

Estimation of Water Footprint in Current Cropping Patterns and its Reduction Capacity in Optimal Patterns under Multiple Goals Conditions (Case Study; Varamin Region)

Fereshteh Balovi¹, Abdolmajid Liaghat^{2*}, Hamed Ebrahimian³

1, PhD Student in Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

2, Professor in Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

3, Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran Karaj, Iran

(Received: Feb. 3, 2029- Accepted: Aug. 25, 2022)

ABSTRACT

With the intensification of the water crisis in the world, it has become necessary to pay attention to the concept of virtual water and water footprint in agricultural planning and policy-making, especially in countries located in arid and semi-arid regions. The agricultural sector in Iran, as the largest water consumer, will require serious attention to the concepts of virtual water and water footprint. The aim of this study was to reduce the water footprint of optimal patterns under the simultaneous goals of profit and risk compared to current cropping patterns. Also, consequences for not implementing the optimal cropping model in terms of benefits and water footprints were investigated. For this purpose, data of production cost, cultivated area and crops production of Varamin region has been used for the crop year 2017-2018. Also, the research method in this study was to estimate water footprint indices and goal programming models. The results of this study showed that in the equilibrium patterns of profit and risk, the net profit of farmers will increase by 10.8% and at the same time, the water footprint will decrease by an average of 5.5%. In fact, the footprint of blue, green and gray water in the current model of cultivation is equivalent to 52.45, 2.79 and 17.56 million cubic meters, respectively, and in the optimal model of profit and risk balance, it is equivalent to 51.60, 2.24 and 96, respectively. It was estimated to be 14 million cubic meters. Finally, the total water footprint in the two models was estimated to be 72.81 and 68.81 million cubic meters, respectively. Considering only 2% water consumption for the total need of industry and mining and saving 5.5% in water footprint in the country, by implementing the optimal model of profit and risk balance in the agricultural sector, in addition to earn more profit by farmers, more water can be saved than the industry's need. This amount of savings can be done by the government at no cost, and in fact, more benefits and less risk will encourage farmers to follow this pattern.

Keywords: Blue water, Green water, Grey water, Goal programming, Farmers' Profits.

Extend Abstract

Objectives

Due to excessive water consumption, fresh water shortage poses a threat to human society. In general, with the escalation of water crisis in different countries of the world, the issue of virtual water in the trade planning and policy in agricultural products, especially in countries located in arid and semi-arid regions, has become particularly important. The concept of water footprint (WF) was proposed as a method for evaluating water use in production systems.

In the field of virtual water and water footprint, several studies try to analyze the current situation in the country, but few studies can be found to analyze the simultaneous optimization of agricultural profit and risk and water footprint analysis and compare the benefits of farmers and

water footprint in the current and optimal pattern. This study was conducted with this main purpose in Varamin region of Varamin plain.

Methods

Water footprint of crops is the sum of green, blue and grey water footprints. The intensity of water footprint will be obtained by dividing the amount of water footprint per year by the amount of crop yield, which will be equivalent to one cubic meter per ton. In order to estimate the optimal model with multiple goals, goal programming models have been used. The objective function in goal programming is to minimize the sum of unwanted deviations from the intended objectives. Finally, after designing the above model, GAMS software package is used to estimate this model and the optimal land cropping pattern will be determined by the optimal allocation of production factors for crop cultivation. Finally, the water footprint in the current and optimal conditions (profit and risk balance) are estimated and compared.

Results

The results showed that under goal programming conditions, the optimal area of irrigated wheat and barley decreased by 10.1% and 40.2%, respectively and in contrast, alfalfa and maize increased by 45.1% and 16.7%, respectively. The total crop area was reduced by 12.3%. Farmers' profit in the goal programming model (with the goal of maximizing risk and minimizing risk) was 10.8 percent higher than the current situation. Finally, in the current cropping pattern, a total of 72.8 million cubic meters of water footprint was estimated, of which 72.04% was blue water, 3.84% was green water and 24.12% was grey water.

Also, calculations of water footprint in the goal programming model of profit and risk balance showed that the total water footprint in the optimal model is equal to 68.81 million cubic meters, of which 75% is blue water, 3.26% is green water and 21.75% is grey water.

As a general conclusion from this section, in terms of risk along with gaining benefits, water footprint in cropping patterns will be decreased. With the implementation of the profit and risk balance model, the amount of blue, green and grey water will be decreased by 1.6, 19.8 and 14.8 percent, respectively. Finally the amount of water footprint has been reduced 5.5 percent compared to the current model.

Discussion

The results showed that with the implementation of the equilibrium model of profit and risk in Varamin region, in addition, nearly 11% of farmers' benefits will be increased, and finally 5.5% of the total water footprint will be decreased.

Meanwhile, the total demand of industry and mining for the country's water consumption is only 2%. Therefore, if this model can be generalized in the country, by implementing a balance of profit and risk model in the agricultural sector, in addition to earning more profit by farmers, more than the industry needs for water consumption can be saved.

This amount of savings is without any policy or cost for the government and it is only necessary to convince the farmers that the patterns of profit and risk balance will both increase the profit of the farmers and reduce the market risk of the producers.

If there is no conflict with the benefits of the farmers, the implementation of these optimal models will be guaranteed by the farmers.

برآورد ردپای آب در الگوهای فعلی کشت و ظرفیت کاهش آن در الگوهای بهینه تحت شرایط آرمان‌های چندگانه (مطالعه موردی؛ منطقه ورامین)

فرشته بالوی^۱ | عبدالمجید لیاقت^۲ | حامد ابراهیمیان^۳

۱، دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲، استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳، دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۳)

چکیده

با تشدید بحران آب در جهان، توجه به مفهوم آب مجازی و ردپای آب در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کشاورزی، به ویژه در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، ضرورت یافته است. بخش کشاورزی در ایران به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب، نیازمند توجه جدی به مفاهیم الگوی کشت بهینه، آب مجازی و ردپای آب خواهد بود. بر این اساس، هدف این تحقیق، کاهش ردپای آب الگوهای بهینه تحت آرمان همزمان سود و ریسک در مقایسه با الگوهای کشت فعلی است. همچنین، پیامد عدم اجرای الگوی کشت بهینه از منظر منافع و ردپای آب تحت الگوهای برنامه‌ریزی آرمانی بررسی شد. برای این منظور از داده‌های هزینه تولید، سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات زراعی منطقه ورامین واقع در دشت ورامین برای سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در الگوهای تعادل سود و ریسک، منافع خالص کشاورزان به میزان ۱۰/۸ درصد افزایش می‌یابد و همزمان ردپای آبی به‌طور متوسط ۵/۵ درصد کاهش خواهد یافت. در واقع ردپای آب آبی، سبز و خاکستری در الگوی فعلی کشت به ترتیب معادل ۵۲/۴۵، ۲/۷۹ و ۱۷/۵۶ میلیون مترمکعب و در الگوی بهینه تعادل سود و ریسک نیز به ترتیب معادل ۵۱/۶۰، ۲/۲۴ و ۱۴/۹۶ میلیون مترمکعب برآورد شد. در نهایت مجموع ردپای آب نیز در دو الگو به ترتیب ۷۲/۸۱ و ۶۸/۸۱ میلیون مترمکعب برآورد گردید. با توجه به اینکه کل نیاز صنعت و معدن از مصارف آبی کشور تنها ۲ درصد است، لذا چنانچه بتوان این صرفه‌جویی ۵/۵ درصدی در ردپای آب را در کشور تعمیم داد، با اجرای الگوی تعادلی سود و ریسک در بخش کشاورزی، می‌توان علاوه بر کسب سود بیشتر توسط کشاورزان، بیش از نیاز صنعت در مصارف آبی صرفه‌جویی نمود. این میزان صرفه‌جویی بدون هزینه‌ای توسط دولت قابل انجام خواهد بود و در واقع منافع بیشتر و ریسک کمتر، کشاورزان را به رعایت این الگو، ترغیب خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: آب آبی، آب سبز، آب خاکستری، برنامه‌ریزی آرمانی، منافع کشاورزان

مقدمه

با توجه به مصرف بیش از حد آب، کمبود آب شیرین تهدیدی برای جامعه انسانی مطرح می‌شود (Dong et al., 2013). در سراسر جهان، بزرگترین مصرف‌کننده آب شیرین، بخش کشاورزی است که بیش از ۷۰ درصد از آب شیرین جهان را مصرف می‌کند (UNEP, 2007). آب در بخش کشاورزی همواره مورد سوء برداشت قرار گرفته است (Gleick, 2003) و استفاده از آب در آینده برای تولید مواد غذایی همچنان تحت تاثیر رشد جمعیت و تغییرات رژیم غذایی قرار خواهد گرفت (Rosegrant & Ringler, 2000) که منجر به مصرف بیشتر منابع آب خواهد شد.

به‌طور کلی با تشدید بحران آب در کشورهای مختلف جهان، موضوع آب مجازی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های تجارت محصولات کشاورزی، به‌ویژه در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است (Allan, 2003, Yang & Zehnder, 2007 & Dabrowski et al., 2009). به عنوان یک روش برای ارزیابی استفاده از آب در سامانه‌های تولید، مفهوم ردپای آب (WF) پیشنهاد شد (Hoekstra, 2003) که شامل مصرف مستقیم و غیرمستقیم مصرف‌کننده یا تولیدکننده است (Hoekstra et al., 2009). در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان از WF برای ارزیابی استفاده از آب در تولید محصولات کشاورزی استفاده کرده‌اند (Bocchiola et al., 2013; Chapagain & Hoekstra, 2011; Chapagain & Orr, 2009; Gheewala et al., 2014; Jefferies et al., 2012; Lamastra et al., 2014; Mekonnen & Hoekstra, 2010; Shrestha et al., 2013; Wang et al., 2014; Suttayakul et al., 2016). ردپای آب محصولات کشاورزی منعکس‌کننده مصرف آب محصولات مختلف است و می‌تواند بر محصولات محلی تمرکز کند. برای هر محصول، ردپای آبی (WFblue) به حجم آب مصرفی از منابع قابل استحصال اشاره دارد، ردپای سبز (WFgreen) به سهم بارندگی در تامین نیاز آبی گیاهان و ردپای خاکستری (WFgrey) به حجم آب مورد نیاز برای رقیق کردن آلاینده‌ها به حداکثر سطح قابل قبول توافق شده اشاره دارد (Hoekstra & Chapagain, 2007). از آنجا که مصرف آب هر محصول متفاوت است،

ردپای آب برای مراحل تولید و مصرف محصولات مختلف بسیار متفاوت است.

با توجه به آنکه یکی از اصلی‌ترین نیازهای هر فعالیت پویا، برنامه‌ریزی در چهارچوب اهداف کلی آن فعالیت است، بخش کشاورزی نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی در جوامع، نیازمند برنامه‌ریزی‌های منسجمی در جهت رسیدن به توسعه و مقابله با بحران‌های موجود است (Zule & Jamshidi, 2011). با توجه به اینکه آب، به عنوان محدودکننده‌ترین عامل تولید مطرح است، بهینه‌سازی الگوهای کاشت کشاورزی و دستیابی به پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آب از کشت، ضرورت خواهد داشت (He et al., 2018).

کمبود آب، یکی از چالش‌های بزرگ پیش روی کشاورزی شهرستان ورامین است که این امر باعث شده تا ۵۰ درصد از اراضی زراعی قابل کشت این شهرستان، بدون کشت باقی بماند. همچنین میزان فرونشست دشت ورامین سالانه ۳۵ سانتی‌متر اعلام شده که این میزان، به این شهرستان رتبه نخست فرونشست در کشور را داده است (Kaghazlu, 2021).

دو گروه غلات (گندم و جو) و نباتات علوفه‌ای (یونجه و ذرت علوفه‌ای) در منطقه مورد مطالعه، در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ سهم ۸۶/۷ درصد از کل سطوح زیر کشت آبی را داشته‌اند (Ministry of Jihad Agriculture, 2020). به همین منظور در این مطالعه نیز این محصولات مدنظر قرار گرفته‌اند.

کشاورزان در تولید محصولات کشاورزی به‌طور کلی قصد دارند بازده اقتصادی خود را از طریق افزایش بهره‌وری نهاده‌های ورودی مانند سرمایه، کار، زمین و کود به حداکثر برسانند. هنگامی که آب محدود است، افزایش تولید در واحد آب (افزایش بهره‌وری آب یا کاهش ردپای آب به ازای هر تن) یک چالش کلیدی برای صرفه‌جویی در آب و دستیابی به مصرف پایدار از منابع آبی است (Zhuo et al., 2016). این درحالی است که کشاورزان، به‌طور کلی انگیزه‌ای برای صرفه‌جویی در آب ندارند، زیرا آنها برای استفاده از آب خود در مقایسه با سایر نهاده‌های ورودی، حتی در شرایط کمبود آب نیز کم‌هزینه می‌کنند (Zhuo et al., 2016). در کنار مصارف کل آب، موضوعی که در بخش کشاورزی به عنوان

۲۰۰۶ محاسبه شد. نتایج عددی نشان داد که تولیدات گندم و جو به طور قابل ملاحظه‌ای از مصرف‌کنندگان بزرگ منابع آب سبز (بارندگی مؤثر) هستند و این دلالت بر وجود فرصت‌های بزرگ برای بهبود بهره‌وری آب سبز به‌ویژه از طریق افزایش عملکرد در اراضی دیم گندم و جو دارد. همچنین نتایج عددی ردپای آبی و سبز نیز اهمیت استراتژی‌های مدیریت بهتر آبیاری برای کاهش سهم ردپای سفید و خاکستری که در هر دو شرایط مدیریت منابع آب و حفاظت محیط زیست مهم هستند را نشان داد. در مطالعه (Chu et al. (2017 در چین و دشت جنوبی هبی، ردپای آب محصول زراعی متشکل از ردپای آب سبز، آبی و خاکستری و تغییرات سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ردپای آب ناشی از تولید محصولات اصلی ۴۱/۸ کیلومتر مکعب در سال ۲۰۱۲ بوده و گندم زمستانه، ذرت تابستانه و سبزیجات بالاترین مصرف آب را داشته‌اند. کل ردپای آب، ردپای آب آبی، آب سبز و خاکستری به مدت ۱۳ سال (۲۰۱۲-۲۰۰۰) از تولید محصولات زراعی به ترتیب ۶۰۴/۸، ۲۸۸/۵، ۱۴۱/۳ و ۱۷۵ کیلومتر مکعب بوده که روند کلی نزولی داشته است. (2018) Wu et al. در مطالعه خود در حوضه رودخانه زرد، نشان دادند که سود خالص آب آبی (آبیاری) ۴۲-۱۳ درصد کمتر از آب سبز مورد استفاده در مزارع آبیاری در حوضه بود. الگوی کشت، یک ناهمگونی مکانی از لحاظ ایجاد منافع اقتصادی به ازای هر واحد آب مجازی داشته است. استان‌هایی که در مناطق نسبتاً خشک و بالاتر و میانه قرار دارند، دارای میزان برداشت زیاد از آبیاری هستند در حالی که منافع اقتصادی کمتری برای کشاورزان به دلیل رشد محصولات نسبتاً ارزان در این مناطق داشته‌اند. در مطالعه (Mojtabavi et al. (2018. حسابداری ردپای آب و تجارت آب مجازی برای تعیین وضعیت فعلی منابع آبی دشت قزوین که با بحران کمبود آب روبروست مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در این تحقیق، برای تعیین ترکیب کشت با تأکید بر حفظ سطح زیر کشت و سود خالص بخش کشاورزی و صرفه‌جویی منابع آب منطقه، تعداد ۱۲ سناریو تعریف شد که در نهایت این نگرش می‌تواند منجر به توسعه پایدار در مناطقی که از کمبود آب رنج می‌برند شود. در مطالعه

مهم‌ترین بخش مصرف‌کننده آب مطرح است آن است که ترکیب مصارف آب آبی، سبز و خاکستری در الگوهای فعلی تولید چگونه است و چنانچه الگوهای بهینه در مناطق، مدنظر قرار گیرد این ترکیب چه تغییری خواهد کرد و به‌طورکلی عدم اجرای الگوهای بهینه در مناطق چه هزینه‌هایی در خصوص میزان مصارف آب و ردپای آب آبی، سبز و خاکستری و همچنین منافع واحد ایجاد شده از آن‌ها حاصل خواهد نمود؟

مطالعات متعددی به بررسی اهمیت مصارف آبی و ردپای آب در بخش کشاورزی پرداخته‌اند. (2016) Zhuo et al. در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که با بهبود عملکرد محصول در طول دوره مطالعه، سهم غلات در ردپای آب کاهش و سهم محصولات روغنی نیز افزایش یافته است. با این حال، مجموع ردپای آب ناشی از مصرف و تولید محصولات کشاورزی، به ترتیب ۶ و ۷ درصد رشد کرده است. همچنین (Zhuo et al. (2016 نشان دادند که سرانه ردپای آب مربوط به مصرف مواد غذایی در تمام سناریوها در این مطالعه کاهش یافته است. تغییر رژیم غذایی در راستای استفاده از رژیم غذایی کم گوشت می‌تواند کاهش در ردپای آب مصرفی مواد غذایی را تا سال ۲۰۵۰ تا ۴۴ درصد محقق سازد. (Serrano et al. (2016 دریافته‌اند که کل ردپای آب سرانه ۲۲۸۰ متر مکعبی برای اتحادیه اروپا عمدتاً شامل استفاده آب سبز است که در محاسبات مرسوم آب حذف شده است. استفاده آب آبی و آب خاکستری که توسط سیاست‌های آبی اتحادیه اروپا در حال حاضر هدف قرار دارد فقط ۳۲ درصد از کل ردپای آب را شامل می‌شود. همچنان دریافته‌اند که اروپایی‌ها ۵۸۵ کیلومتر مکعب آب مجازی یا در حدود ۲۸ درصد از جریان تجارت جهانی آب مجازی در سال ۲۰۰۹ را به خود اختصاص داده‌اند. (Ababaei and Ramezani Etedali (2017، در پژوهشی به ارزیابی ردپای آب غلات در ایران پرداختند. در این پژوهش، مفهوم ردپای آب در مقیاس منطقه‌ای برای اولین بار در کشور اعمال شد و میانگین وزنی اجزاء ردپای آب (سبز، آبی، خاکستری و سفید) و ردپای آب کل کشوری برای تولیدات غلات اصلی (گندم، جو و ذرت) در طی دوره زمانی ۲۰۱۲-

تولیدکننده غلات و بهبود بهره‌وری آب می‌پردازند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با بهینه‌سازی سطح زیر کشت غلات اصلی در ایران، ۲۲۱۰ میلیون مترمکعب در سال یا ۴/۵ درصد از حجم ردپای آب کشوری را می‌توان ذخیره کرد. (Bazrafshan et al. (2020) در مطالعه‌ای نشان می‌دهند که متوسط ردپای آب برای خرما به ترتیب ۳/۰۲ مترمکعب در کیلوگرم است که از این نظر سهم ردپای آب سبز، آبی و خاکستری ۹/۱، ۷۶/۹ و ۱۴ درصد است. حجم ردپای آب برای خرمای ایران سالانه حدود ۲۴۳۷ میلیون مترمکعب است که سهم خرمای نرم، نیمه خشک و خشک به ترتیب ۷۹/۶، ۱۸ و ۲/۴۵ درصد است. حجم آب مجازی صادر شده ۱۲۴۳ میلیون مترمکعب با ۷۳۳ میلیون دلار ارزش اقتصادی است در حالی که سود خالص خرمای صادر شده یک چهارم ارزش اقتصادی ردپای آب آن است. در زمینه آب مجازی و ردپای آب مطالعات متعددی برای تحلیل وضعیت موجود کشور انجام شده است، اما کمتر مطالعه‌ای می‌توان یافت که به تحلیل الگوهای بهینه‌سازی همزمان سود و ریسک کشاورزی و تحلیل ردپای آب پرداخته و منافع کشاورز و ردپای مصارف آبی را در دو الگوی فعلی و بهینه مقایسه نماید. این مطالعه با این هدف اصلی در منطقه ورامین از دشت ورامین انجام گرفته است. در واقع این مطالعه نشان خواهد داد، عدم اجرای الگوی بهینه کشت، چه پیامدی در خصوص منافع کشاورزان و مصارف آبی خواهد داشت؟

روش تحقیق

محدوده مطالعاتی دشت ورامین در جنوب شرقی تهران واقع شده و ۱۵۸۴ کیلومتر مربع مساحت دارد. این دشت از شمال به ادامه رشته کوه‌های البرز، از جنوب به تپه ماهورهای جنوبی دشت، از غرب به رودخانه شور و از شرق به دشت ایوانکی منتهی می‌گردد (Nakhaiee et al., 2019).

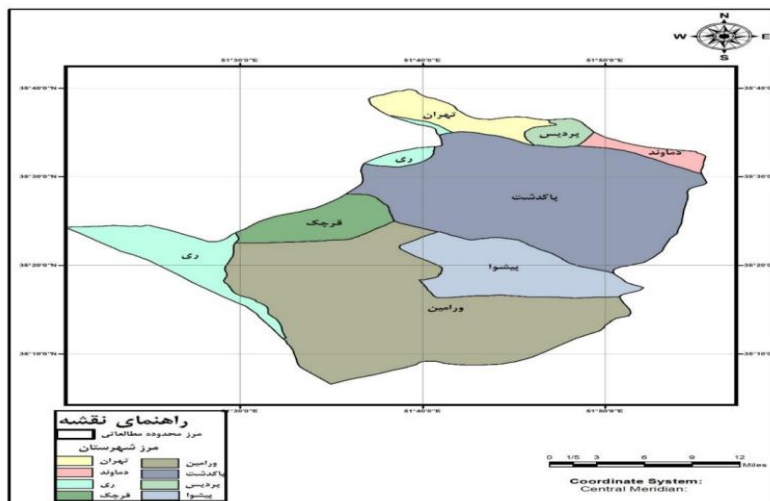
مطابق مطالعه (Harati (2020)، بخش‌های کوچکی که از شهرستان‌های تهران، پردیس، ری و دماوند در دشت ورامین قرار داشته‌اند، فاقد پتانسیل کشت مناسب بوده و بیشتر در دسته اراضی فقیر طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱). برآوردهای انجام شده با تحلیل GIS در این

(Kayatz et al. (2019) ردپای آب غلات در کشور هند بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ برآورد شد و نتایج نشان داد که ۲۶ درصد افزایش تولید غلات در این سال‌ها بدون استفاده از آب و زمین اضافی تحقق یافته است. ردپای آب به دلیل بهبود عملکرد و نرخ پایین تبخیر و تعرق کاهش یافته است و تغییر منطقه کشت نیز در نهایت منجر به کاهش ردپای آب از ۳۳/۴ تا ۴۵ درصد شده است. (Nouri et al. (2019) نشان دادند که میزان ردپای آب در تولید محصولات زراعی در لبنان از طریق کاربرد مالچ خاک و آبیاری قطره‌ای، کاهش یافته و احتمال کمبود منابع آبی را کاهش می‌دهد. استفاده از مالچ، ردپای آبی را ۳/۶ درصد و مالچ به همراه توسعه آبیاری قطره‌ای این ردپای آبی را ۴/۷ درصد کاهش داد. صرفه‌جویی در مصرف آب آبی از طریق مالچ پاشی حدود ۶/۳ میلیون متر مکعب در سال و از طریق مالچ پاشی به همراه توسعه آبیاری قطره‌ای در حدود ۸/۳ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شد. (Bazrafshan et al. (2019) موضوع اشاره کردند که مفهوم آب مجازی از پتانسیل قابل توجهی برای بهبود بهره‌وری از منابع محدود آب شیرین به‌ویژه در بخش کشاورزی برخوردار است. مطابق نتایج این مطالعه، متوسط ردپای آب تولید زعفران در ایران ۴۶۵۹ مترمکعب بر کیلوگرم است که سهم ردپای آب سبز، آبی، سفید و خاکستری به ترتیب ۱۲، ۴۲، ۴۰ و ۶ درصد برآورد شده است. لرستان، آذربایجان شرقی و اصفهان کمترین و چهارمحال و بختیاری، سمنان و فارس بالاترین میزان ردپای اقتصادی آب را دارند. (Bazrafshan et al. (2019) در تحقیقی دیگر اشاره می‌کنند که کمبود منابع آب اصلی‌ترین چالش باغ‌های مرکبات در جنوب ایران است و بنابراین مدیریت منابع آب مرکبات در این مناطق ضروری است. این مطالعه به محاسبه اجزاء ردپای آب تولید مرکبات در استان هرمزگان و ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی و غیر اقلیمی بر تغییرپذیری این ردپا طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۲ می‌پردازد.

(Ramezani Etedali et al. (2019) در پژوهش خود با کاربرد مفهوم ردپای آب به بهینه‌سازی الگوی کشت غلات اصلی (گندم، جو و ذرت) در استان‌های اصلی

واقع در دشت) به خود اختصاص داده است و از این حیث بیشترین سهم را از بین مناطق داشته است.

مطالعه نشان می‌دهد که ۴۳ درصد مناطق قابل کشت در دشت را منطقه ورامین (بخشی از شهرستان ورامین



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌ها در دشت ورامین (Water Resources Management Company, 2018)

خواهد بود. همچنین در خصوص ردپای آب سبز نیز روابط (۴) و (۵) برقرار است.

$$WF_{green} = 10 \times ET_{green} \times A \quad (4)$$

$$ET_{green} = \min \{P_e, ET_c\} \quad (5)$$

که در آن، ET_{green} تبخیر و تعرق آب سبز بر حسب میلی‌متر است. ضمن اینکه می‌توان P_e را با استفاده از الگوی حفاظت خاک که توسط وزارت کشاورزی ایالات متحده ارائه شده محاسبه نمود (Chu et al., 2017):

$$P_e = \begin{cases} P \times (125 - 0.6P) / 125 & P \leq 250/3 \\ 125/3 + 0.1P & P > 250/3 \end{cases} \quad (6)$$

که در آن P میزان بارندگی بر حسب میلی‌متر است. همچنین ET_c بر پایه تبخیر و تعرق مینا (ET_0) است که با توجه به الگوی FAO56-PM برآورد می‌شود (Allen et al., 1998):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (7)$$

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{em} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (8)$$

که در آن K_c ضریب گیاهی و بر پایه مرحله رشد محصول برآورد می‌شود (Duan, 2004). R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه بر حسب مگاژول بر مترمربع بر روز، G شار گرمای خاک بر حسب مگاژول بر مترمربع بر روز، T_{em} میانگین روزانه دمای هوا بر

ردپای آب تولیدی محصولات زراعی مجموع ردپای آب سبز، آبی و خاکستری است (Chu et al., 2017).

$$WF = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey} \quad (1)$$

که در آن WF مجموع ردپای آب بر حسب مترمکعب در سال و WF_{blue} ، WF_{green} و WF_{grey} نیز به ترتیب میزان برآورد ردپای آب آبی، سبز و خاکستری بر حسب مترمکعب در سال است. میزان ردپای آب برای هر واحد محصول نیز از تقسیم میزان ردپای آب در سال به میزان عملکرد محصول به دست خواهد آمد که معادل مترمکعب برای هر تن خواهد بود.

لذا Y_a عملکرد هر محصول به تن خواهد بود که از اطلاعات رسمی شهرستانی استخراج خواهد شد. باران مؤثر و تبخیر و تعرق اجزای تشکیل‌دهنده انواع ردپای آب آبی و سبز هستند که از روابط (۲) و (۳) ردپای آب آبی قابل حصول خواهد شد:

$$WF_{blue} = 10 \times ET_{blue} \times A \quad (2)$$

$$ET_{blue} = \max \{0, ET_c - P_e\} \quad (3)$$

بطوری که ET_{blue} تبخیر و تعرق آب آبی در طول دوره رشد محصول بر حسب میلی‌متر، A سطح زیر کشت محصول مورد نظر، ET_c تبخیر و تعرق واقعی بر حسب میلی‌متر و P_e نیز باران مؤثر بر حسب میلی‌متر

هدف j ام حاصل از فعالیت‌های مختلف تولیدی X ، d_j^+ معرف متغیر مازاد و d_j^- معرف متغیر کمبود است. که در آن X_i سطح زیر کشت محصول i ام، TX کل اراضی محصولات زراعی منطقه، F_i میزان کود فسفات مورد نیاز هر هکتار محصول i ام، TF میزان کل کود فسفات قابل دسترس محصولات منطقه، O_i میزان کود اوره مورد نیاز هر هکتار محصول i ام، TO میزان کل کود اوره قابل دسترس محصولات منطقه، P_i میزان کود پتاس مورد نیاز هر هکتار محصول i ام، TP میزان کل کود پتاس قابل دسترس محصولات منطقه، H_i میزان کود حیوانی مورد نیاز هر هکتار محصول i ام، TH میزان کل کود حیوانی قابل دسترس محصولات منطقه، S_i میزان سموم مورد نیاز هر هکتار محصول i ام، TS میزان کل سموم قابل دسترس محصولات منطقه، t_i میزان ساعت کار ماشین آلات، Tt کل ساعت بهره‌برداری از ماشین آلات در منطقه، W_i میزان آب مورد نیاز (نیاز آبی) هر هکتار محصول i ام، TW میزان آب تخصیص داده شده در منطقه، L_i نیروی کار مورد نیاز هر هکتار محصول i ام، TL کل نیروی کار موجود در منطقه، I_i هزینه سرمایه‌گذاری هر هکتار محصول i ام، TI کل هزینه سرمایه‌گذاری نقدی قابل دسترس، TXK کل سطح زیر کشت محصولات منطقه برای نیاز خودمصرفی است.

$$\sum X_i - TX \leq 0 \quad (15) \quad \text{محدودیت زمین زراعی}$$

$$\sum W_i - TW \leq 0 \quad (16) \quad \text{محدودیت حجم آب}$$

$$\sum L_i X_i - TL \leq 0 \quad (17) \quad \text{محدودیت نیروی کار}$$

$$\sum F_i X_i - TF \leq 0$$

$$\sum O_i X_i - TO \leq 0$$

$$\sum P_i X_i - TP \leq 0 \quad (18) \quad \text{محدودیت سموم و کود شیمیایی}$$

$$\sum S_i X_i - TS \leq 0$$

$$\sum H_i X_i - TH \leq 0$$

حسب سانتی‌گراد، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه، e_s فشار بخار اشباع بر حسب کیلو پاسکال، e_a فشار بخار واقعی بر حسب کیلو پاسکال، Δ شیب منحنی فشار بخار بر حسب کیلو پاسکال بر سانتی‌گراد و γ نیز ضریب ثابت سایکرومتری بر حسب کیلو پاسکال بر سانتی‌گراد است.

با توجه به کمبود داده‌های قابل دسترس، ردپای آب خاکستری از محصولات فقط آلودگی نیتروژن را بدون در نظر گرفتن اثر آفت‌کش‌ها و کودهای دیگر بررسی می‌کند و از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌شود (Hoekstra et al., 2009):

$$WF_{grey} = (\delta \times U_N \times 10^6) / \rho_0 \quad (9)$$

که در آن U_N مقدار استفاده از نهاده کود N بر حسب تن، δ نرخ آبشویی که معادل ۵ تا ۱۵ درصد بوده (Zhang & Zhang, 1998) و استاندارد کیفیت آب محیطی برای نیتروژن معادل ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان غلظت مجاز (ρ_0) در نظر گرفته می‌شود.

در خصوص برآورد الگوی بهینه با اهداف چندگانه نیز از الگوهای برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است. اگر فرض کنیم k هدف ناسازگار با هم وجود داشته و اهداف چندگانه، ترکیبی خطی از n متغیر بوده و m منبع در آن استفاده شود، در این صورت الگوی استاندارد برنامه‌ریزی آرمانی به صورت رابطه ذیل خواهد بود (Gamage, 2017):

$$\text{Min } D = \sum_{j=1}^k h_j (d_j^- + d_j^+) \quad (10)$$

st:

$$g_i(X) \leq b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (11)$$

$$f_j(X) + d_j^- - d_j^+ = b_j \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

$$X, d_j^-, d_j^+ \geq 0 \quad (13)$$

$$d_j^- \cdot d_j^+ = 0 \quad (14)$$

که در این الگو h_j مشخص‌کننده آرمان j ام، $h_j (d_j^- + d_j^+)$ تابع انحراف از هدف (آرمان) j ام، $g_i(X)$ تابع i ام استفاده شده برای فعالیت‌های مختلف تولیدی X ، b_i میزان موجودی منبع و $f_j(X)$ تابع

داده‌های این مطالعه (هزینه تولید، سطح زیرکشت و میزان تولید محصولات زراعی) از نوع داده‌های ثانویه بوده و از وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۹) برای سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ استخراج شده است. همچنین با استفاده از بسته NETWAT، اطلاعات نیاز آبی با لحاظ راندمان آبیاری به عنوان ضرایب فنی الگوهای برنامه‌ریزی جمع‌آوری شد.

نتایج

چنانچه برنامه‌ریزی آرمانی با آرمان حداکثرسازی ریسک و حداقل‌سازی ریسک مد نظر کشاورزان باشد، الگوی کشت متفاوت از وضعیت فعلی خواهد شد. در واقع در الگوی آرمانی، سطح حداکثر منافع در کنار حداقل‌سازی ریسک قابل دستیابی خواهد بود. نتایج نشان داد که در شرایط برنامه‌ریزی آرمانی، سطح زیرکشت گندم آبی ۱۰/۱ درصد و جو آبی معادل ۴۰/۲ درصد کاهش یافته و در مقابل، یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۴۵/۱ و ۱۶/۷ درصد افزایش خواهد یافت. در مجموع سطح زیرکشت کل، معادل ۱۲/۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مشخص است که سود کشاورزان در حالت برنامه‌ریزی آرمانی (با آرمان حداکثرسازی ریسک و حداقل‌سازی ریسک) ۱۰/۸ درصد بیشتر از وضعیت فعلی خواهد بود. در واقع سود خالص در سطح فعلی معادل ۳۰۷/۳ میلیارد ریال بوده و در حالت آرمانی این عدد به حدود ۳۴۰/۴ میلیارد ریال خواهد رسید.

جدول ۱- مقایسه الگوی فعلی و الگوی بهینه تحت شرایط

بهینه تعادل سود و ریسک

محصول	سطح فعلی- هکتار*	سطح الگوی آرمانی-هکتار	درصد تغییر
گندم آبی	۲۶۶۱/۴	۲۳۹۱/۷	-۱۰/۱
جو آبی	۳۹۷۵	۲۳۷۷/۹	-۴۰/۲
یونجه آبی	۹۴۶/۲	۱۳۷۲/۷	۴۵/۱
ذرت علوفه‌ای	۱۷۶۲/۵	۲۰۵۶/۱	۱۶/۷
مجموع اراضی کشت	۹۳۴۵/۱	۸۱۹۸/۵	-۱۲/۳
سود خالص (ده هزار ریال)	۳۰۷۲۹۴۶۵	۳۴۰۳۵۲۷۶	۱۰/۸

منبع: یافته‌های پژوهش

* توجه شود، این سطح از اراضی فعلی، مربوط به بخشی از شهرستان ورامین است که در دشت ورامین قرار داشته است.

محدودیت

$$\sum t_i X_i - Tt \leq 0 \quad (19)$$

ماشین آلات

$$\sum X_i \geq TXK \quad (20)$$

محدودیت
خودمصرفی^۱

$$\sum I_i X_i \leq TI \quad (21)$$

محدودیت
سرمایه‌گذاری نقدی

محدودیت‌های آرمانی دارای متغیرهای انحرافی مثبت و منفی هستند که هدف حداقل کردن این انحراف‌ها از سطح آرمان‌های مورد نظر است. انعطاف‌پذیری برنامه‌ریزی آرمانی به دلیل وجود این محدودیت‌هاست. در این مرحله آرمان‌های مختلف بر اساس نتایج و اولویت‌بندی به ترتیب سطوح وارد مدل می‌شوند.

$$\sum C_i X_i + dr^- + dr^+ \geq GC \quad (22)$$

$$\sum dI_i X_i + dr^- + dr^+ \leq GCc \quad (23)$$

رابطه (۲۲) به عنوان آرمان اقتصادی اول (آرمان افزایش منافع اقتصادی) و رابطه (۲۳) به عنوان آرمان اقتصادی دوم (آرمان کاهش ریسک) است که در آن C_i منافع اقتصادی محصول i ام، GC سطح آرمانی دسترسی به منافع مطلوب (آرمان اقتصادی اول)، GCc سطح آرمانی دسترسی به حداقل ریسک درآمدی (آرمان اقتصادی دوم) و dI_i نوسان منافع در ۵ سال گذشته است. تابع هدف در برنامه‌ریزی آرمانی حداقل کردن مجموع انحرافات ناخواسته از اهداف مورد نظر است. در نهایت پس از طراحی مدل فوق، جهت برآورد این الگو از بسته نرم‌افزاری GAMS استفاده شده و الگوی کشت بهینه اراضی با تخصیص بهینه عوامل تولید برای کشت محصولات زراعی مشخص خواهد شد. در نهایت ردپای آب در شرایط فعلی و بهینه (تعادل سود و ریسک) برآورد و مقایسه خواهد شد.

۱. این محدودیت برای گیاهان علوفه‌ای و خوراک دام و جهت تغلیف دام کشاورزان ارائه شده است.

مترمکعب آب سبز و ۵/۸۵ میلیون مترمکعب آب خاکستری بوده است. در مورد جو نیز ردپای آب آبی، سبز و خاکستری به ترتیب ۹/۶۳، ۰/۸۸ و ۳/۹۸ میلیون مترمکعب بوده که در نهایت ردپای کل در جو ۱۴/۴۹ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در یونجه آبی نیز مجموع ردپای آب معادل ۱۵/۵ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان به ترتیب آب آبی و سبز معادل ۹/۶۳ و ۰/۸۸ میلیون مترمکعب برآورده شده‌اند. در ذرت علوفه‌ای نیز مجموع ردپای آب ۲۰/۷ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان ۱۵/۵۶ میلیون مترمکعب سهم آب آبی و ۵/۱۴ میلیون مترمکعب سهم آب خاکستری بوده است. مشابه مطالعات (Zhuo et al. (2016 و Ramezani Etedali et al. (2019 در این مطالعه نیز سهم غلات در ردپای آب کاهش یافته است. در نهایت کل ردپای آب در الگوی بهینه تعادل سود و ریسک معادل ۶۸/۸۱ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان به‌طور کلی ۷۵ درصد آب آبی، ۳/۲۶ درصد آب سبز و ۲۱/۷۵ درصد آب خاکستری بوده است.

جدول ۳- محاسبات ردپای آب در الگوی بهینه تعادل سود و ریسک- مترمکعب

محصول	آب آبی	آب سبز	آب خاکستری	مجموع
گندم آبی	۱۱۳۶۰۷۷۹	۹۰۸۸۶۲	۵۸۴۷۸۱۲	۱۸۱۱۷۴۵۳
جو آبی	۹۶۳۰۴۵۵	۸۷۹۸۱۹	۳۹۷۷۰۲۱	۱۴۴۸۷۲۹۵
یونجه آبی	۱۵۰۴۵۰۴۴	۴۵۲۹۹۹	۰	۱۵۴۹۸۰۴۳
ذرت علوفه‌ای	۱۵۵۶۴۶۵۴	۰	۵۱۴۰۲۴۳	۲۰۷۰۴۸۹۷
مجموع	۵۱۶۰۰۹۳۲	۲۲۴۱۶۸۰	۱۴۹۶۵۰۷۵	۶۸۸۰۷۶۸۸

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول ۴ الگوهای مختلف در ردپای آب مقایسه شده‌اند. مشخص است که ردپای آبی در الگوی فعلی کشت معادل ۵۲/۴۵ میلیون مترمکعب بوده است. در الگوی بهینه تعادل سود و ریسک نیز ردپای آب آبی معادل ۵۱/۶۰ میلیون مترمکعب بوده است. ردپای آب سبز در الگوی فعلی و الگوی بهینه تعادل سود و ریسک به ترتیب ۲/۷۹ و ۲/۲۴ میلیون مترمکعب و همچنین

در ادامه مطابق جدول ۲، به برآورد و مقایسه‌ی ردپای آب تحت این الگوها پرداخته شد. نتایج الگوهای فعلی نشان می‌دهد که برای گندم مجموع ردپای آب بیش از ۲۰/۱۶ میلیون مترمکعب بوده که از این مقدار، بیش از ۱۲/۶۴ میلیون مترمکعب را آب آبی، بیش از ۱/۰۱ میلیون مترمکعب را آب سبز و حدود ۶/۵۱ میلیون مترمکعب را آب خاکستری تشکیل می‌دهد. در مورد جو نیز مجموع ردپای آبی بیش از ۲۴/۲۲ میلیون مترمکعب بوده که آب آبی ۱۶/۱۰ میلیون مترمکعب، آب سبز معادل ۱/۴۷ میلیون مترمکعب و آب خاکستری ۶/۶۵ میلیون مترمکعب سهم داشته‌اند. در مورد محصول یونجه آبی نیز، مجموع ردپای آب، معادل ۱۰/۶۸ میلیون مترمکعب بوده و آب آبی و سبز به ترتیب ۱۰/۳۷ و ۰/۳۱ میلیون مترمکعب از این ردپا سهم داشتند. در مورد محصول ذرت علوفه‌ای نیز ۱۷/۷۵ میلیون مترمکعب ردپای آب برآورد شد که ۱۳/۳۴ میلیون مترمکعب آن ردپای آب آبی و ۴/۴۱ میلیون مترمکعب هم ردپای آب خاکستری بوده است. در نهایت در جدول ۲، مشخص است که در الگوی کشت فعلی، در مجموع ۷۲/۸ میلیون مترمکعب ردپای آب برآورد شده است که ۷۲/۰۴ درصد آن آب آبی، ۳/۸۴ درصد، آب سبز و ۲۴/۱۲ درصد آب خاکستری بوده است.

جدول ۲- برآورد ردپای آب در الگوی کشت فعلی- مترمکعب

محصول	آب آبی	آب سبز	آب خاکستری	مجموع
گندم آبی	۱۲۶۴۱۸۵۹	۱۰۱۱۳۴۹	۶۵۰۷۲۳۱	۲۰۱۶۰۴۳۸
جو آبی	۱۶۰۹۸۷۹۹	۱۴۷۰۷۵۴	۶۶۴۸۲۰۸	۲۴۲۱۷۷۶۱
یونجه آبی	۱۰۳۷۰۲۲۰	۳۱۲۲۴۲	۰	۱۰۶۸۲۴۶۳
ذرت علوفه‌ای	۱۳۳۴۲۰۳۴	۰	۴۴۰۶۲۲۰	۱۷۷۴۸۲۵۴
مجموع	۵۲۴۵۲۹۱۲	۲۷۹۴۳۴۵	۱۷۵۶۱۶۵۸	۷۲۸۰۸۹۱۶

منبع: یافته‌های پژوهش

محاسبات ردپای آب در الگوی آرمانی تعادل سود و ریسک، نیز نشان می‌دهد که مجموع ردپای آب در گندم معادل ۱۸/۱۲ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان، ۱۱/۳۶ میلیون مترمکعب آب آبی، ۰/۹۱ میلیون

و خاکستری به ترتیب ۱/۶، ۱۹/۸ و ۱۴/۸ درصد کاهش یافت و در نهایت میزان ردپای آب به طور کلی ۵/۵ درصد نسبت به الگوی فعلی تقلیل یافته است. این نتیجه نشان می‌دهد که در واقع بدون هیچ‌گونه ابزار سیاستی مرتبط با آب، چنانچه بتوان ریسک فعالیت‌های کشاورزی را کاست، در کنار حداکثرسازی منافع، می‌توان به کاهش ردپای آب در الگوهای کشت امیدوار بود.

ردپای آب خاکستری نیز در این دو الگو به ترتیب معادل ۱۷/۵۶ و ۱۴/۹۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در نهایت مجموع ردپای آب نیز در دو الگو به ترتیب ۷۲/۸۱ و ۶۸/۸۱ میلیون مترمکعب برآورد گردید. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از این قسمت مشخص است با لحاظ ریسک در کنار کسب منافع، ردپای آب در الگوهای کشت کاهش یافته است. مشخص است که با اجرای الگوی تعادل سود و ریسک، میزان آب آبی، سبز

جدول ۴- مقایسه ردپای آب در الگوهای مختلف و پیامدهای اجرای الگوی بهینه کشت- مترمکعب

نوع الگو	آب آبی	آب سبز	آب خاکستری	کل
الگوی فعلی	۵۲۴۵۲۹۱۲	۲۷۹۴۳۴۵	۱۷۵۶۱۶۵۸	۷۲۸۰۸۹۱۵
الگوی بهینه تعادل سود و ریسک	۵۱۶۰۰۹۳۲	۲۲۴۱۶۸۰	۱۴۹۶۵۰۷۵	۶۸۸۰۷۶۸۷
میزان کاهش ردپای آب	۸۵۱۹۸۰	۵۵۲۶۶۵	۲۵۹۶۵۸۳	۴۰۰۱۲۲۸
درصد کاهش ردپای آب	۱/۶	۱۹/۸	۱۴/۸	۵/۵

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هیچ‌گونه سیاست و هزینه‌ای برای دولت بوده و تنها لازم است کشاورزان را متقاعد کرد که الگوهای تعادل سود و ریسک، هم سود کشاورزان را افزایش خواهد داد و هم ریسک بازاری تولیدکننده را خواهد کاست. علت اینکه الگوهای کشت در کشور، از سوی کشاورزان مورد اقبال قرار نمی‌گیرد، آن است که گاه الگوهای کشت بدون توجه به ریسک کشاورزان به دنبال حداکثرسازی سود بوده‌اند و این نوع الگوها به دلیل عدم توجه به ریسک نمی‌تواند ضمانت اجرایی از سوی کشاورزان داشته باشد. همچنین گاه الگوهای کشت به مسائل کلان توجه کرده و مثلاً به دنبال صرفه‌جویی آب بوده است. بدون اینکه به منافع کشاورزان توجه داشته باشد و لذا این الگوها نیز ضمانت اجرایی نخواهند داشت؛ اما چنانچه با منافع کشاورز تعارضی وجود نداشته باشد، اجرای این الگوها نیز از سوی کشاورزان تضمین خواهد شد.

نتایج این مطالعه نشان داد که الگوهای کشت فعلی نه تنها منافع کشاورز را به میزان الگوی بهینه تضمین نمی‌کند، بلکه با ریسک بالایی نیز همراه است. در واقع الگوی بهینه تعادل سود و ریسک، به ریسک به میزان بهینه در مقابل سود توجه می‌کند. نتایج نشان داد که با اجرای الگوی تعادلی سود و ریسک در منطقه ورامین، علاوه بر این که نزدیک به ۱۱ درصد منافع کشاورزان افزایش خواهد یافت، در نهایت ۵/۵ درصد در مجموع ردپای آبی کاهش می‌یابد. این در حالی است که کل نیاز صنعت و معدن از مصارف آبی کشور، تنها ۲ درصد است. لذا چنانچه این الگو را بتوان در کشور تعمیم داد، با اجرای الگوی تعادلی سود و ریسک در بخش کشاورزی، می‌توان علاوه بر کسب سود بیشتر توسط کشاورزان، چند برابر نیاز صنعت در مصارف آبی صرفه‌جویی نمود. این میزان صرفه‌جویی بدون اعمال

REFERENCES

1. Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.016>.
2. Allan, J. A. (2003). Virtual water- the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor? *Journal of Water International*, 28, 106-113.
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper 56*, FAO, Rome, Italy.

4. Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Gerkani Nezhad Moshizi, Z. and Mansoureh Shamili, M. (2019). Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron Production in Iran. *Agricultural Water Management*. 213: 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.034>.
5. Bazrafshan, O., Zamani, H., Ramezan Etedali, H. and Dehghanpir, S. (2019). Assessment of citrus water footprint components and impact of climatic and non-climatic factors on them. *Scientia Horticulturae*. 250: 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.069>.
6. Bazrafshan, O., Zamani, H., Ramezan Etedali, H. and Dehghanpir, S. (2020). Improving water management in date palms using economic value of water footprint and virtual water trade concepts in Iran. *Agricultural Water Management*. doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105941.
7. Bocchiola, D., Nana, E. and Soncini, A. (2013). Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agricultural Water Management*. 116, 50-61.
8. Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecol. Econ.*, 70, 749-758.
9. Chapagain, A. K. and Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of Spanish tomatoes. *J. Environ. Manage*. 90, 1219-1228.
10. Chu, Y., Shen, Y. and Yuan, Z. (2017). Water footprint of crop production for different crop structures in the Hebei southern plain, North China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 3061-3069.
11. Dabrowski, J. M., Murray, K., Ashton, P. J. and Leaner, J. J. (2009). Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecological Economics*, 68, 1074-1082.
12. Dong, H., Geng, Y., Sarkis, J., Fujita, T., Okadera, T. and Xue, B. (2013). Regional water footprint evaluation in China: A case of Liaoning. *Sci. Total Environ.*, 442, 215-224.
13. Duan, A. W. (2004). Irrigation water quota of main crops in North China. *Agricultural Science and Technology Press of China*, Beijing. FAO. 2012. World Agriculture towards 2030/2050. ESA E Working Paper No. 12-03. <http://www.fao.org/economic/esa/esag/en/>
14. Gamage, A. (2017). Application of goal programming approach on finding an optimal land allocation for five other field crops in Anuradhapura district. *Operations Research and Applications: an International Journal (ORAJ)*, 4(2), 1-13.
15. Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S. R. and Chaiyawannakarn, N. (2014). Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water*, 6, 1698-1718.
16. Gleick, P. H. (2003). Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science*, 302, 1524-1528.
17. Harati, M. (2020). Varamin plain user report presented in the reference for providing and sharing data of urban-regional studies. (In Farsi)
18. He, L., Wang, S., Peng, C. and Tan, Q. (2018). Optimization of Water Consumption Distribution Based on Crop Suitability in the Middle Reaches of Heihe River, *Sustainability*, 10, 1-17.
19. Hoekstra, A. Y. (Ed.) (2003). Virtual water trade, proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. 12-13 December 2002, delft, the Netherlands, *Value of Water Research Report Series* No. 12.
20. Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour. Manage*. 21, 35-48.
21. Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. (2009). Water footprint manual: state of the art, water footprint network, Enschede, the Netherlands.
22. Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V. J., Aldaya, M., Ercin, A. E., Canals, L. M. and Hoekstra, A. Y. (2012). Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine, *J. Clean. Prod.*, 33, 155-166.
23. Kaghazlu. 2021. Report of Varamin city governorate. (In Farsi)
24. Kayatz, B., Harris, F., Hillier, J., Adhya, T., Dalin, C., Nayak, D., Green, R. F., Smith, P. and Dangour, A. D. (2019). "More crop per drop": Exploring India's cereal water use since 2005. *Science of the Total Environment*, 673, 207-217.
25. Lamastra, L., Suci, N. A., Novelli, E. and Trevisan, M. (2014). A new approach to assessing the water footprint of wine: an Italian case study. *Sci. Total Environ.*, 490, 748-756.
26. Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Value of water research report series* No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
27. Ministry of Jihad Agriculture. 2020. Agriculture Bank, Statistics and Information Office. (In Farsi)

28. Mojtabavi, S.A., Shokoohi, A., Ramezani Etedali, H. and Singh V.P. (2018). Using regional virtual water trade and water footprint accounting for optimizing crop patterns to mitigate water crisis in dry regions. *Irrigation and Drainage*. 67: 295–305. <https://doi.org/10.1002/ird.2170>.
29. Nakhaiee, M., Mohebbi Tafreshi, A. and Mohebbi Tafreshi, G. (2019). Modeling and predicting TDS concentration changes in varamin aquifer using GMS software. *Journal of Advanced Applied Geology*, 31, 25-37. (In Farsi)
30. Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M. and Hoekstra, A. Y. (2019). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the Total Environment*, 653, 241–252.
31. Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F. and Ababaei, B. (2019). Optimizing cropping pattern of main cereals and improving water use efficiency: Application of water footprint concept. *Irrigation and Drainage*. 68: 765–777 <https://doi.org/10.1002/ird.2362>.
32. Rosegrant, M. W. and Ringler, C. (2000). Impact on food security and rural development of transferring water out of agriculture. *Water Policy*, 1, 567–586.
33. Serrano, A., Guan, D., Duarte, R. and Paavola, J. (2016). Virtual water flows in the EU27: A Consumption-based Approach. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3), 547-558.
34. Shrestha, S., Pandey, V. P., Chanamai, C. and Ghosh, D. K. (2013). Green, blue and grey water footprints of primary crops production in Nepal. *Water Resour. Manage.* 27, 5223–5243.
35. Suttayakul, P., H-Kittikun, A., Suksaroj, C., Mungkalasiri, J., Wisansuwannakorn, R. and Musikavong, C. (2016). Water footprints of products of oil palm plantations and palm oil mills in Thailand. *Sci Total Environ.*, 542, 521–529.
36. UNEP (2007). Global environment outlook e Geo 4: Environment for development, United Nations Environment Programme, Valletta, Malta.
37. Wang, Y. B., Wu, P. T., Engel, B. A. and Sun, S. K. (2014). Application of water footprint combined with unified virtual crop pattern to evaluate crop water productivity in grain production in China. *Sci. Total Environ*, 497–498, 1–9.
38. Water Resources Management Company. 2018. Report on the exploitation status of the country's plains. (In Farsi)
39. Wu, P., Zhuo, La., Zhang, G., Mekonnen, M. M., Hokestra, A. Y., Wada, Y., Gao, X., Zhao, X., Wang, Y. and Sun, S. (2018). Trade-offs between crop-related (physical and virtual) water flows and the associated economic benefits and values: a case study of the Yellow River Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*
40. Yang, H. and Zehnder, A. (2007). Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resources Research*, 43, 1-10.
41. Zhang, G. and Zhang, S. (1998). Advances in agricultural nitrogen leaching in soil. *Soil*, 6, 291–297.
42. Zhuo, L., Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2016). The effect of inter-annual variability of consumption, production, trade and climate on crop-related green and blue water footprints and interregional virtual water trade: A study for China (1978–2008). *Water Res.*, 94, 73–85.
43. Zule, M. and Jamshidi, A. R. (2011). The importance of the cultivation pattern for the sustainable development of agriculture and providing suitable solutions for its correction, First national conference on strategies to achieve sustainable agriculture, Ahwaz, Iran.