تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰
Volume 17, No. 4, Winter 2022 (IR-WRR)
۱۹۲-۲۱۰

ارزیابی آثار بالقوه استقرار بازار آب محلی در شرایط رویارویی با خشکسالی و کم‌آبی در استان تهران

ابوذر پرهیزکاری[۱*]، غلامرضا یاوری[۲]، ابوالفضل محمودی[۲] و غلامرضا بخشی خانیکی[۳]

چکیده

استقرار بازار آب محلی در بخش کشاورزی یک راه حل امیدبخش جهت افزایش کارایی اقتصادی آب در مواقع خشکسالی، کم‌آبی و کاهش تولیدات زراعی است. کشاورزان با فرصت‌های ایجاد شده در بازار آب از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت تأمین آب، برای اجاره و فروش این نهاده کمیاب اقدام نموده و در راستای تأمین آب قابل فروش در بازار تلاش خواهند کرد. این امر افزون بر مدیریت منابع آب سطحی، منجر به کاهش فشار کشاورزان برای استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. با توجه به اهمیت این موضوع، در مطالعه حاضر آثار بالقوه شکل‌گیری بازار آب محلی در مناطق پنجگانه استان تهران تحت شرایط رخداد خشکسالی، کم‌آبی و کاهش تولیدات زراعی ارزیابی شد. این کار با استفاده تلفیقی از مدل اقتصادی تولید محصولات کشاورزی ایالتی یا منطقه‌ای (SWAP)، مدل هیدرولوژیکی ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) و مجموعه داده‌های آماری مربوط به سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۲ صورت گرفت. نتایج نشان داد که با استقرار بازار آب محلی و تعادل‌بخشی داد و ستد آب کشاورزی بین حوضه‌های مطالعاتی استان تهران، پیامدهای منفی پدیده خشکسالی در بهره‌برداری از منابع آبی موجود تا حدود ۱۲/۷ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. افزون بر این، استقرار بازار آب محلی به عنوان یک نهاد عرفی و حقوقی در سطح استان تهران علیرغم انتقال منابع آبی مازاد حوضه‌های شرقی و شمالی (M_1 و M_2) به حوضه‌های جنوب غربی استان تهران (M_3، M_4 و M_5)، سبب افزایش ضریب اطمینان دسترسی کشاورزان به آب آبیاری شده و از کاهش محصولات زراعی سودآور (گوجه‌فرنگی، ذرت دانه‌ای، هندوانه و آفتابگردان) در الگوهای بهینه کشت ممانعت می‌کند. همچنین، این نهاد ساختاری با تحقق سیاست اشتراک‌گذاری منابع آب کشاورزی و افزایش ۵/۸۹ تا ۱۱/۰۶ درصدی شاخص نسبت سود به آب مصرفی به نحو مطلوبی مسأله تخصیص و مدیریت بهینه منابع آب را بین فعالیت‌های مختلف زراعی حوضه‌های پنجگانه استان تهران منعکس می‌نماید. در پایان، با توجه به کارکردهای مثبت و مؤثر بازار آب محلی در بخش مدیریت منابع آب و کشاورزی، اجرایی شدن مقدمات شکل‌گیری آن به مسئولین و سازمان‌های ذیربط در استان تهران پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: بازار آب، کم‌آبی، خشکسالی، بهره‌وری آب، مدل SWAP.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۹/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۲- دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۳- استاد علوم کشاورزی (بیوتکنولوژی)، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۱ امکانپذیر است.

Evaluation of the Potential Effects of Establishing a Local Water Market in the Face of Drought and Water Shortage in Tehran Province

A. Parhizkari [1], Gh. Yavari[2], A. Mahmoodi[2], and Gh. Bakhshi Khaniki[3]*

Abstract

Establishing a local water market in the agricultural sector is a promising solution to increase the economic efficiency of water in the event of drought, water shortage, and reduced agricultural productions. With the opportunities created in the water market, farmers will rent and sell this scarce input by improving the methods of water supply management and will work to provide water that can be sold in the market. In addition to managing surface water resources, this reduces farmers' pressure to use groundwater resources. Due to the importance of this issue, in the present study, the economic effects of the formation of the local water market in the five regions of Tehran province under the conditions of drought, water shortage, and reduced crop production in Tehran province were evaluated. This work was done by using a combined economic model of Statewide Agricultural Production (SWAP), hydrological model of Water Evaluation and Planning (WEAP), and related statistical data to the years 2013-2019. The results showed that with the establishment of the local water market and balancing agricultural water trade between the study basins of Tehran province, the negative consequences of drought in the use of available water resources are reduced by about 12/7 percent compared to the base period. In addition, the establishment of the local water market as a customary and legal institution in Tehran province, despite the transfer of surplus water resources from the eastern and northern basins (M1 and M2) to the southwestern basins of Tehran province (M3, M4, and M5), caused increasing the reliability of farmers' access to irrigated water and preventing the reduction of profitable crops (tomatoes, corn, watermelon, and sunflower) in optimal cropping patterns. Also, this structural institution by realizing the policy of sharing agricultural water resources and increasing the "profit to water ratio index" from 5/89 to 11/06 percent, reflects optimally allocates the issue of allocation and optimal management of water resources between different agricultural activities in the five basins of Tehran province. Finally, according to the positive and effective results of the local water market in the management of water resources and agriculture, the implementation of the preparations for its formation is proposed to the relevant authorities and organizations in Tehran province.

Keywords: Water Market, Water Shortage, Drought, Water Productivity, SWAP Model.
Received: December 8, 2021
Accepted: March 2, 2022

1- Ph.D. Student of Agricultural Economics, Payam Noor University, Tehran, Iran. Email: Abozar.parhizkari@yahoo.com
2- Associate Professor of Agricultural Economics, Payam Noor University, Tehran, Iran.
3- Professor of Agricultural Science (Biotechnology), Payam Noor University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.4.12.9

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

۱- مقدمه

بر اساس علم اقتصاد کشاورزی در صورت وجود یک سیستم حقوق مالکیت خصوصی با قابلیت انتقال منابع آبی، ایجاد و توسعه بازار آب به عنوان یک نهاد ساختاری غیرفیزیکی سبب افزایش ضریب اطمینان در دسترسی به آب و کاهش ریسک کشاورزان گردیده و به نحو مطلوبی مدیریت و تخصیص بهینه آب را منعکس می‌کند (Johansson, 2000; Grafton et al., 2011). استقرار بازارهای آب محلی[1] در بخش کشاورزی یک راه حل امیدبخش جهت افزایش کارایی اقتصادی آب[2] است که کشاورزان با فرصت‌های ایجاد شده در آن از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت تأمین آب، برای اجاره و فروش آب اقدام نموده و در جهت تبدیل جریان‌های سطحی و نفوذ عمیق آن در راستای تأمین آب قابل فروش در بازار تلاش خواهند نمود. این امر افزون بر مدیریت منابع آب سطحی در سطح اراضی، منجر به کاهش فشار کشاورزان برای استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود (Mahmoodi and Parhizkari, 2016; Wheeler et al., 2017). بنابراین، خصوصیت مهمی که موجب معرفی بازار آب به عنوان یک نهاد ساختاری و رویکرد مدیریتی در بخش کشاورزی می‌شود، توانایی بالقوه آن در تخصیص مجدد آب بین مصارف گوناگون کشاورزان است. این ابزار اقتصادی امکان دستیابی به کارایی بیشتر در تخصیص آب و حداکثر شدن سطح رفاه اجتماعی[3] را برای آب‌بران و کشاورزان فراهم می‌کند (Grafton et al., 2016). در راستای اهمیت مقوله بازار آب و استقرار آن در بخش کشاورزی می‌توان بیان نمود که طی دهه‌های اخیر برخی از سیاست‌گذاران بر این باور بوده‌اند که مشکلات و مسائل موجود در زمینه مدیریت منابع آب و پایداری فعالیت‌های کشاورزی با توجه به سیاست‌های طرف "تقاضای آب" مرتفع خواهند شد، اما گذر زمان حاکی از آن بوده که مسائل موجود با اجرایی شدن این سیاست‌ها به طور کامل مرتفع نشده‌اند (Shen and Lin, 2017; Parhizkari and Badi Barzin, 2018). برخی دیگر از سیاست‌گذاران، تمرکز دولت‌ها بر مدیریت "عرضه منابع آب" را از طریق انجام سرمایه‌گذاری‌های عظیم تأمین و انتقال آب و ظرفیت‌سازی‌های گسترده‌ی فنی راهکار حل مسائل و مشکلات در بخش مدیریت منابع آب بیان نموده‌اند (Lazarova et al., 2007)، اما تجربه نشان داد پیامد این سیاست‌گذاری‌ها به شکل تخریب و تقلیل کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی، افزایش تعرضات اجتماعی و به خطر افتادن پایداری اکوسیستم‌های آبی و زراعی نمود یافته است. از این رو، امروزه برنامه‌ریزان و مسئولان مدیریت منابع آب در اقصی نقاط دنیا به این درک مشترک رسیده‌اند که دیگر تکیه صرف بر سیاست‌های طرف عرضه و یا سیاست‌های طرف تقاضای آب قادر به پرکردن شکاف ایجاد شده و حل مسائل و مشکلات پیش‌روی مدیریت منابع آب نیست و لازم است تا بـه بـرنامـه‌ریزی یکپارچه منابع آب از طریق شکل‌گیری نهادی ساختاری چـون بازار آب (کـه در آن گزینه‌های مختلفی از مدیـریت منابع آب دیـده می‌شود)، تکیه کـرد (Nazari, 2016; Wheeler et al., 2017).

ساز و کار تخصیص منابع آب بر اساس نهاد ساختاری بازار محلی با کنترل کامل توسط نهادهای عمومی یا دولتی، با ترکیبی از نظام تخصیص بازار و بخش عمومی و یا با غالب نمودن بازار رقابتی منابع آب محقق می‌شود (Mahmoodi and Parhizkari, 2016; Wheeler et al., 2017). این ساختار انعطاف‌پذیری و امنیت حقابه‌ها را تضمین می‌کند، چرا که همه حقابه‌داران اجازه دارند به طور داوطلبانه در آن مشارکت کنند. برخورداری از فرصت خرید و فروش آب در این ساختار، حقابه‌داران را مجبور می‌کند که هزینه‌های فرصت آب را در تصمیم‌های مربوط به انتقال و مصرف آب مورد توجه قرار دهند (Liang, 2013; Nazari, 2016). تشویق بهره‌برداران جهت صرفه‌جویی مصرف آب، افزایش انعطاف‌پذیری بهره‌برداران با شرایط جامعه، بهبود بهره‌وری و کارآیی تخصیص آب، بازگشت آب به طبیعت، بهبود حسابداری استفاده از منابع آب و دسترسی دائم بهره‌برداران بـه آن از دیگر منافع استقرار بازارهای آب محلی هستند (Connor et al., 2013; Young, 2014). علیرغم فواید و منافع فوق، استقرار بازار آب محلی می‌تواند به ایجاد برخی از مخاطرات اجتماعی مانند افزایش برداشت آب با هدف حداکثری فروش، عدم توانایی حل تعارضات ایجاد شده بین حقابه‌داران، افزایش هزینه‌های اجتماعی ناشی از تعدیل و تطبیق جوامع، تغییر ساختار اجتماعی و الگوی توسعه‌ای مناطق و بـه چـالش کشیده شدن سیاست‌های امنیت غذایی منجر شـود (Ahmadi et al., 2016; Wheeler et al., 2017).

استان تهران که منطقه مورد مطالعه در این تحقیق است، دارای مساحتی معادل ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع بوده و با در اختیار داشتن ۳/۴ درصد از اراضی قابل کشت، حدود ۷/۶ درصد از کل تولیدات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است (Agricultural Jihad Organization of Tehran Province, 2020). سالانه بیش از ۱۵۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی این استان صورت می‌پذیرد. درواقع، مجموع تغذیه آبخوان‌های این استان حدود ۱۴۸۰/۵ میلیون مترمکعب است، درحالی که مجموع تخلیه از آن‌ها به ۱۶۳۰/۲ میلیون مترمکعب نیز می‌رسد. نظر به این که در این استان، آب‌های سطحی از طریق بارندگی و تشکیل رودخانه‌های فصلی (حبله‌رود، نمرود، جاجرود و سولقان یا رودخانه کن) حاصل می‌شوند، در فصول گرم سال کاهش بارندگی و عدم وجود این منابع موقت سبب شده تا آب آبیاری موردنیاز برای کشاورزان از طریق برداشت آب‌های

زیرزمینی تأمین شود. این عامل در طول زمان باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی (به میزان ۱/۹ متر) و منفی‌شدن بیلان آب در اغلب نقاط این استان، به‌ویژه در بخش‌های جنوبی آن (دشت‌های ملارد و ورامین) شده است (Tehran Regional Water Company, 2020). افزون بر این، عدم وجود بازار آب محلی در حوضه رودخانه‌های فصلی این استان سبب شده که در فصول پرآب حجم زیادی از آب بدون استفاده از دسترس کشاورزان خارج شود. درحالی‌که، در فصول گرم سال به علت کاهش جریان آب رودخانه‌ها، اغلب کشاورزان با مسأله کمبود آب مواجه هستند. طی دهه‌های اخیر، رویداد تغییرات اقلیمی نیز سبب ایجاد دوره‌های کم‌آبی و خشکسالی در مناطق مرکزی و جنوبی این استان شده و کشاورزان را با محدودیت منابع آب دردسترس در سطح اراضی خود مواجه نموده است (Parhizkari et al., 2021). از این رو، به نظر می‌رسد که استقرار بازار آب محلی در استان تهران می‌تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی برای مقابله با دوره‌های خشکسالی و کم‌آبی که در نهایت منجر به کاهش تولیدات کشاورزی می‌شوند، به کار گرفته شود. این امر قبل از هر چیز، نیازمند بررسی آثار و پیامدهای بالقوه استقرار بازار آب محلی در سطح استان تهران می‌باشد که هدف اصلی تحقیق حاضر است.

با توجه به توسعه علوم مرتبط با بخش کشاورزی و نشر یافته‌های حاصل از تحقیقات انجام شده در این بخش، بررسی اثرات و پیامدهای اشتراک‌گذاری منابع آب و استقرار نهادهای ساختاری بازار آب در بسیاری از نقاط دنیا امری اجتناب‌ناپذیر و حائز اهمیت شناخته شده است (Wheeler et al., 2017; Parhizkari et al., 2021). بر همین اساس، طی سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی پیرامون موضوع فوق در مناطق مختلفی از دنیا صورت گرفته است. Seidl et al. (2019) اصلاح قوانین و مقررات بازار آب را در حوضه موری دارلینگ[۴]، به عنوان پیشرفته‌ترین حوضه با تشکیلات بازار آب در سطح جهان مطالعه نمودند. یافته‌ها حاکی از آن است که بسیاری از ذینفعان، از جمله مالکان دارای حقابه‌های سطحی ترجیح می‌دهند که منابع آب مازاد خود را در اختیار نهادهای دارای امنیت بالاتر قرار دهند و از داد و ستد موقت در مواقع مواجهه با کمبودهای آب‌رسانی استفاده کنند. Abolhasani et al. (2019) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[۵] (PMP) نقش تشکیل بازار آب در میزان استفاده از منابع آبی دشت مشهد را بررسی نمودند. نتایج نشان می‌دهد با تشکیل بازار آب، الگوی کشت به سمت محصولات با سوددهی بالاتر سوق پیدا می‌کند و در استفاده از آب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای شکل می‌گیرد؛ به نحوی که پس از تشکیل بازار آب در شهرستان‌های مشهد، چناران و طرقبه- شاندیز میزان مصرف آب به ترتیب با کاهش ۳۷، ۲۳/۸۵ و ۲۹/۰۹ درصدی مواجه می‌شود. Badie Barzin et al. (2018) به کمک مدل PMP اثرات تشکیل بازار آب منطقه‌ای را در سیستان بررسی نمودند و پتانسیل انتقال آب تحت شرایط کم‌آبی را در سطح این منطقه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که با برقراری بازار آب، افزون بر متعادل شدن داد و ستد آب بین مناطق مورد بررسی، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی افزایش و سطح زیرکشت یونجه، پیاز، هندوانه و خربزه کاهش می‌یابد. این امر امکان توسعه اراضی فاریاب را تا ۴/۲۳ درصد نسبت به شرایط سال پایه فراهم می‌کند. مجموع سود ناخالص کشاورزان سیستانی نیز در شرایط استقرار بازار آب منطقه‌ای بهبود یافته و از ۲۲۰۳۹ به ۲۳۲۴۲ میلیون ریال تغییر می‌کند. Zibaee and Malek Varnosfaderani (2017) با بهره‌مندی از مجموعه مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به بررسی نقش بازار آب بر مدیریت منابع این نهاده در بخش کشاورزی استان فارس پرداختند. نتایج گویای آن است که حجم آب مبادله شده، ۹/۵ درصد کل آب مصرفی است. متوسط بهبود درآمد کشاورزان بین ۱۵ تا ۴۲ درصد متغیر است. بنابراین، انگیزه کافی برای همه کشاورزان جهت ورود به بازار آب وجود دارد. Zeng et al. (2016) با استفاده از روش برنامه‌ریزی مشترک چند مرحله‌ای بازه‌ای- احتمالاتی[۶] (JIMP) به بررسی امکان تجارت آب و پیامدهای آن در حوضه رودخانه کایدو- قونگ‌کیو[۷] چین پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مکانیزم بازار آب محلی پس از استقرار در منطقه مورد مطالعه سبب تخصیص کارای منابع آب بین بهره‌برداران کشاورزی، ایجاد بینش مؤثر در خصوص تبادل بین تجارت آب و تحقق اهداف اقتصادی بهره‌برداران شده است. Howitt et al. (2015) با کمک مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به بررسی اثرات خشکسالی بر تولیدات کشاورزی در مناطق مختلفی از کالیفرنیا پرداختند و نقش تشکیل بازارهای آب محلی را در این زمینه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی اثرات منفی بر حجم منابع آب سطحی و عمق ایستابی منابع آب زیرزمینی داشته و تشکیل بازارهای آب محلی به دلیل برقراری توازن بین عرضه و تقاضای آب تا حد زیادی (حدود ۳۰ درصد) اثرات این پدیده را کاهش داده و راهکار مناسبی برای مقابله با آن است. Sabohi and Parhizkari (2013) با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به ارزیابی اثرات تشکیل بازار آب در استان قزوین پرداختند. نتایج حاکی از آن است که استقرار بازار آب در این استان منجر به افزایش مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی و افزایش دسترسی به منابع آب بیشتر برای کشاورزان، به‌خصوص در شهرستان‌های با منابع آبی کمتر می‌شود. ایجاد اشتغال بالقوه و به‌کارگیری نیروی کار بیشتر در سطح اراضی کشاورزی از دیگر اثرات اقتصادی تشکیل بازار آب در استان قزوین به‌شمار می‌رود. Zaman et al. (2009) با بهره‌مندی از یک سیستم مدل‌سازی هیدرواقتصادی، منافع اقتصادی بالقوه را در مبادله آب بین بهره‌بردان کشاورزی در ویکوتوریای شمالی کشور استرالیا پیش‌بینی کردند. نتایج

نشان می‌دهد که مبادلات آب می‌تواند اثرات طولانی‌مدت خشکسالی را برای مصرف‌کنندگان آب در برخی مناطق کاهش دهد. همچنین، مبادلات آب بین مناطق در بلندمدت آثار ارزشمندی در غلبه بر بحران‌های خشکسالی شدید برای بهره‌برداران کشاورزی در برخواهد داشت.

بررسی مطالعات پیشین حاکی از آن است که تفکیک حقوق مالکیت آب از سایر دارایی‌ها و قابلیت مبادله این حقوق بین بهره‌برداران بخش کشاورزی، گام نخستِ حرکت به سمت تشکیل بازارهای آب است. این نهاد ساختاری، پیامدهای مثبتی چون تخصیص بهینه منابع آب، افزایش عایدی کشاورزان و برقراری تعادل بین عرضه و تقاضای آب را در مناطق مختلفی که با پدیده‌هایی چون کم‌آبی و خشکسالی مواجه‌اند، به دنبال داشته است. از این رو، در مطالعه حاضر با توجه به نیاز مبرم تعادل‌بخشی منابع آب کشاورزی در مناطق مختلف استان تهران، تلاش شد تا ضمن پیاده‌سازی طرح بازار آب محلی، به بررسی پیامدهای بالقوه آن در بخش کشاورزی و منابع آب پرداخته شود. استفاده از الگوی اقتصادی تولید محصولات کشاورزی منطقه‌ای[8] (SWAP) با قابلیت تحلیل همزمان اثرات تشکیل بازار آب محلی در شرایط رخداد کم‌آبی و خشکسالی وجه تمایز تحقیق حاضر در مقایسه با مطالعات پیشین است، این در حالی است که در مطالعات پیشین، عمدتاً اثرات تشکیل بازار آب مدنظر واقع شده است.

۲- روش انجام تحقیق

در این تحقیق به منظور بررسی اثرات استقرار بازار آب محلی در استان تهران، ابتدا الگوی مدل‌سازی تولید محصولات کشاورزی منطقه‌ای (SWAP) طی شش مرحله در محیط نرم‌افزاری GAMS واسنجی گردید. سپس با کمک اطلاعات آماری مربوط به محصولات منتخب کشاورزی طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۲ و اطلاعات آماری شبیه‌سازی شده توسط مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP)، اثرات و پیامدهای بالقوه استقرار بازار آب محلی در این استان ارزیابی و تحلیل شدند.

۲-۱- مدل اقتصادی تولید محصولات کشاورزی ایالتی یا منطقه‌ای (SWAP)

مدل SWAP اغلب برای ایجاد ارتباط بین متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی، بهینه‌سازی میزان مصرف آب در بخش کشاورزی و تشکیل بازارهای آب محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل، برای تجزیه و تحلیل سیاست‌ها در سطح خرد یا منطقه‌ای بر منابع ناهمگون و یا نهاده‌های خاص تمرکز دارد و در برآورد توابع تولید محصولات کشاورزی، به جای استفاده از داده‌های خام، از نتایج بهینه‌سازی اقتصادی استفاده می‌کند (Laura et al., 2016). با توجه به اینکه در مدل SWAP از داده‌های صریح و واقعی استفاده می‌شود، این مدل می‌تواند در تحلیل سیاست‌ها علاوه بر محدودیت‌های سرمایه‌ای و مالی، محدودیت‌های فیزیکی را نیز در خود بگنجاند. به طورکلی، در مدل SWAP فرض می‌شود که رفتار حداکثرسازی سود ناخالص کشاورزان در سطح منطقه‌ای و در یک شرایط تعادلی کوتاه مدت، منجر به تخصیص منابع مطابق آنچه که در سال پایه مشاهده شده، می‌شود (Howitt et al., 2012; Sabohi and Parhizkari, 2013; Paul et al., 2017). مراحل گام به گام واسنجی مدل SWAP در ادامه تشریح می‌شوند.

۲-۱-۱- مرحله اول: تقسیم‌بندی مناطق زیرحوضه و جمع‌آوری داده‌های پایه

در این مرحله، ابتدا منطقه مورد مطالعه براساس وسعت محدوده مطالعاتی حوضه عملکرد شرکت آب منطقه‌ای استان تهران و دشت‌های آبی واقع در این حوضه مطالعاتی تقسیم‌بندی گردید. سپس، داده‌ها و اطلاعات اقتصادی و هیدرولوژیکی مربوط به مناطق مورد بررسی گردآوری شدند. حوضه عملکرد شرکت آب منطقه‌ای استان تهران گستره‌ای در ناحیه بین طول جغرافیایی بین ′۵۰-°۵۰ تا ′۱۵-°۵۲ و عرض جغرافیایی بین ′۲۰-°۳۵ تا ′۱۵-°۳۶ را در بر می‌گیرد. وسعت این محدوده مطالعاتی معادل با ۱۹۶۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد که دشت‌های تهران-کرج (دشت تهران)، هومند- آبسرد، ورامین، مبارکیه، دماوند، لواسانات، فیروزکوه، گرمسار و قطعه چهار را در بر می‌گیرد. با توجه به وجود منابع آبی مشترک و قابلیت انتقال آب در مناطق مختلف استان تهران، این دشت‌ها در پنج حوضه تقسیم‌بندی و مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۱). داده‌های مورد نیاز این تحقیق مربوط به دو بخش کشاورزی (شامل سطح زیرکشت، عملکرد، قیمت و هزینه تولید محصولات) و بخش منابع آب (نیاز آبی محصولات، کل منابع آب دردسترس و میزان منابع آب انتقال یافته بین مناطق مطالعاتی) می‌باشند که به طور میانگین برای دوره مبنا یا پایه (۱۳۹۸-۱۳۹۲) و با مراجعه مستقیم به ادارات ذیربط در استان تهران (شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی) جمع‌آوری شدند.

۲-۱-۲- مرحله دوم: حل مدل برنامه‌ریزی خطی و تعیین قیمت‌های سایه‌ای

این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی در جهت حداکثر نمودن سود منطقه‌ای کشاورزان با توجه به محدودیت‌های منابع و محدودیت‌های واسنجی می‌باشد.

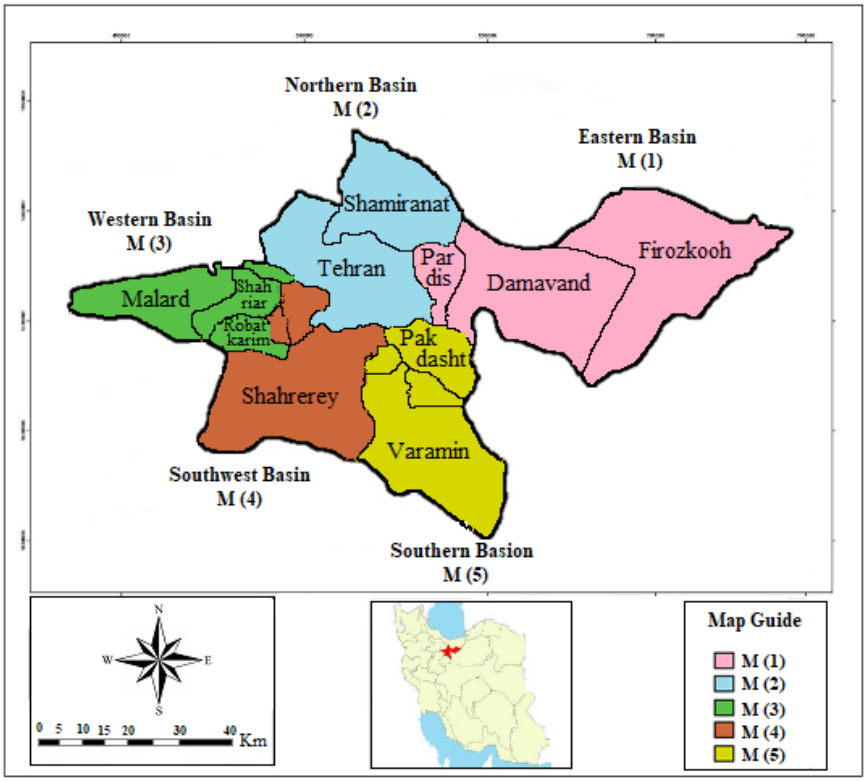

Fig. 1- Study areas with irrigated agriculture in Tehran province

شکل ۱- مناطق مطالعاتی دارای کشاورزی آبی در استان تهران

در این مرحله پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی مقادیر دوگان[۹] و یا قیمت‌های سایه‌ای[۱۰] برای محدودیت‌های منابع و واسنجی به دست می‌آید (Howitt et al., 2012; Sabohi and Parhizkari, 2013; Paul et al., 2017). شکل ریاضی این مرحله از واسنجی مدل SWAP را می‌توان برای مناطق مورد مطالعه به صورت زیر نشان داد:

(۱)

$$\text{Max } \tilde{O}=\sum_{i=1}^{7}\sum_{g=1}^{5}\left(v_{ig}\, yld_{ig}-\sum_{j\in water}^{5} a_{igj}\, c_{igj}\right)x_{ig,Land}-\sum_{g=1}^{7}\sum_{j=water}^{5} water_{gw}\, v_{gw}$$

Subject To:

$$\sum_{i=1}^{7} a_{igj}x_{ig,Land} \le b_{gj} \quad \forall g,j \quad [\mu] \qquad (۲)$$

$$x_{igj} \le \tilde{x}_{igj}+\varepsilon \quad \forall g,i,j \quad [\lambda] \qquad (۳)$$

$$x_{igj} \ge 0 \quad \forall g,i,j \qquad (۴)$$

رابطه (۱)، به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداکثر کردن مجموع سود منطقه‌ای کشاورزان است. در این رابطه $\tilde{O}$ بیانگر سود ناخالص کشاورزان، g بیانگر مناطق پنج گانه مطالعاتی، i بیانگر محصولات منتخب زراعی (گندم آبی، جوآبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا)، j بیانگر نهاده‌ها یا عوامل تولید (آب، زمین، نیروی‌کار، سرمایه و ماشین‌آلات)، $x_{ig,Land}$ سطح زیرکشت محصول i در منطقه g و a_{igj} بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه $(a_{igj}=\tilde{x}_{igj}/\tilde{x}_{ig,land})$ به دست می‌آید. در واقع، a_{igj} بیانگر ضرایب فنی منابع مورد استفاده در هر منطقه مطالعاتی می‌باشد. v_{ig} قیمت محصول i در منطقه g، yld_{ig} عملکرد محصول i در منطقه g، c_{igj} هزینه نهاده j برای تولید محصول i در منطقه g، $water_{gw}$ مقدار آب مورد استفاده در منطقه g و $\overline{w}_{gw}$ هزینه استحصال و یا قیمت هر مترمکعب آب آبیاری در منطقه g می‌باشد. رابطه (۲)، محدودیت منابع را در هر منطقه نشان می‌دهد و برای نهاده‌های آب، زمین، سرمایه (شامل بذر، کود و مواد شیمیایی) و نیروی‌کار تعریف می‌شود. در این رابطه b_{gj} کل منابع دردسترس نهاده j در منطقه g می‌باشد. رابطه (۳)، محدودیت واسنجی مدل برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد که در آن $\tilde{x}_{igj}$ مقدار مشاهده شده فعالیت مورد استفاده در سال پایه و ε مقدار مثبت کوچکی را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که به ازای هر محصول یک محدودیت واسنجی به مدل اضافه می‌شود. اضافه‌کردن محدودیت واسنجی به مدل باعث می‌شود که جواب بهینه برنامه‌ریزی خطی دقیقاً سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را به دست دهد. μ در رابطه (۲)، قیمت سایه‌ای محدودیت سیستمی و λ در رابطه

(۳)، قیمت سایه‌ای محدودیت واسنجی را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که برای تعیین ارزش اقتصادی نهاده آب آبیاری در این تحقیق در سطح هر یک از مناطق پنجگانه استان تهران، مقادیر قیمت سایه‌ای یا ارزش دوگان نهاده آب کشاورزی مدنظر واقع شد. قیمت سایه‌ای برآورد شده برای نهاده آب در بخش Resource Margin خروجی نرم‌افزار GAMS بیانگر آن است که با افزایش یک واحد آب آبیاری (مترمکعب)، ارزش آخرین واحد مصرفی آن در سطح اراضی به چه صورتی تغییر می‌کند. رابطه (۴)، محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌های زراعی در مناطق مورد بررسی است. این محدودیت سیستمی تضمین می‌کند که پیاده‌سازی سیستم مدل‌سازی فوق در هر یک از مناطق مورد مطالعه به صورت فیزیکی کاملاً قابل اجرا است (Howitt et al., 2012; Sabohi and Parhizkari, 2013; Paul et al., 2017).

۲-۱-۳- مرحله سوم: برآورد تابع تولید منطقه‌ای و تخمین ضرایب CES

در این مرحله پارامترهای بازده ثابت نسبت به مقیاس تابع تولید CES[11] برای هر منطقه و محصول به کمک روش توسعه یافته Howitt et al. (2012) و Gravelin (2016) برآورد می‌شوند. تابع تولید CES این امکان را ایجاد می‌کند که یک نرخ جانشینی ثابت بین نهاده‌های تولید و ضرایب لئونتیف (با نسبتی ثابت) و ضرایب تابع کاب–داگلاس (با جایگزینی واحد) به وجود آید. فرم تابع تولید CES مورد استفاده در این مطالعه با توجه به چهار نهاده زمین، آب، نیروی‌کار و سرمایه به صورت زیر قابل ارائه است.

(۵)
$$Y_{gi}=\tau_{gi}\left[\beta_{gi1}h_{gi1}^{\rho_i}+\beta_{gi2}h_{gi2}^{\rho_i}+\beta_{gi3}h_{gi3}^{\rho_i}+\beta_{gi4}h_{gi4}^{\rho_i}+\beta_{gi5}h_{gi5}^{\rho_i}\right]^{\upsilon/\rho_i}$$

در رابطه بالا، Y_{gi} تولید محصول i در منطقه g، h_{igj} عامل تولید j برای تولید محصول i در منطقه g، δ_{gi} پارامتر مقیاس و β_{gij} پارامتر تولید است که سهم نهاده j را برای تولید محصول i در منطقه g نشان می‌دهد. υ ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس می‌باشد و تابع تولید CES مستلزم آن است که این ضریب برابر با یک شود. ρ_i نیز متغیری است که بر حسب کشش جانشینی بین نهاده‌ها (φ) تعریف می‌گردد و از طریق رابطه ریاضی $\rho_i=(\varphi-1)/\varphi$ به دست می‌آید (Howitt et al., 2012; Gravelin, 2016). پس از تخمین تابع تولید و گرفتن مشتق اول از آن، پارامترهای β_{gij} به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

(۶)
$$\sum_{j=1}^{5}\beta_{gij}=1$$

(۷)
$$\beta_1=\frac{1}{1+\frac{w_1^{(-1/\varphi)}}{c_1}\left(\sum_{l}\frac{c_l}{w_1^{(-1/\varphi)}}\right)}$$

(۸)
$$\beta_L=\frac{1}{1+\frac{w_1^{(-1/\varphi)}}{c_L}\left(\sum_{l}\frac{c_L}{w_1^{(-1/\varphi)}}\right)}\times\frac{c_L w_1^{(-1/\varphi)}}{c_1 w_1^{(-1/\varphi)}}$$

(۹)
$$\beta_L=\beta_1\times\frac{c_L w_1^{(-1/\varphi)}}{c_1 w_1^{(-1/\varphi)}}$$

در روابط فوق، w_L میزان عامل تولید L ام و c_L هزینه عامل تولید L ام است. با استفاده از تعریف تابع تولید CES، می‌توان پارامتر مقیاس را برای هر منطقه و محصول محاسبه و هر یک را در سطح پایه ارزیابی نمود. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

(۱۰)
$$\tau_{igj}=\frac{\left(\frac{q_i}{x_i}\right)\times\tilde{x}_i}{\left[\sum_{j=1}^{4}\beta_j w_j^{\rho}\right]^{\upsilon/\rho_i}}\qquad\forall g,i,j$$

مراحل تخمین بالا برای تمام محصولات و مناطق مورد مطالعه قابل تعمیم است (Howitt et al., 2012; Paul et al., 2017).

۲-۱-۴- مرحله چهارم: برآورد تابع هزینه نمایی یا متعالی (ترانسندنتال) و تخمین پارامترهای آن

مرحله چهارم برآورد مدل SWAP شامل تخمین تابع هزینه‌نمایی یا ترانسندنتال[12] (ECF) و محاسبه پارامترهای آن است. برای این کار تابع هزینه کل زمین که به شکل کلی آن به صورت رابطه زیر است، مدنظر می‌باشد (Medellan-Azuara et al., 2010; Howitt et al., 2012):

(۱۱)
$$TC_{gi}(x_{gi})=\delta_{gi}e^{\gamma_{gi}x_{gi}}\qquad\forall g,i$$

در رابطه بالا، TC_{igj} بیانگر هزینه کل زمین برای تولید محصول i در منطقه g، δ_{gi} پارامتر رهگیری (جدا کننده) یا عرض از مبدأ و γ_{gi} پارامتر گاما است که تابعی از کشش عرضه محصول i در منطقه g می‌باشد (η_{gi}). این پارامترها با رگرس کردن (بازگشت دادن) قیمت‌های سایه‌ای واسنجی شده بر روی مقادیر مشاهداتی سطح فعالیت‌ها (مقادیر x_{ig}) به دست می‌آیند:

(۱۲)
$$\gamma_{gi}(x_{gi})=\frac{p_{gi}}{\eta_{gi}x_{gi}}\qquad\forall g,i$$

(۱۳)
$$\delta_{gi}=\frac{AC_{gij}+\lambda_{gi}^{land}}{\gamma_{gi}e^{\gamma_{gi}x_{gi}}}\qquad\forall g,i$$

توابع هزینه‌نمایی یا ترانسندنتال برای ایجاد تناسب بین کشش‌های جانشینی بین نهاده‌ها، نسبت به توابع درجه دوم از قابلیت بیشتری برخوردار بوده و بدون اینکه هزینه نهایی تولید هر واحد محصول

افزایش یابد، این کار را انجام می‌دهند (Medellan-Azuara et al., 2010; Howitt et al., 2012; Mahmoodi and Parhizkari, 2016). شایان توجه است که در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) عمدتاً از شکل تبعی غیرخطی با درجه دو (کوادراتیک) جهت تخمین تابع هزینه بهره گرفته می‌شود. این در حالی است که در مدل تولید محصولات کشاورزی ایالتی یا منطقه‌ای (SWAP) تابع هزینه به کار گرفته شده جهت تخمین و واسنجی ضرایب فنی آلفا و گاما، از شکل تبعی نمایی یا متعالی (ترانسدنتال) تبعیت می‌کند. بایستی توجه نمود که تفاوت اصلی توابع هزینه غیرخطی یا کوادراتیک و نمایی عمدتاً در دقت تخمینی است که برای ضرایب آلفا و گاما در پی دارد، اما استفاده از یک تابع (مثلاً غیرخطی از درجه دو)، در کالیبراسیون مدل‌های PMP و SWAP نقض نتایج به کارگیری تابع هزینه‌نمایی را به دنبال ندارد (Medellan-Azuara et al., 2010; Howitt et al., 2012).

۲-۱-۵- مرحله پنجم: برآورد تابع تقاضای محصولات کشاورزی براساس قیمت‌های درون‌زا

تابع تقاضای برآورد شده برای هر محصول، مطابق با رابطه زیر، میزان تمایل به پرداخت مصرف‌کننده را در سطح معینی از قیمت و تولید آن نشان می‌دهد (Medellan-Azuara et al., 2010; Howitt et al., 2012; Mahmoodi and Parhizkari, 2016).

$$p_{gi} = \psi\alpha_i^1 - \alpha_i^2\left(\sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{5} y_{igj}\right) \qquad \forall i \qquad (۱۴)$$

در رابطه فوق، P_{ig} قیمت محصول i در منطقه g، α_i^1 و α_i^2 به ترتیب عرض از مبدأ و شیب تابع تقاضای محصول i، ψ تغییرات موازی بالقوه در میزان تقاضا با توجه به عوامل برونزا و y_{igj} میزان تولید محصول i در منطقه g با استفاده از نهاده j است. با توجه به میزان تولید هر محصول در دوره پایه ($\tilde{y}_{gi}$)، می‌توان میزان تولید نسبی آن را با کمک رابطه زیر محاسبه کرد.

$$pp_{gi} = \frac{\tilde{y}_{gi}}{\sum_{g=1}^{5}\tilde{y}_{gi}} \qquad \forall i,g \qquad (۱۵)$$

با در اختیار داشتن قیمت بازاری و میزان تولید نسبی هر محصول، می‌توان قیمت موزون آن را به کمک رابطه زیر محاسبه کرد:

$$wp_{gi} = \sum_{g=1}^{5} v_{gi} pp_{gi} \qquad \forall i,g \qquad (۱۶)$$

هزینه بازاریابی منطقه‌ای هر محصول، مابه‌التفات قیمت بازاری و قیمت موزون آن می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$rmc_{gi} = v_{gi} - wp_{gi} \qquad \forall i,g \qquad (۱۷)$$

با توجه به تعاریف فوق و میزان انعطاف‌پذیری قیمت محصولات (χ_i)، می‌توان برای تخمین پارامترهای تابع تقاضای محصولات از روابط زیر استفاده کرد (Medellan-Azuara et al., 2010; Howitt et al., 2012; Mahmoodi and Parhizkari, 2016):

$$\alpha_i^2 = \frac{\chi_i\, wp_{gi}}{\sum_{g=1}^{5}\tilde{y}_{gi}} \qquad \forall i \qquad (۱۸)$$

$$\alpha_i^1 = wp_{gi} - \alpha_i^2\sum_{g=1}^{5}\tilde{y}_{gi} \qquad \forall i \qquad (۱۹)$$

۲-۱-۶- مرحله ششم: ساختن مدل برنامه‌ریزی نهایی و تبیین مدل SWAP واسنجی شده

در این مرحله، با استفاده از تابع هزینه واسنجی شده، تابع تولید منطقه‌ای برآورد شده، قید یا شرط استقرار بازار آب و مجموعه محدودیت‌های منابع، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود.

$$\begin{aligned}\text{Max}\pi = &\sum_{i=1}^{7}[\psi\alpha_i^1(\sum_{g=1}^{5} y_{gt}) + \frac{1}{2}\alpha_i^2(\sum_{g=1}^{5} y_{gj})^2] + \sum_{g=1}^{5}\sum_{i=1}^{7}[rm_{gi}(y_{gj})] \\ &- \sum_{g=1}^{5}\sum_{i=1}^{7}[\delta_{gi}\exp(\gamma_{gi}x_{gi,Land})] - \sum_{g=1}^{5}\sum_{i=1}^{7}(\omega_{gi,supply}x_{gi,supply} + \omega_{gi,Labor}x_{gi,Labor}) \\ &- \sum_{g=1}^{5}\sum_{j=water}^{5}(water_g.\bar{\omega}_{gw}) - \sum_{g=1}^{5}\sum_{j=water}^{5}(trc.d_{gh}.xwt_{ghw})\end{aligned} \qquad (۲۰)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{7} x_{igj} \le A_{igj} \quad \text{for} \quad \forall g,j \ne water \qquad (۲۱)$$

$$water_{gw} \le watcons_{gw} + \sum_{h=1}^{5} xwt_{ghw} - \sum_{g=1}^{5} xwt_{ghw} \qquad (۲۲)$$

$$(\sum_{h=1}^{5} xwt_{ghw})(\sum_{g=1}^{5} xwt_{ghw}) = 0 \qquad (۲۳)$$

$$T_w\, xwt_{ghw} \le Water_{gh,Max} \qquad (۲۴)$$

$$\frac{x_{gi,water}}{x_{gi,land}} \ge 0.90\, a_{gi,Land\bar{\omega}_{gi}} \qquad (۲۵)$$

$$x_{igj}, xwt_{igj} \ge 0 \qquad \forall g,i,j \qquad (۲۶)$$

رابطه (۲۰)، تابع هدف غیرخطی مدل SWAP را نشان می‌دهد. در این رابطه، $x_{gi,Supply}$ میزان عرضه آب و $\omega_{gi,Supply}$ هزینه عرضه یا انتقال آب، $x_{gi,Labor}$ مقدار نیروی‌کار مورد استفاده و $\omega_{gi,Labor}$ هزینه مربوط به نیروی‌کار (دستمزد) را برای تولید محصول i در منطقه g نشان می‌دهد. در بخش قید یا شرط برقراری یا استقرار بازار آب، xwt_{ghw} حجم آب داد و ستد شده بین مناطق g و h، trc هزینه

انتقال آب داد و ستد شده بین مناطق g و h و d_{gh} فاصله یا مسافت بین مناطق g و h (واردکننده و صادرکننده آب) است. رابطه (۲۱)، محدودیت مربوط به نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصولات منتخب (به جز آب) است که در آن A_{gij} مقدار هر یک از عوامل یا منابع در دسترس را در مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد. رابطه (۲۲)، محدودیت مربوط به نهاده آب است که $Watcons_{gw}$ در آن حجم آب لازم در هر منطقه را برای تولید محصولات زراعی نشان می‌دهد. این محدودیت بیانگر آن است که مجموع میزان آب لازم برای کشت محصولات و میزان آب وارد شده (خریداری شده) و صادرات شده (فروخته شده) در یک منطقه، مساوی یا بیشتر از کل حجم آب موجود در آن منطقه است. رابطه (۲۳)، محدودیت انتقال یا تبادل آب را به صورت همزمان بین مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. این محدودیت بیانگر آن است که یک منطقه نمی‌تواند به صورت همزمان به داد و ستد یا خرید و فرش توأم آب بپردازد. رابطه (۲۴) به عنوان محدودیتی دیگر از نهاده آب آبیاری، نشان می‌دهد که مجموع آب خریداری و فروخته شده ($T_w x w t_{ghw}$) بین مناطق g و h، کمتر و یا مساوی با حداکثر حجم آب داد و ستد شده ($Water_{gh,Max}$) بین این مناطق است. رابطه (۲۵)، بیانگر محدودیت کسری آب در منطقه می‌باشد. در مطالعه حاضر، با توجه به اهمیت نهاده آب در تولید محصولات زراعی استان تهران و به منظور اجرایی بودن استراتژی محدودیت آب، کاهش ۱۰ درصدی منابع آب دردسترس مناطق پنجگانه در مدل پیشنهادی لحاظ شد. رابطه (۲۶) نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها و حجم آب داد و ستد شده بین مناطق را نشان می‌دهد.

۲-۲- مدل هیدرولوژیکی ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP)

در این مطالعه، داده‌ها و اطلاعات مربوط به منابع آب دردسترس کشاورزان در مناطق مورد بررسی مطابق با روش ارائه شده Laura et al. (2016) و بهره‌مندی از مدل هیدرولوژیکی سیستم ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) شبیه‌سازی شدند. مدل شبیه‌سازی WEAP می‌تواند اثرات بلندمدت تغییرات اقلیمی تحت تأثیرات نمایشی زیر سیستم‌ها را در سراسر جهان برآورد نماید (Brown et al., 2015). این ابزار که جهت مدیریت و برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب در بخش کشاورزی به‌کار گرفته می‌شود، چهارچوبی جامع و قابل انعطاف برای تحلیل سیاست‌ها فراهم می‌کند. مزیت اصلی این ابزار هیدرولوژیکی، رویکرد یکپارچه آن در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای تحلیل سیاست‌ها می‌باشد (Laura et al., 2016). ساختار مدل WEAP در ابزار واسنجی از پنج نمای اصلی شامل شماتیک، داده‌ها، نتایج، خلاصه و یادداشت‌ها تشکیل شده است. نمای شماتیک برای ایجاد نقشه گره‌های نیاز و یا مخازن ذخیره‌ای در مناطق مورد مطالعه با استفاده از آیتم‌های مختلف به کار گرفته می‌شود. نمای داده‌ها، امکان ایجاد روابط و متغیرها و وارد نمودن فرضیات و برنامه‌های سیاستی را فراهم نموده و نمای نتایج، امکان مشاهده جزیی و قابل انعطاف تمام خروجی‌های مدل را به صورت نمودار و جدول فراهم می‌کند. در نمای خلاصه، می‌توان شاخص‌های کلیدی را در سیستم مدل‌سازی برای مشاهده سریع نتایج انتخاب کرد. نمای یادداشت‌ها نیز محلی را برای مستندسازی داده‌ها و فرضیات مورد بررسی آماده و فراهم می‌کند (Brown et al., 2015; Laura et al., 2016). نحوه به‌کارگیری الگوی WEAP در این مطالعه به منظور برآورد ظرفیت و یا حجم منابع آب دردسترس کشاورزان هر یک از مناطق پنجگانه استان تهران بدین شکل می‌باشد که ابتدا با آگاهی از رفتار هیدرولوژیک دشت‌های استان تهران و جریانات آب سطحی ورودی به آن‌ها، الگوی شماتیک و توسعه‌یافته یا شبیه‌ساز WEAP پیاده‌سازی گردید. الگوی تداعی‌شده شامل واحدهای هیدرولوژیک اصلی ورودی به دشت‌ها (رودخانه‌های کرج، جاجرود، رودشور، حبله‌رود، رود لار)، نواحی کشاورزی آبی- زراعی (M5, M4, M3, M2, M1)، نقاط اساسی برداشت آب برای نیازهای شهری و صنعتی (سد کرج، سد ماملو و سد لتیان)، خطوط انتقال آب به نقاط نیاز، خطوط رواناب و مقادیر نفوذ به آبخوان‌ها، خطوط آب بازگشتی و ایستگاه‌های هیدرومتری است. پس از تعریف نمای اصلی، تعریف گره‌ها و تنظیم پارامترهای کلی، داده‌های مربوط به نیازها و منابع در سال آبی وارد مدل شدند. در ادامه به منظور برآورد و یا شبیه‌سازی منابع آب دردسترس کشاورزان در هر یک از مناطق پنجگانه (یا زیرحوضه‌ها)، از ماژول زراعی MABIA در الگوی WEAP بهره گرفته شد. این ماژول، علیرغم شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک مانند تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و آبیاری، جریانات ورودی و خروجی به زیرحوضه‌ها، قادر به شبیه‌سازی و برآورد ظرفیت و یا حجم منابع آب دردسترس مناطق یا زیرحوضه‌های وارد در الگوی شماتیک می‌باشد. ماژول زراعی MABIA این کار را به کمک داده‌های ورودی ظرفیت نگهداری خاک، ظرفیت سطح اراضی و مقادیر نفوذ انجام می‌دهد.

به طور کلی، در مطالعه حاضر، پس از شبیه‌سازی و برآورد منابع آب دردسترس کشاورزان در مناطق پنجگانه استان تهران از طریق رویکرد فوق و ورود آن‌ها به سیستم مدل‌سازی تولید محصولات کشاورزی منطقه‌ای (SWAP)، اثرات شکل‌گیری بازار آب کشاورزی توأم با شرایط رخداد خشکسالی (با ایجاد سناریوهای کاربردی کاهش منابع آب دردسترس کشاورزان از طریق لحاظ تغییرات در سمت راست محدودیت منابع آب) ارزیابی و تحلیل گردید. اگرچه که ماژول‌های مختلف الگوی WEAP قابلیت برآورد منابع آب دردسترس کشاورزان

هر منطقه در شرایط خشکسالی را دارند، اما در این تحقیق با توجه به اینکه نیاز به شرایط استقرار بازار آب با الگوی SWAP و بررسی اثرات خشکسالی به صورت توأم بر متغیرهای الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان، ارزش اقتصادی و بهره‌وری آب می‌باشد، لذا اثرات پدیده خشکسالی و کم‌آبی با اعمال سناریوی همزمان خشکسالی (۱۰ درصد کاهش در منابع آب دردسترس کشاورزان) و شبیه‌سازی بازار آب صورت گرفت. بایستی توجه داشت که الگوی WEAP قادر به برآورد اثرات خشکسالی بر روی منابع آب است و میزان منابع آب را در شرایط مختلفی از رخداد خشکسالی برآورد می‌نماید، اما قادر به بررسی تأثیر خشکسالی بر روی الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان، ارزش اقتصادی آب، شاخص بهره‌وری آب و دیگر متغیرها نمی‌باشد. به همین دلیل، در این تحقیق از الگوی مذکور به منظور برآورد و یا پیش‌بینی میزان مجموع منابع آب دردسترس کشاورزان هر منطقه بهره گرفته شد. در پایان نیز به منظور بررسی کارکرد نهاد ساختاری بازار آب محلی در استان تهران، شاخص "نسبت سود به آب مصرفی" که بیانگر بهره‌وری نهاده آب است، در حالت رخداد خشکسالی در پایین‌ترین سطح یا شدت ممکن محاسبه شد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۱، ماتریس قابلیت داد و ستد آب آبیاری بین مناطق مورد مطالعه در استان تهران را نشان می‌دهد. این جدول که خروجی بخش اول مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) می‌باشد، بر مبنای اعداد صحیح صفر و یک تنظیم شده است. عدد صفر، عدم داد و ستد آب و عدد یک، امکان داد و ستد آب را بین مناطق مورد مطالعه در شرایط فعلی نشان می‌دهد. مطابق با نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که حوضه شرقی (M_1) استان تهران، امکان داد و ستد آب با حوضه شمالی (M_2) در مرکز و حوضه جنوبی (M_5) در این استان را دارد. حوضه شمالی (M_2) با حوضه‌های شرقی (M_1)، جنوب غربی (M_4) و جنوبی (M_5) داد و ستد آب دارد و حوضه غربی (M_3) نیز به حوضه‌های شمالی (M_2) و جنوب غربی (M_4) صادرات آب انجام می‌دهد. افزون بر این، امکان داد و ستد آب برای حوضه جنوب غربی (M_4) تنها با حوضه‌های غربی (M_3) و جنوبی (M_5) وجود دارد و برای این حوضه به دلایلی همچون توپوگرافی و شیب اراضی، داد و ستد آب با حوضه‌های شرقی (M_1) و شمالی (M_2) ممکن نیست. حوضه جنوبی (M_5) نیز بیشتر نقش وارد کننده آب را دارد و تنها با بخش‌های شمالی حوضه جنوب غربی (M_4) می‌تواند وارد مبادلات آبی در نوع صادرات شود.

جدول ۲ به عنوان بخش دیگری از خروجی الگوی هیدرولوژیکی WEAP، میانگین حجم آب داد و ستد شده (حجم آب صادراتی و وارداتی) طی دوره زمانی پایه (۱۳۹۸-۱۳۹۲) را بین مناطق پنج‌گانه استان تهران (M5, M4, M3, M2, M1) نشان می‌دهد. مطابق با نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که حوضه‌های شرقی (M_1)، شمالی (M_2) و غربی (M_3) استان تهران بیشتر نقش صادرکننده (یا انتقال دهنده) آب کشاورزی را دارند و خالص داد و ستد آن‌ها به ترتیب ۱۰۸/۱۰، ۳۶/۰۸ و ۴/۲۳۰ میلیون مترمکعب است؛ در حالی که حوضه‌های جنوب غربی (M_4) و جنوبی (M_5) استان تهران براساس سطح ارتفاع کمتر و قرارگیری در حوضه‌ای پست‌تر، به عنوان مناطق واردکننده آب شناخته می‌شوند و میانگین داد و ستدی به میزان ۲۷/۶۸ و ۱۲۰/۶۳ میلیون مترمکعب را طی دوره پایه دارا می‌باشند.

با توجه به نتایج جدول ۲، علت نقش صادرکننده بودن آب برای حوضه‌های شمال و شمال غرب استان تهران (حوضه‌های M_1، M_2 و M_3)، شرایط توپوگرافی این مناطق، ارتفاع بالای آن‌ها نسبت به مناطق پایین‌دست (به دلیل کوهستانی بودن) و سهم اندک برخورداری از اراضی قابل کشت برای کشاورزی (به دلیل شیب‌دار و سنگلاخی بودن اراضی) در این حوضه‌ها می‌باشد. بخش اعظمی از آب‌های سطحی در این مناطق از طریق جریانات رودخانه‌ای، احداث سدها، مهندسی مدیریت و کنترل منابع آب به مناطق پایین‌دست در جنوب استان تهران (حوضه‌های M_4 و M_5) انتقال می‌یابند و از دسترس کشاورزان حوضه‌های شمالی خارج می‌شوند.

Table 1- Feasibility study of irrigation water trade between the studied areas in Tehran province

جدول ۱- امکان‌سنجی داد و ستد آب آبیاری بین مناطق مورد مطالعه در استان تهران

Export/Import	Eastern Basin	Northern Basin	Western Basin	Southwest Basin	Southern Basin
Eastern Basin	0	1	0	0	1
Northern Basin	1	0	0	1	1
Western Basin	0	1	0	1	0
Southwest Basin	0	0	1	0	1
Southern Basin	0	0	0	1	0

Table 2- Average volume of traded water between five districts of Tehran during the base period (million m^3)

جدول ۲- میانگین حجم آب انتقالی بین مناطق پنج‌گانه تهران طی دوره پایه (میلیون مترمکعب)

Quintet regions	Entered water	Removed water	Net water trading	The main role of basin
Eastern Basin	75.80	183.70	-108.10	Transferor
Northern Basin	148.64	184.72	-36.08	Transferor
Western Basin	67.60	71.83	-4.230	Transferor
Southwest Basin	129.64	101.96	27.68	Importer
Southern Basin	142.38	21.75	120.63	Importer

به همین دلیل، شکل‌گیری بازار آب محلی بین حوضه‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و جنوب غرب استان تهران نقش بسزایی در مدیریت منابع آب این استان دارد، چرا که امکان داد و ستد آب را بین کشاورزان در مناطق پنج‌گانه فوق ایجاد می‌کند و مانع از خروج آب دردسترس کشاورزان می‌شود. شایان توجه است که اولین گام در راستای مشارکت کشاورزان در طرح بازار آب، ایجاد فرهنگ مصرف بهینه منابع آب دردسترس در سطح اراضی و گام بعدی جهت افزایش تمایل کشاورزان، تعیین قیمت متعارف و منطقی برای نهاده آب به کمک نظام عرضه و تقاضای صحیح و کارآمد است. گام نهایی ایجاد زیرساخت‌ها و مطالعات فنی لازم است که عملاً بدون دو گام قبلی، حتی در صورت اجرایی شدن، نتیجه بخش نخواهد بود.

جدول ۳، تغییرات سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی را در مناطق پنج‌گانه استان تهران تحت شرایط اعمال سناریوی استقرار بازار آب در شرایط نرمال و توأم با رخداد خشکسالی و کم‌آبی نشان می‌دهد. ستون اول در این جدول، تغییرات اراضی و سطح زیرکشت محصولات را در شرایط فقدان یا عدم وجود بازار آب (همان سال مبنا یا پایه) نشان می‌دهد. ستون دوم، بیانگر حالتی است که فقط بازار آب استقرار یافته و شرایط نرمالی به لحاظ اقلیمی وجود دارد (یعنی استقرار بازار آب بدون رخداد خشکسالی). ستون سوم نیز بیانگر حالتی است که بازار آب توأم با شرایط رخداد خشکسالی و کم‌آبی استقرار یافته است. ستون‌های چهارم و پنجم نیز در این جدول، تغییرات سطح اراضی را در حالت‌های دوم و سوم فوق در مقایسه با حالت پایه یا مبنا (حالت اول) بیان می‌کنند.

با توجه به نتایج جدول ۳، ملاحظه می‌شود با برقراری بازار آب محلی در سطح استان تهران، میزان مجموع اراضی آبی تحت کشت محصولات منتخب زراعی در سطح مناطق پنج‌گانه (M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5) کاهش می‌یابد. علت این امر، بهینه‌سازی الگوهای زراعی و تخصیص بخشی از اراضی قابل کشت به صورت زمین‌های آیش‌گذاری شده جهت افزایش سطح تولید محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر و یا ورود محصولات جدید با صرفه اقتصادی مناسب طی دوره‌های آتی در الگوهای زراعی این مناطق است. آن‌چه مُسلّم است بهینه شدن الگوهای زراعی در کلیه حوضه‌های تحت پوشش نهاد بازار آب محلی در استان تهران است که جایگزینی محصولات با صرفه اقتصادی بیشتر را به جای محصولات کم‌بازده‌تر در الگوهای زراعی به دنبال دارد. با استقرار بازار آب محلی توأم با شرایط رخداد خشکسالی شدید، میزان مجموع اراضی آبی تحت کشت محصولات منتخب زراعی در سطح مناطق پنج‌گانه شرقی، شمالی، غربی، جنوب غرب و جنوبی (M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5) نسبت به شرایط دوره پایه (عدم استقرار بازار آب محلی) معادل با ۰/۸۳، ۰/۴۵، ۰/۸۵، ۰/۵۶ و ۰/۹۲ درصد کاهش می‌یابد. یافته‌ها نشان می‌دهد که با مشارکت کشاورزان در نهاد ساختاری بازار آب تحت شرایط رخداد خشکسالی شدید در سطح استان تهران، میزان مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی به صورت ناچیز و حدود ۸۷۴ هکتار (تغییر ۰/۷۶ درصدی نسبت به الگوی زراعی دوره پایه) کاهش می‌یابد. این نتیجه مهم، حاکی از کارکرد مناسب و مثبت نهاد ساختاری بازار آب محلی در سطح استان تهران، به ویژه در شرایط رخداد خشکسالی و محدود شدن منابع آب دردسترس کشاورزان است. این در حالی است که اگر داد و ستد آب بین مناطق پنج‌گانه صورت نگیرد و یا به عبارت دیگر بازار آب کشاورزی در استان تهران محقق نشود، بدون شک در شرایط رخداد خشکسالی متوسط تا شدید سطح زیرکشت بسیاری از محصولات منتخب زراعی از جمله محصولات آب‌بر ذرت دانه‌ای، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی و هندوانه تا حد زیادی کاهش می‌یابد و مسأله کمبود آب به وجود آمده در اثر خشکسالی شدید، کشاورزان تهرانی را به سمت کاهش سطح زیرکشت محصولات آب‌بر و جایگزینی سطح آن‌ها با محصولات غله‌ای کم‌آبی چون گندم و جو سوق می‌دهد.

افزون بر نتایج فوق، یافته‌های جدول ۳ حاکی از آن است که پس از استقرار بازار آب محلی، کشاورزان تهرانی به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات با بازده ناخالص بیشتر مانند ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هنـــدوانه، آفتابگردان و کلزا متمایل می‌شوند و از سطح

Table 3- Total arable land in the presence or absence of water market with the occurrence of drought
جدول ۳- مجموع اراضی زراعی در شرایط وجود و عدم وجود بازار آب توأم با رخداد خشکسالی

Study basin & Agricultural products	Lack of water market in base period conditions*	Existence of water market in normal conditions**	Existence of water market with drought***	Percentage of land change after the first scenario	Percentage of land change after the second scenario
Eastern Basin	6886	6762	6829	-1.80	-0.83
Northern Basin	11981	11680	11927	-2.51	-0.45
Western Basin	16861	16549	16718	-1.85	-0.85
Southwest Basin	30737	30300	30564	-1.42	-0.56
Southern Basin	48330	47328	47883	-2.07	-0.92
Total lands*×	114795	112619	113921	-1.90	-0.76
Wheat	56805	54131	54884	-4.71	-3.38
Barley	32400	30948	31416	-4.48	-3.04
Corn	9380	9524	9625	1.54	2.61
Tomato	8760	9034	9130	3.13	4.22
Watermelon	1327	1640	1436	23.59	8.21
Sunflower	2920	3574	3615	22.40	23.8
Canola	3203	3768	3815	17.64	19.1
Total lands*×	114795	112619	113921	-1/90	-0.76

*, **, *** and *×: In terms of hectares

زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی در الگوی کشت حوضه‌های مطالعاتی می‌کاهند. از این رو، سطح زیرکشت محصولات ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا در الگوی کشت مناطق پنج‌گانه افزایش می‌یابد. با استقرار بازار آب محلی در سطح استان تهران، کشاورزان حوضه‌های مورد مطالعه به ترتیب ۲۶۷۴ و ۱۴۵۲ هکتار از سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی می‌کاهند و منابع آب مورد استفاده در تولید این محصولات را برای کشت مازاد ۱۴۴ هکتار ذرت دانه‌ای، ۲۷۴ هکتار گوجه‌فرنگی، ۳۱۳ هکتار هندوانه، ۶۵۴ هکتار آفتابگردان و ۵۶۵ هکتار کلزا در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی تخصیص می‌دهند. با استقرار نهاد ساختاری بازار آب محلی، اگرچه تولید محصولات غله‌ای در سطح استان تهران تا حدودی کاهش می‌یابد، اما این امکان برای کشاورزان به وجود می‌آید تا بتوانند علی‌رغم تولید محصولات گندم و جو آبی در حد نیاز استان، محصولات پربازده‌ای مانند هندوانه، آفتابگردان و ذرت دانه‌ای را کماکان در الگوی کشت حوضه‌های مطالعاتی حفظ نمایند و مانع از کاهش سطح زیرکشت این محصولات شوند. به طور کلی، دستیابی به الگوی بهینه کشت در سطح استان تهران پس از استقرار بازار آب محلی، کاهش ۱/۹۰ درصدی (کاهش ۲۱۷۶ هکتاری) مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی را نسبت به شرایط نبود بازار آب به دنبال دارد.

مطابق با یافته‌های جدول ۳، کشاورزان تهرانی در شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی شدید نیز به توسعه سطح زیرکشت محصولات سودآورتر الگو، از جمله ذرت دانه‌ای، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی، هندوانه و کلزا روی آورده و همچنان تمایلی به افزایش سطح زیرکشت محصولات کم‌بازده‌تر گندم و جو آبی در الگوی زراعی ندارند. تفاوت اصلی نتایج به دست آمده در این نکته است که کشاورزان تهرانی در شرایط رخداد خشکسالی مادامی که در نهاد بازار آب محلی مشارکت می‌کنند (سناریوی دوم)؛ از سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی به میزان کمتری می‌کاهند، ولی سطح زیرکشت محصولاتی چون ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، آفتابگردان و کلزا را به میزان بیشتری توسعه می‌دهند. افزون بر این، علی‌رغم کارکرد مثبت نهاد ساختاری بازار آب محلی در راستای تعادل‌بخشی داد و ستد آب آبیاری، علی‌رغم رخداد خشکسالی و محدود شدن منابع آب دردسترس کشاورزان، تمایل آن‌ها برای توسعه سطح زیرکشت محصول هندوانه افزایش می‌یابد و از ۱۳۲۷ به ۱۴۳۶ هکتار می‌رسد (توسعه ۸/۲۱ درصدی سطح زیرکشت). این در حالی است که در شرایط وجود بازار آب بدون رخداد خشکسالی (سناریوی اول)، به علت تأمین منابع آب موردنیاز و عدم محدودیت در استفاده از این نهاده، کشاورزان تهرانی سطح زیرکشت هندوانه را از ۱۳۲۷ به ۱۶۴۰ هکتار افزایش می‌دهند (توسعه ۲۳/۵۹ درصدی سطح زیرکشت). به طور کلی، نتایج جدول ۳ حاکی از آن است که پس از استقرار بازار آب محلی در سطح استان تهران و رخداد توأمان خشکسالی، کشاورزان سطح بیشتری از اراضی آیش‌گذاری شده را در شرایط وجود بازار آب بدون رخداد خشکسالی (سناریوی اول) به زیرکشت محصولات سودآوری چون ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، آفتابگردان و کلزا می‌برند تا بتوانند زیان‌های ناشی از رخداد خشکسالی را به حداقل میزان ممکن برسانند. لذا، در شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی تغییرات کمتری برای مجموع

سطح زیرکشت محصولات منتخب در الگوی کشت مناطق مورد بررسی پیش‌بینی می‌شود. کاهش ۰/۷۶ درصدی سطح زیرکشت محصولات منتخب طی اعمال سناریوی استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی در مقایسه با کاهش ۱/۹۰ درصدی سطح زیرکشت محصولات منتخب طی اعمال سناریوی وجود بازار آب در شرایط نرمال و بدون رخداد خشکسالی گواه بر این امر است.

نکته قابل توجه دیگر مطابق با نتایج مندرج در جدول ۳ آن است که مجموع سطح زیرکشت الگو در شرایط رخداد خشکسالی توأم با وجود بازار آب نسبت به شرایط وجود بازار آب در شرایط نرمال بیشتر می‌باشد (با تفاوت خیلی اندک). این میزان اختلاف می‌تواند ناشی از کارکرد مثبت استقرار بازار آب در شرایط رخداد خشکسالی باشد که کشاورزان را برای تخصیص منابع آب در سطح اراضی بیشتری نسبت به حالت نرمال سوق می‌دهد. درواقع، وقتی کشاورز در شرایط رخداد خشکسالی می‌داند و امید به این دارد که می‌تواند با مشارکت در بازار آب، منابع اب موردنیاز جهت تخصیص در سطح اراضی زیرکشت خود را تأمین نماید، این امر سبب می‌شود که به لحاظ روانی و در راستای تحقق سوداوری بیشتر (که هدف اصلی کشاورز ان هم با جو منفی ناشی از رخداد خشکسالی می‌باشد) تمایل بیشتری را برای افزایش سطح زیرکشت محصولات زراعی خود در سطح اراضی موجود داشته باشد. کما اینکه این میزان تفاوت فاحش نیست و خیلی اندک می‌باشد. اما مطابق با نتایج ملاحظه می‌شود که کشاورزان استان تهران در شرایط رخداد خشکسالی حتی با پشتوانه وجود بازار آب محلی، هیچگاه سطح اراضی خود را نسبت به شرایط سال پایه یا مبنا (فقدان بازار آب) بالاتر نخواهند برد و این نکته یعنی همان اثر منفی و غیرمستقیمی که خشکسالی می‌تواند بر روی تصمیمات کشاورزان داشته باشد. به همین خاطر ملاحظه می‌شود که در شرایط رخداد خشکسالی حتی با برقراری نهاد ساختاری بازار آب، مجموع سطح زیرکشت الگوی پیشنهادی کمتر از مجموع سطح زیرکشت در شرایط سال پایه (یعنی عدم وجود بازار آب) است.

جدول ۴، میزان مجموع بازده ناخالص کشاورزان را در شرایط نبود بازار آب (دوره پایه) و پس از شکل‌گیری این نهاد ساختاری در سطح مناطق پنج‌گانه استان تهران (M_1، M_2، M_3، M_4و M_5) توأم با شرایط رخداد خشکسالی و کم‌آبی نشان می‌دهد.

مطابق با نتایج این جدول ملاحظه می‌شود که پس از استقرار بازار آب محلی در سطح استان تهران، به علت تغییرات به وجود آمده در الگوهای بهینه زراعی حوضه‌های شرقی، شمالی، غربی، جنوب غرب و جنوبی (M_1، M_2، M_3، M_4و M_5) میزان بازده ناخالص کشاورزان نیز در این مناطق تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به ترتیب ۷/۷۰، ۱۱/۶، ۶/۵۵، ۵/۶۷ و ۶/۵۱ درصد نسبت به میانگین بازده ناخالص در دوره پایه افزایش می‌یابد. علت این میزان افزایش در سود ناخالص کشاورزان تهرانی پس از مشارکت در برقراری نهاد ساختاری بازار آب، افزایش سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر مانند ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، کلزا و آفتابگردان در الگوهای بهینه کشت و جایگزینی سطح مازاد این محصولات به جای سطح کاهش یافته محصولات کم‌بازده‌تر غله‌ای گندم و جو آبی است. افزون بر یافته‌های فوق، نتایج جدول ۴ حاکی از آن است که پس از شکل‌گیری بازار آب محلی، کشاورزان حوضه‌های جنوب غربی و جنوبی استان تهران (M_4 و M_5) بیشترین میزان بازده ناخالص حاصل از الگوی کشت را به دست می‌آورند.

به طور کلی، با شکل‌گیری بازار آب محلی در سطح استان تهران به دلیل تغییرات به وجود آمده در الگوهای زراعی و بهینه شدن آن‌ها، مجموع سود ناخالص کشاورزان نسبت به دوره پایه (در شرایط نبود بازار آب) حدود ۶/۹۶ درصد افزایش می‌یابد و از ۱۹۳۷۸/۷۹۰ به ۲۰۷۲۷/۰۰ میلیون ریال می‌رسد. این نتیجه مهم، نقش مؤثر و مثبت نهاد ساختاری بازار آب را در بهینه‌سازی الگوهای کشت مناطق پنج‌گانه استان تهران و حصول حداکثر بازده ناخالص برای کشاورزان این حوضه‌ها نشان می‌دهد.

Table 4- Total farmers' gross profit in presence or absence of water market with the occurrence of drought

جدول ۴- بازده ناخالص کشاورزان در شرایط وجود و عدم وجود بازار آب توأم با رخداد خشکسالی

Study basin & Agricultural products	Lack of water market in base period conditions*	Existence of water market in normal conditions**	Existence of water market with drought***	Percentage of land change after the first scenario	Percentage of land change after the second scenario
Eastern Basin	818.1197	994.1289	511.1236	70.7	23.3
Northern Basin	290.2255	927.2516	607.2314	6.11	63.2
Western Basin	010.2730	854.2908	106.2804	55.6	71.2
Southwest Basin	221.5115	599.5404	708.5231	76.5	28.2
Southern Basin	447.8080	625.8606	878.8290	51.6	60.2
Total profit*×	790.19378	00.20727	72.19877	96.6	57.2

*, **, *** and *×: In terms of million rials

علت اصلی این امر، ایجاد شرایط لازم جهت داد و ستد آب آبیاری بین مناطق مختلف کشاورزی استان تهران و محدود نشدن کشاورزان در این مناطق جهت تولید محصولات با سود اقتصادی بالا ولو آب‌بر است. این قابلیت بازار آب محلی، کشاورزان مناطق پنج‌گانه را قادر می‌سازد تا با تأمین آب موردنیاز اراضی زراعی خود از طریق انجام داد و ستد در بازار بتوانند محصولات با سود اقتصادی بالاتر ولو آب‌بر مانند هندوانه، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و آفتابگردان را در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی حفظ نموده و منابع آب تأمین شده را برای تولید آن‌ها در سطوح وسیع‌تر تخصیص دهند. این در حالی است که طی شرایط دوره پایه (یعنی قبل از استقرار بازار آب)، حجم زیادی از منابع آب جریان یافته در سطح حوضه‌های شرقی، شمالی و غربی استان تهران بدون استفاده و یا به دلیل عدم داد و ستد با حوضه‌های دیگر از دسترس کشاورزان خارج می‌شود.

بخش دیگری از نتایج جدول ۴، میزان تغییرات سود ناخالص حاصل از الگوهای بهینه زراعی را در مناطق پنج‌گانه استان تهران پس از اعمال سناریوی استقرار بازار آب محلی در شرایطی توأم با رخداد خشکسالی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که میزان مجموع بازده ناخالص کشاورزان تهرانی در سطح حوضه‌های M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5 پس از استقرار بازار آب تحت شرایط رخداد خشکسالی شدید نسبت به شرایط عدم وجود بازار آب (دوره پایه) به ترتیب معادل با ۳/۲۳، ۲/۶۳، ۲/۷۱، ۲/۲۸ و ۲/۶۰ درصد افزایش می‌یابد. اگرچه که رخداد خشکسالی به دلیل ایجاد محدودیت در عرضه منابع آب، منجر به کاهش سود ناخالص کشاورزان می‌شود؛ اما کارکرد مثبت و بهینه نهاد ساختاری بازار آب محلی این میزان کاهش سود را تعدیل نموده و در نهایت از طریق تعادل‌بخشی داد و ستد آب آبیاری بین کشاورزان در مناطق پنج‌گانه استان تهران، سبب افزایش سود ناخالص حاصل از الگوهای زراعی ولو به میزان کمتر می‌شود. به طور کلی، نتایج جدول ۴ حاکی از آن است که میزان مجموع بازده ناخالص کشاورزان استان تهران در شرایط استقرار و شکل‌گیری بازار آب محلی حدود ۶/۹۶ درصد نسبت به شرایط دوره پایه (عدم وجود بازار آب) رشد می‌کند؛ در حالی که رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی در شرایط استقرار بازار آب محلی با کاهش میزان بازدهی ناخالص کشاورزان (تا حدود ۴/۳۹ درصد نسبت به دوره پایه) سبب می‌شود که حصول سود ناخالص از الگوی کشت زراعی استان تهران تنها حدود ۴۹۸/۹۳۳ میلیون ریال (۲/۵۷ درصد) بیشتر از میانگین بازده ناخالص طی دوره پایه باشد. آنچه در اینجا مشهود است، کارکرد مناسب و بهینه ساختار بازار آب محلی در جهت کاهش پیامدهای منفی پدیده خشکسالی است که تولید محصولات منتخب زراعی استان تهران را نه تنها در موارد نیاز به منابع آب کم‌تر (گندم و جو آبی)، بلکه در راستای توسعه کشت محصولات سودآور ولو پرآب‌تر (هندوانه، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی و ذرت دانه‌ای) سوق می‌دهد. جدول ۵ اثرات شکل‌گیری بازار آب محلی را در راستای تعیین ارزش واقعی یا اقتصادی نهاده آب آبیاری تحت شرایط نرمال و رخداد خشکسالی در سطح حوضه‌های مطالعاتی استان تهران (M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5) نشان می‌دهد.

مطابق با نتایج جدول ۵، ملاحظه می‌شود که نهاد ساختاری بازار آب مکانیسم مناسبی جهت تعیین ارزش اقتصادی نهاده آب آبیاری در سط حوضه‌های مطالعاتی استان تهران است و این نتیجه مهم بیانگر یکی دیگر از کارکردهای مثبت و مناسب بازار آب محلی به شمار می‌رود.

یافته‌ها حاکی از آن است که داد و ستد آب آبیاری بین کشاورزان در سطح مناطق مختلف استان تهران تنها با رعایت شرایط قیمت‌گذاری صحیح منابع آب قابل حصول و دردسترس کشاورزان امکان‌پذیر است. مطابق با نتایج جدول ۵، ملاحظه می‌شود که ارزش واقعی نهاده آب با برقراری داد و ستد آب آبیاری بین کشاورزان مناطق پنج‌گانه و استقرار بازار آب محلی، به ترتیب معادل با ۱۴/۰۱، ۴/۵۸، ۱۶/۵۱، ۹/۰ و ۶/۰۱ درصد نسبت به شرایط دوره پایه (قبل از شکل‌گیری بازار آب) افزایش می‌یابد.

Table 5- Economic value of water in the presence and absence of water market with the occurrence of drought

جدول ۵- ارزش اقتصادی آب در شرایط وجود و عدم وجود بازار آب توأم با رخداد خشکسالی

Study basin & Agricultural products	Lack of water market in base period conditions*	Existence of water market in normal conditions**	Existence of water market with drought***	Percentage of land change after the first scenario	Percentage of land change after the second scenario
Eastern Basin	182.7	208.3	220.4	14.01	20.6
Northern Basin	931.1	937.7	986.4	4.58	5.94
Western Basin	432.5	503.9	508.8	16.51	17.6
Southwest Basin	709.8	733.7	779.8	9.00	9.86
Southern Basin	1298.5	1376.5	1393.7	6.01	7.33
Average of value*×	710.9	767.2	777.8	7.92	9.41

*, **, *** and *×: In terms of rials/m3

مطابق با ماتریس امکان‌سنجی مشارکت در طرح جامع بازار آب، حوضه‌های مطالعاتی استان تهران اغلب نقش واردکننده آب را دارند و می‌توانند سالانه منابع آب زیادی را از حوضه‌های هم‌جوار خود دریافت نمایند. ملاحظه می‌شود ارزش اقتصادی آب که بیانگر مقدار واقعی این نهاده کمیاب است، با محدود شدن منابع آب دردسترس کشاورزان و افزایش صادرات یا فروش آن در مناطق مبدأ روند صعودی در پیش می‌گیرد. به همین دلیل، درصد تغییرات ارزش اقتصادی آب در سطح حوضه‌های شرقی (M_1) و غربی (M_3) استان تهران که بیشتر نقش صادرکننده آب را دارند، نسبت به دیگر حوضه‌های مطالعاتی بالاتر است. بخش دیگری از نتایج نشان می‌دهد که رخداد خشکسالی در شرایط استقرار بازار آب به دلیل محدود نمودن حجم بیشتری از منابع آب دردسترس کشاورزان، منجر به افزایش ارزش واقعی این نهاده می‌شود. لذا، قیمت‌گذاری نهاده آب توسط بازار در سطح حوضه‌های مطالعاتی استان تهران توأم با رخداد خشکسالی (سناریوی دوم) در سطحی بالاتر از مقادیر برآورد شده در شرایط وجود بازار آب (سناریوی اول) صورت می‌گیرد. این میزان حدود ۳۷/۷، ۵۵/۳، ۷۶/۳، ۷۰/۰ و ۹۵/۲ ریال در مترمکعب بیشتر از ارزش واقعی نهاده آب در شرایط دوره پایه (قبل از استقرار بازار آب) است.

افزون بر بازده ناخالص و ارزش اقتصادی نهاده آب، متغیرهای اقتصادی دیگری مانند مجموع آب مصرفی، نیروی کار، سرمایه اولیه و ساعات کار ماشین‌آلات نیز وجود دارند که می‌توانند با مشارکت کشاورزان تهرانی در طرح بازار آب محلی تحت تأثیر قرار بگیرند. نمودارهای شکل ۲ روند تغییرات متغیرهای مذکور را در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی استان تهران (M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5) پس از برقراری بازار آب محلی در شرایط نرمال اقلیمی (سناریوی اول) و استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی (سناریوی دوم) در مقایسه با دوره پایه (نبود بازار آب) نشان می‌دهند.

مطابق با شکل ۲، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه میزان تغییرات مجموع آب مصرفی در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی استان تهران پس از استقرار بازار آب محلی ناچیز می‌باشد، اما با این وجود کارکرد مناسب نهاد ساختاری بازار آب افزون بر بهینه‌سازی الگوهای زراعی، بر روی مقادیر آب مصرفی در الگوها نیز اثرگذار بوده و کشاورزان تهرانی را به سمت و سوی مدیریت پایدار منابع آب سوق می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با برقراری بازار آب محلی، میزان مجموع مصارف نهاده‌های سرمایه‌ای در سطح الگوهای زراعی حوضه‌های پنج‌گانه نسبت به میانگین دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. مهم‌ترین علت این امر، کاهش سطح اراضی تحت کشت محصولات غله‌ای در قالب برنامه آیش‌گذاری جهت جایگزینی و ورود محصولات با سودآوری بالاتر در الگوهای زراعی است. این درحالی است که با رخداد خشکسالی در شرایط وجود بازار آب محلی، توجه کشاورزان به سمت و سوی حفظ و توسعه سطح زیرکشت محصولات سودآور ولو آب‌بر (مانند گوجه‌فرنگی، هندوانه، ذرت دانه‌ای و آفتابگردان) در الگوهای زراعی سوق می‌یابد و به همین دلیل، میزان مصارف نهاده‌های سرمایه‌ای نسبت به حالت وجود بازار آب محلی در شرایط نرمال بیشتر می‌شود. بنابراین، کارکرد مثبت و مناسب دیگری که استقرار بازار آب محلی در سطح استان تهران به دنبال دارد، بهینه‌سازی میزان مصارف نهاده‌های سرمایه‌ای در سطح الگوهای زراعی حوضه‌های شرقی، شمالی، غربی، جنوب غرب و جنوبی استان تهران به ویژه در زمان رخداد پدیده خشکسالی است. اگرچه که در این راستا، تغییرات به وجود آمده در میزان مجموع نهاده سرمایه اولیه در سطح حوضه شمالی (M_2) متمایزتر از دیگر مناطق مطالعاتی است که این امر به دلیل توسعه فعالیت‌های زراعی در دشت تهران- کرج و مناطق هموار شمالی این استان است. افزون بر این، نتایج شکل ۲ گویای آن است که میزان به‌کارگیری نهاده ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی در سطح الگوهای بهینه زراعی حوضه‌های پنج‌گانه استان تهران نسبت به دوره پایه (قبل از استقرار بازار آب) کاهش می‌یابد و حوضه‌های شمالی (دشت تهران- کرج) و جنوبی (دشت ورامین و قرچک) بیشترین تغییرات کاهش ساعات کار ماشین‌آلات را در الگوهای زراعی خود دارند. این امر تا حد زیادی مرتبط با کاهش سطح اراضی زراعی مناطق مذکور جهت تحقق برنامه آیش‌گذاری اراضی و توسعه سطح زیرکشت محصولات سودآور در الگوهای زراعی پس از شکل‌گیری بازار آب محلی است. به‌طور کلی، میزان مجموع تغییرات نهاده‌های مصرفی در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی استان تهران تا حد زیادی تابع تغییرات سطح زیرکشت محصولات است.

پس از بررسی اثرات استقرار بازار آب محلی در شرایط رخداد خشکسالی بر مجموعه متغیرهای اقتصادی در بخش منابع آب و کشاورزی استان تهران، شاخص "نسبت سود به آب مصرفی" یا همان "شاخص بهره‌وری آب" که بیانگر میزان بازده ناخالص حاصل از مصرف هر مترمکعب آب آبیاری در واحد سطح محصولات منتخب زراعی است، ارزیابی شد.

جدول ۶ نتایج حاصل از برآورد این شاخص را در سطح حوضه‌های مطالعاتی استان تهران (M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که استفاده از هر مترمکعب آب آبیاری پس از استقرار بازار آب محلی در سطح حوضه شرقی (M_1) حدود ۴۲/۷۲ ریال، در سطح حوضه شمالی (M_2) حدود ۴۳/۲۶ ریال، در سطح حوضه غربی (M_3) حـــدود ۳۷/۴۴ ریال، در سطح حوضه جنوب غربی (M_4) حدود

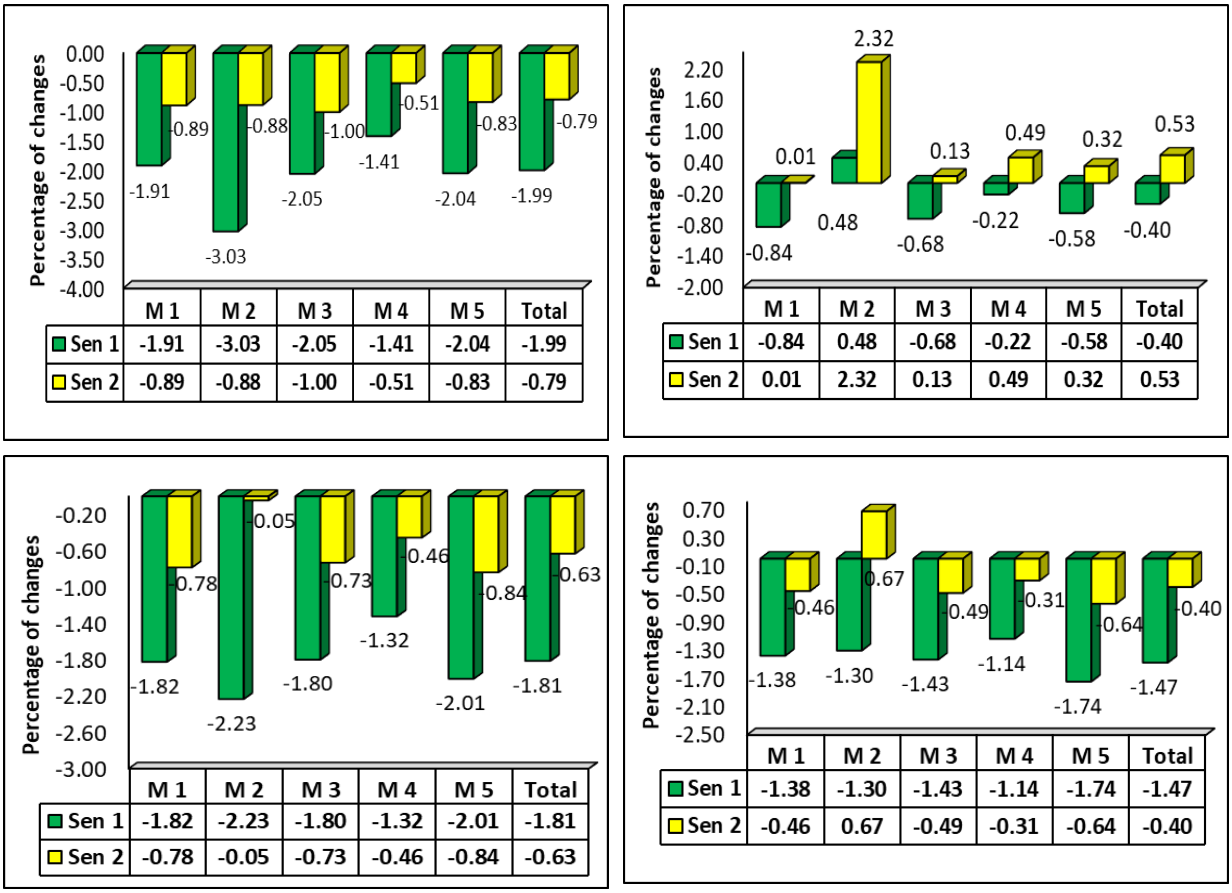

Fig. 2- Changes in total water consumption (top, right), labor (top, left), initial capital (bottom, right) and machine hours (bottom, left) in agronomic patterns of study basins under the conditions of establishing the water market simultaneously with the occurrence of drought

شکل ۲- تغییرات مجموع آب مصرفی (بالا، سمت راست)، نیروی‌کار (بالا، سمت چپ)، سرمایه اولیه (پایین، سمت راست) و ساعات کار ماشین‌آلات (پایین، سمت چپ) در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی تحت شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد پدیده خشکسالی

۳۶/۹۶ ریال و در سطح حوضه جنوبی (M_5) حدود ۳۶/۹۱ ریال سودآوری را برای کشاورزان به دنبال دارد. این در حالی است که میزان سود ناخالص حاصل از مصرف هر مترمکعب آب آبیاری قبل از استقرار بازار آب محلی (دوره پایه) در مناطق مذکور به ترتیب حدود ۳۹/۳۳، ۳۸/۹۵، ۳۴/۹۰، ۳۴/۹۰ و ۳۴/۴۶ ریال در مترمکعب می‌باشد. یافته‌ها حاکی از افزایش حدود ۸/۶۱، ۱۱/۰۶، ۷/۲۸، ۵/۸۹ و ۷/۱۳ درصد از شاخص نسبت سود به آب مصرفی در سطح مناطق مطالعاتی استان تهران نسبت به دوره پایه (قبل از استقرار بازار آب محلی) می‌باشند. بنابراین، نهاد ساختاری بازار آب امکان افزایش نسبت سود به آب مصرفی یا بهره‌وری آب را در واحد سطح محصولات منتخب استان تهران پس از استقرار بازار آب محلی بین حوضه‌های پنج‌گانه محقق می‌کند که این نتیجه مهم، بیانگر یکی دیگر از کارکردهای مثبت و سازنده بازار آب محلی است.

افزون بر یافته‌های فوق، نتایج جدول ۶ گویای آن است که بهره‌برداری از هر مترمکعب آب آبیاری در الگوهای زراعی حوضه‌های شرقی (M_1)، شمالی (M_2)، غربی (M_3)، جنوب غربی (M_4) و جنوبی (M_5) استان تهران در شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی نسبت به دوره پایه (شرایط عدم وجود بازار آب) به ترتیب بهره‌وری ۳/۲۲، ۰/۳۱، ۲/۵۸، ۱/۷۸ و ۲/۲۷ درصدی را به دنبال دارد.

در واقع، رخداد شرایط خشکسالی، نسبت سود به آب مصرفی یا بهره‌وری آب را در سطح الگوهای زراعی مناطق مذکور به ترتیب ۵/۳۹، ۱۰/۷۵، ۴/۷۰، ۴/۱۱ و ۴/۸۶ درصد کاهش می‌دهد؛ اما با این وجود، کارکرد مثبت و مناسب ساختار نهادی بازار آب محلی از طریق برقراری داد و ستـــد آب آبیاری بین حوضه‌های پنج‌گانه استان تهران سبب می‌شود تا اثرات منفی و کاهنده ناشی از رخداد خشکسالی بـــر

Table 6- Profit to water ratio index in the presence of water market with drought

جدول ۶- شاخص نسبت سود به آب مصرفی (شاخص بهره‌وری آب) در شرایط وجود بازار آب توأم با رخداد خشکسالی

Study basin & Agricultural products	Lack of water market in base period conditions*	Existence of water market in normal conditions**	Existence of water market with drought***	Percentage of index change after the first scenario	Percentage of index change after the second scenario
Eastern Basin	33.33	42.72	40.60	8.61	3.22
Northern Basin	38.95	43.26	39.07	11.06	0.31
Western Basin	34.90	37.44	35.80	7.28	2.58
Southwest Basin	34.90	36.96	35.52	5.89	1.78
Southern Basin	34.46	36.91	35.24	7.13	2.27
Averege of index*×	35.38	38.00	36.10	7.38	2.03

*, **, *** and *×: In terms of rials/m3

شاخص نسبت سود به آب مصرفی یا بهره‌وری آب تا حد زیادی خنثی و مرتفع گردد.به طور کلی، نتایج جدول ۶ حاکی از آن است که شاخص اقتصادی نسبت سود به آب مصرفی در سطح استان تهران در شرایط استقرار بازار آب محلی (سناریوی اول) حدود ۷/۳۸ درصد و در شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی (سناریوی دوم) حدود ۲/۰۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که این نتیجه مهم، اثرات مؤثر و سازنده استقرار بازار آب محلی را در سطح استان تهران تحت شرایط رخداد پدیده خشکسالی بازگو می‌کند.

شکل ۳ با نشان دادن تفاوت بین شرایط استقرار بازار آب محلی و رخداد خشکسالی در بهره‌برداری از منابع آب کشاورزی و منافع حاصل از آن، کارکر مثبت و سازنده نهاد ساختاری بازار آب محلی را در سطح استان تهران بازگو می‌کند. مطابق با این شکل، ملاحظه می‌شود که رخداد خشکسالی، اگرچه شاخص بهره‌وری آب را در الگوهای زراعی حوضه‌های مطالعاتی استان تهران به میزان ۴/۱۱ تا ۱۰/۷۵ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌دهد؛ اما استقرار بازار آب محلی در سطح این استان پیامد منفی پدیده خشکسالی را تقلیل نموده و با توجه به برقراری مکانیسم داد و ستد آب آبیاری بین مناطق M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5 و تعدیل در منابع آب پایدار، نسبت سود به آب مصرفی یا بهره‌وری آب را در سطح الگوهای زراعی مناطق مذکور از ۵/۸۹ تا ۱۱/۰۶ درصد نسبت به دوره پایه بهبود می‌بخشد.

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، حوضه شمالی (M_2) با در بر داشتن دشت تهران- کرج بیشترین تغییرات کاهشی و افزایشی شاخص بهره‌وری آب را به ترتیب در زمان رخداد خشکسالی و استقرار بازار آب محلی به خود اختصاص داده است که این امر تا حد زیادی به علت تغییرات گسترده سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی تحت شرایط اعمال سناریوهای مذکور می‌باشد.

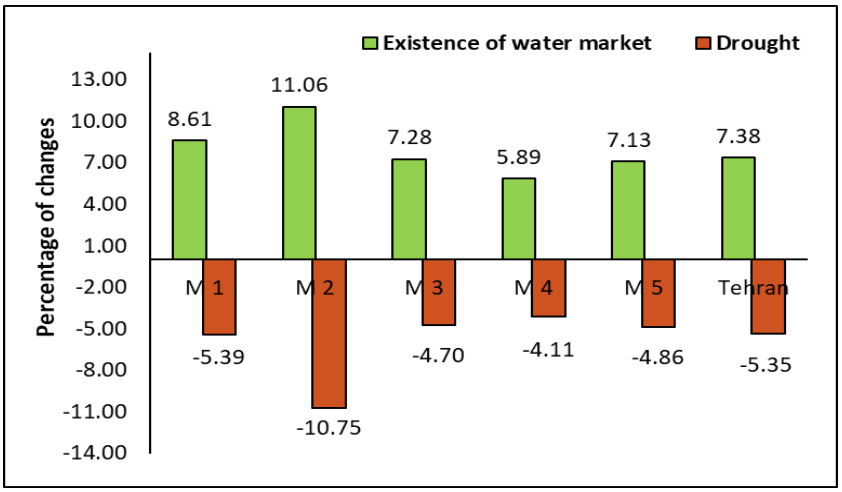

Fig. 3- Economic index "profit to consumption water" after the establishment of the local water market in comparison with the occurrence of drought in Tehran

شکل ۳- شاخص اقتصادی "نسبت سود به آب مصرفی" پس از استقرار بازار آب محلی در مقایسه با شرایط رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی در استان تهران

این در حالی است که حوضه جنوب غربی با در بر داشتن دشت شهر ری تحت شرایط مذکور، مشمول کمترین تغییرات کاهشی و افزایشی شاخص بهره‌وری آب در مقایسه با دیگر حوضه‌های مطالعاتی است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه به‌کارگیری برنامه‌های سیاستی مناسب و ارزیابی پیامدهای بالقوه آن‌ها بر الگوهای زراعی و مصارف آب، زمینه را برای تقویت نقش اقتصادی نهاده کمیاب آب در فرآیند توسعه بخش کشاورزی فراهم می‌سازد؛ اما لازم است قبل از اجرایی شدن برنامه‌های سیاستی مناسب، رفتار احتمالی کشاورزان نسبت به اجرای این برنامه‌ها پیش‌بینی گردد تا برنامه‌ریزان بخش را در اجرای هر چه بهتر برنامه‌های سیاستی یاری رساند. یکی از این برنامه‌ها که طی سالیان اخیر توجه ویژه‌ای در سطح بین‌المللی و ملی به آن شده، مشارکت کشاورزان در نهاد ساختاری بازار آب است. این ساختار قانونی و عرفی داد و ستد آب، پس از استقرار کامل می‌تواند در مواقع رخداد خشکسالی و کم‌آبی نقش بسزایی را در مدیریت الگوهای زراعی ایفا کند. بر این اساس، در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از یک سیستم مدل‌سازی اقتصادی- هیدرولوژیکی تحت عنوان الگوی تولیدات کشاورزی منطقه‌ای (SWAP) اثرات شکل‌گیری بازار آب محلی در شرایط رخداد خشکسالی بر الگوهای زراعی، مصارف آب آبیاری، ارزش اقتصادی آب، سود ناخالص کشاورزان و میزان بهره‌وری منابع آبی قابل مصرف در سطح اراضی حوضه‌های پنج‌گانه استان تهران ارزیابی شد و در نهایت کارکردهای مثبت و مؤثر شکل‌گیری آن در این استان شناسایی شدند.

نتایج، حاکی از آن است که کشاورزان استان تهران در شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی، عکس‌العمل احتمالی نسبتاً مشابهی را با شرایط وجود بازار آب بدون رخداد خشکسالی از خود نشان می‌دهند. در واقع، کشاورزان تهرانی در شرایط استقرار بازار آب توأم با رخداد خشکسالی نیز به توسعه سطح زیرکشت محصولات سودآورتر الگو، از جمله ذرت دانه‌ای، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی، هندوانه و کلزا روی آورده و همچنان تمایلی به افزایش سطح زیرکشت محصولات کم‌بازده‌تر گندم و جو آبی در الگوی کشت ندارند. با تغییرات بهینه ایجاد شده در الگوهای زراعی حوضه‌های شرقی، شمالی، غربی، جنوب غرب و جنوبی استان تهران پس از استقرار بازار آب محلی در شرایطی توأم با رخداد خشکسالی و کم‌آبی، میزان بازده ناخالص کشاورزان در این مناطق تحت تأثیر قرار می‌گیرد و نسبت به دوره پایه (نبود بازار آب) با افزایش همراه است. علت این امر تا حد زیادی ناشی از افزایش سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر مانند ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، کلزا و آفتابگردان در الگوهای بهینه کشت و جایگزینی سطح مازاد این محصولات به جای سطح کاهش یافته محصولات کم‌بازده‌تر گندم و جو آبی است. اگرچه که رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی به دلیل ایجاد محدودیت در عرضه منابع آب، منجر به کاهش سود ناخالص کشاورزان می‌شود؛ اما کارکرد مثبت و بهینه نهاد ساختاری بازار آب این میزان کاهش سود را تعدیل نموده و در نهایت از طریق تعادل‌بخشی داد و ستد آب آبیاری بین کشاورزان در مناطق پنج‌گانه سبب افزایش سود ناخالص حاصل از الگوهای زراعی می‌شود. همچنین، نتایج گویای آن است که بازار آب محلی مکانیسم مناسبی جهت تعیین ارزش واقعی یا اقتصادی نهاده آب کشاورزی در سطح حوضه‌های مطالعاتی استان تهران است و این امر بیانگر یکی دیگر از کارکردهای مثبت و مناسب آن به شمار می‌رود. داد و ستد آب آبیاری بین کشاورزان در سطح مناطق مختلف استان تهران تنها با رعایت شرایط قیمت‌گذاری صحیح منابع آب قابل حصول و دردسترس کشاورزان امکان‌پذیر است؛ بدین معنی که بازار آب محلی با تعیین قیمت مناسب برای نهاده آب، امکان داد و ستد و یا خرید و فروش آب را برای کشاورزان فراهم می‌کند. افزون بر اینکه استقرار بازار آب محلی بر تعادل‌بخشی بین عرضه و تقاضای آب آبیاری در استان تهران تأثیرگذار می‌باشد و سبب افزایش بهره‌وری نهاده کمیاب آب کشاورزی می‌شود، می‌تواند در مواقع رخداد خشکسالی‌های دوره‌ای اثرات مثبت و سازنده‌ای را بر وضعیت معیشتی و اقتصادی بهره‌برداران بخش زراعی، به‌ویژه در حوضه‌های جنوبی و مرکزی استان تهران (دشت‌های هم‌جوار شهرری و ورامین و همچنین، دشت تهران- کرج) داشته باشد و پیامدهای منفی ناشی از رخداد خشکسالی را (که شامل کاهش بازده ناخالص کشاورزان و کاهش سطح زیرکشت محصولات سودده ولو پرآب است)، به حداقل میزان ممکن کاهش دهد (با افزایش شاخص بهره‌وری آب از ۵/۳۷- تا ۷/۳۸ درصد نسبت به دوره پایه). از این رو، شکل‌گیری و استقرار بازار آب محلی رویکرد مناسبی در زمینه مدیریت منابع آب کشاورزی، افزایش بهره‌وری نهاده آب و تحقق اهداف اقتصادی کشاورزان استان تهران است که فراهم‌سازی مقدمات شکل‌گیری آن به مسئولین و سازمان‌های ذیربط پیشنهاد می‌شود. نکته قابل تأمل دیگر این است که استقرار بازار آب محلی در سطح استان تهران علیرغم کارکردهای مثبتی که دارد، به دلیل اثرات کاهش سطح زیرکشتی که برای محصولات استراتژیک گندم و جو آبی به دنبال دارد، در بلندمدت می‌تواند مسأله امنیت غذایی را در این استان تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که محققان در مطالعه‌های آتی، ارزیابی اثرات استقرار بازار آب محلی را با درنظرگرفتن اهداف تعیین شده در راستای مقوله مهم امنیت غذایی انجام دهند.

پی‌نوشت‌ها

1- Local Water Markets
2- Economic Efficiency of Water
3- *Social Welfare*
4- Murray-Darling Basin
5- Positive Mathematical Programming
6- Joint-Probabilistic Interval Multistage Programming
7- Kaidu-Qongque River basin
8- Statewide Agricultural Production Model
9- Dual Values
10- Shadow Prices
11- Constant Elasticity of Substitution
12- Exponential or Transcendental Cost Function

۵- مراجع

Abolhasani L, Shahnooshi N, Rahnema A, Aazame Rahmati A, Heyran F (2019) The role of water market formation in the use of water resources in agriculture (Case study of Mashhad plain). Journal of Agricultural Economics and Development 106(27):1-29 (In Persian)

Badie Barzin H, Parhizkari A, Khamri A, Qafari Z (2018) The effects of forming regional water markets on balancing the supply and demand of irrigation water in Sistan region. Iran-Water Resources Research 14(3):243-256 (In Persian)

Brown CM, Lund JR, Cai X, Reed PM, Zagona EA, Ostfeld A, Hall J, Characklis GW, Yu W, Brekke L (2015) The future of water resources systems analysis: toward a scientific framework for sustainable water management: the future OF water resources systems analysis. Water Resources Research 51(8):6110-6124

Connor JD, Kaczan D (2013) Principles for economically efficient and environmentally sustainable water markets: The Australian experience BT- drought in arid and semi-arid regions: A multi-disciplinary and cross-country perspective. In: Schwabe K, Albiac J, Connor J.D, Hassan R.M, Meza González L (Eds) Dordrecht: Springer Netherlands, 357-374

Grafton RQ, Libecap G, McGlennon S, Landry C, Brien B (2011) Integrated assessment of water markets: A cross-country comparison. Review of Environmental Economics and Policy 5(2):219-239

Graveline C (2016) Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. Environmental Modelling and Software 81:12-25

Howitt RE, Medellin-Azuara J, MacEwan D, Lund R (2012) Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Science of the Environmental Modeling and Software 38:244-258

Howitt RE, MacEwan D, Medellin-Azuara J, Lund R, Sumner D (2015) Economic analysis of the 2015 drought for California agriculture. UC Davis Center for Watershed Sciences, ERA Economics, UC Agricultural Issues Center, University of California, Pp:1-31

Johansson R (2000) Pricing irrigation water: A literature survey. The World Bank Working Paper, Washington, D.C, 80p.

Laura GF, Medellin-Azuarac J, Tanseyd M, Young Ch, Purkeyb D, Howitt R (2016) Integrating complex economic and hydrologic planning models: An application for drought under climate change analysis. Water Resources and Economics, Available online at http://dx.doi.org/10.1016/j. wre.2016.10.002,1-13.

Lazarova V, Levine B, Shack J, Cirelli G, Jeffrey P, Muntau H, Salgot M, Brissaud F (2007) Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. Water Science and Technology 43(10):25-33

Liang TG (2013) Trading and economic efficiency in selected Victorian water markets in Australia. Thesis Presented for the Degree of Doctor of Philosophy, Murdoch University

Mahmoodi A, Parhizkari A (2016) Economic modeling of agricultural water resources management in Tehran province with emphasis on the role of water market. Journal of Economic Modeling 35(3):121-139 (In Persian)

Medellan-Azuara J, Harou JJ, Howitt RE (2010) Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. Science of the Total Environment 408(3):5639-5648

Nazari M (2016) Water market in theory and practice: Market failure and public policy. Journal of Water and Sustainable Development 3(1):103-114 (In Persian)

Parhizkari A, Badie Barzin H (2018) Determining the economic value of water and simulating the behavior of farmers in Takestan region in reducing agricultural water resources. Journal of Water Research in Agriculture 3(1):103-118 (In Persian)

Parhizkari A, Yavari GH, Mahmoodi A, Bakhshi Khaniki GH (2021) Assessing the potential effects of drought on cropping pattern and farmers' livelihoods in the southern basin of Tehran Province. Agricultural Economics 15(1):55-86 (In Persian)

Paul DW, Medellin-Azuarab J, Joshua HV, Meagan SM (2017) Economic and policy drivers of agricultural water desalination in California's central valley. Agricultural Water Management 194:192-203

Sabouhi M, Parhizkari A (2013) Analysis of economic and welfare effects of water market formation in Qazvin province. Journal of Agricultural Economics and Development 27(4):338-350 (In Persian)

Seidl C, Wheeler SA, Zuo A (2019) Treating water markets like stock markets: Key water market reform lessons in the Murray-Darling Basin. Journal of Hydrology 581:124399

Shen X, Lin B (2017) The shadow prices and demand elasticity's of agricultural water in China: A Sto NED-based analysis. Resources, Conservation and Recycling 127:21-28

Tehran Province Agricultural Jihad Organization (2019) Deputy for Crop Production Improvement. Department of Agriculture (In Persian)

Tehran Province Regional Water Company (2019) Office of basic studies of water resources. (In Persian)

Wheeler SA, Loch A, Crase L, Young M, Quentin Grafton R (2017) Developing a water market readiness to assessment framework. Journal of Hydrology 552:807-820

Young M (2014) Designing water entitlement regimes for an ever-changing and ever-varying future. Agricultural Water Management 145:32-38

Zaman AM, Malano HM, Avidson BD (2009) An integrated water trading-allocation model, applied to a water market in Australia. Agricultural Water Management 96:149-159

Zeng XT, Li YP, Huang GH, Liu J (2016) Modeling water trading under uncertainty for supporting water resources management in an arid region. Water Resources Planning and Management 142(2):66-83

Zibaei M, Malek Varnosfaderani M (2017) Potential effects of a water market on enhancing water productivity and reducing water-related conflicts in Fars Province, Iran. Bi-monthly Journal of Water and Wastewater 28(107):126-138