر نیاز مطلوب افراد اقلیم خود سیب‌زمینی تولید نکند و سهم بیشتری از تامین نیاز کشور را بر عهده‌ی پهنه‌ی خشک بیابانی بگذارد زیرا تولید سیب‌زمینی در آن پهنه، هم عملکرد بالاتر و هم بهره‌وری آب بالاتری نسبت به سایر پهنه‌ها دارد.

در مورد اقلیم فراخشک که بالاترین ردپای آب را دارد، توصیه می‌شود که از طریق افزایش سطح زیر کشت محصولاتی مانند یونجه و شبدر، خالص واردات آب مجازی به اقلیم را کاهش دهد؛ زیرا یونجه و شبدر در این پهنه نسبت به تمام پهنه‌ها، بهره‌وری آب بالاتر، آب مجازی کمتر و درآمد ناخالص بیشتر دارند.

با توجه به نتایج؛ جهت کاهش رد پای آب بخش زراعت در اقلیم‌های پنج‌گانه پیشنهاد می‌شود؛ ترکیب محصولات در الگوی کشت در پهنه‌های مختلف به گونه‌ای تدوین شود که هر پهنه سطح زیر کشت بیشتر را به محصولاتی با نیاز آبی کمتر و بهره‌وری آب بیشتر اختصاص دهد. در این صورت هم نیاز کشور تامین می‌گردد و هم از شدت فشار بر منابع آب در هر پهنه کاسته می‌شود.

در نهایت، بررسی رابطه‌ی بین امنیت آب و بعد کمی امنیت غذایی نشان داد که اهداف بعد کمی امنیت غذایی (ضرایب خودکفایی) با امنیت آب در تناقض می‌باشند. اگر هدف برقراری امنیت آب باشد؛ می‌توان با افزایش واردات خالص آب مجازی (در مورد محصولات آب‌بر با بهره‌وری آب پایین)، شدت فشار بر منابع آب داخلی هر پهنه را کاهش داد. ولی اگر هدف خودکفایی باشد؛ در صورت عدم تغییر در وضعیت موجود (ترکیب محصولات در الگوی کشت، میزان عملکرد و راندمان آبیاری در هر پهنه)، بر منابع آب فشار بیشتری وارد می‌شود. لذا، جهت رسیدن همزمان به اهداف ضرایب خودکفایی و امنیت آب؛ افزایش عملکرد محصولات، بهبود راندمان آبیاری، تدوین الگوی کشت مناسب و تخصیص منابع آب با توجه به بهره‌وری آب و عملکرد آن در پهنه‌ی خاص پیشنهاد می‌گردد.

REFERENCES

1. Abbasi, N. & Abbasi, F., (2020). Perspective of Water Resources and its Consumption in Iran. Karaj: Agricultural Technical and Engineering Research Institute, 2020. (In Farsi).
2. Abbasi, F., Sohrab, F., Abbasi, N., (2016). Irrigation efficiency and its temporal and spatial changes in Iran. Agricultural Technical and Engineering Research Institute. Karaj: Agricultural Technical and Engineering Research Institute, 2016. (In Farsi).
3. Allan, J.A., (1993). Priorities for water resources allocation and management. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible., ODA, London
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M., (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-*FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome, 300(9), p.D05109.
5. Aligholinia, T., Rezaei, H., Behmanesh, J. & Montaseri, M., (2017). Presentation of water Footprint concept and its evaluation in Urimia Lake Watershed agricultural crops. *Journal of Water and soil Conservation*, 27 (4), 37-48. (In Farsi).
6. Arabi Yazdi, A., Nik nia, N., Majidi, N. & Emami, H., (2014). Water Security Assessment in Arid Climates Based on Water Footprint Concept (Case study; south Khorasan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 8(4), 735-746. (In Farsi).
7. Ashktorab, N. & Zibaei, M., (2021). Water Footprint Accounting of the Main Crops in Fars Province. *Journal of Agricultural Economics Research*, 13(1), 207-234. (In Farsi).
8. Bazrafshan, O. & Gerkani Nezhad Moshizi, Z. (2019). Assessment of Water Use Efficiency and Water Footprint of Saffron Production in Iran. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 7(4), 505-519. (In Farsi).

9. Chapagain, A.K. & Tickner, D., (2012). Water footprint: help or hindrance?. *Water Alternatives*, 5(3).
10. Chouchane, H., Hoekstra, A.Y., Krol, M.S. & Mekonnen, M.M., (2015). The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological indicators*, 52, 311-319.
11. Dehghan, M., Shahidi, A., Najafi Mood, M.H. & Arabi Yazdi, A., (2019). Evaluation and Comparison of Water Footprint in Industry and Agriculture (Case Study: South Khorasan Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainag*e, 13(3), 784-797. (In Farsi).
12. Deng, S., Mou, S. & Liu, H., (2020). Research on water footprint of main crops production in Baoding, China. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 545(1).
13. Graham, N.T., Hejazi, M.I., Kim, S.H., Davies, E.G., Edmonds, J.A. & Miralles-Wilhelm, F., (2020). Future changes in the trading of virtual water. Nature Communications, 11(1), 1-7.
14. Hoekstra, A.Y. & Chapagain, A.K., (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. In Integrated assessment of water resources and global change (pp. 35-48). Springer, Dordrecht.
15. 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, IHE, Delft, the Netherlands.
16. Khalili, A., (2004). Developing a new climate zoning system from the perspective of heating-cooling needs and its application in Iran. *Geographical Researches*, 19(4), 5-14.
17. Kiani, Gh. H., (2017). Study of Domestic and International Virtual Water Trade in Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 22(1): 115-125. (In Farsi).
18. Kim, I. & Kim, K.S., (2019). Estimation of water footprint for major agricultural and livestock products in Korea. *Sustainability*, 11(10).
19. Marano, R.P. & Filippi, R.A., (2015). Water Footprint in paddy rice systems. Its determination in the provinces of Santa Fe and Entre Ríos, Argentina. *Ecological Indicators*, 56, 229-236.
20. Mekonnen, M.M. & Gerbens-Leenes, W., (2020). The water footprint of global food production. *Water*, *12*(10).
21. Mohammadi, A. & Yousefi, H., (2020). Water Footprint of Bioenergy from Wheat Crop in Iran. Journal of Renewable and New Energy, Summer and Autumn 2020, 7(2), 68-72. (In Farsi).
22. Muratoglu, A., (2020). Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. *Ecological Processes*, 9(1), 1-16.
23. Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M. & Hoekstra, A.Y., (2019). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. S*cience of the Total Environment*, 653, 241-252.
24. Oveisi, F., Fattahi Ardakani, A. & Fehresti Sani, M., (2019). Investigation of virtual Water and Ecological Footprints of Water in Wheat Fields of Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 23(1), 87-99. (In Farsi).
25. Rahimipour Anaraki, M.H., Mohammadi, A., Rafieian, M., Arjmandi, R. & Karimi, Saeed., (2020). Evaluation of Virtual Water and Water Footprint of Crop Production (Case study: Qaleganj County). *Arid Regions Geographic Studies.* 11 (41): 77-92. (In Farsi).
26. Mwesa G. 2012. Agricultural Sector Model of Egypt (ASME) 2011 Version at Governorate Level with 2007 Database and Update Instructions. Ministryof Water Resources and Irrigation Planning Sector, National Water Resources Plan, Coordination Project (NWRP-CP).
27. Panella, T., Fernandez Illescas, C., Cardascia, S., van Beek, E., Guthrie, L., Hearne, D., ... & Leckie, H. (2020). Asian water development outlook 2020: advancing water security across Asia and the pacific. Asian Development Bank
28. Van Oel, P. R., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2008). The external water footprint of the Netherlands. UNESCO-IHE.
29. Wackernagel, M., Onisto, L., Linares, A.C., Falfan, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, I.S., & Guerrero, M.G.S. (1997). *Ecological footprints of nations: How much nature do they use? - How much nature do they have?* Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
30. Yousefi, H., Mohammadi, A., Noorollahi, Y. & Sadatinejad, J., (2018). Water Footprint evaluation of Tehran's Crops and Garden Crops. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(6), 67-85. (In Farsi).
31. Zarei, Gh. & Jafari, A.M., (2015). The Role of Import and Export of Major Crop Productions in Virtual Water Trade and Water Footprint in Agricultural sector of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(5), 784-797. (In Farsi).