

The Effects of Regional Water Markets on Balancing the Supply and Demand of Irrigation Water in Sistan Region

H. Badi Barzin^{1*}, A. Parhizkari², E. Khamri³
and Z. Ghaffari Moghadam⁴

Abstract

The regional water markets as economic instruments, promote the development of decentralization and optimal allocation of water resources among farmers. For this purpose, in present study the effects of forming regional water markets in Sistan region were investigated and the potential of irrigation water transfer under stressed irrigation conditions in the region were analyzed. For this purpose, an economic-hydrologic modeling system was employed comprising of positive mathematical programming (PMP) model and constant elasticity of substitution (CES) production function approach. The data and information used for this research were cross-sectional and related to the 2015-2016 crops which were collected from relevant authorities in Sistan region. The presented economic-hydrologic modeling system was solved in the GAMS 24.1 software. The results showed that with establishment of the regional water markets in Sistan region, in addition to the supply-demand balance for irrigation water and equilibrated water trading among the studied regions, the acreage of wheat and barley was increased and the acreage of alfalfa, onion, watermelon and melon was decreased compared to the conditions without water market. This result provided the possibility of lands development up to 23.4 percent compared to the base year conditions. The farmers' total net profits were also improved under conditions of establishment of regional water markets and changed from 22039 to 23242 million rials. It is suggested that the supportive and constructive role of regional water markets, provides the required grounds to establish and optimally use this mechanism in Sistan region and other regions in the country where shared water resources is being used.

Keywords: Regional Water Markets, Water Resource Management, Agricultural Products, Hydro-Economic Model, Sistan Region.

Received: January 11, 2018

Accepted: April 22, 2018

اثرات تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای بر تعادل بخشی عرضه و تقاضای آب آبیاری در منطقه سیستان

حسین بدیع برزین^{۱*}، ابودر پرهیزکاری^۲، عیسی خمیری^۳ و زهرا غفاری مقدم^۴

چکیده

بازارهای آب منطقه‌ای به عنوان ابزارهایی اقتصادی سبب توسعه تمرکززدایی و تخصیص بهینه منابع آب بین کشاورزان می‌شوند. به همین منظور، در این مطالعه اثرات تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای در سیستان مورد بررسی قرار گرفت و پتانسیل انتقال آب تحت شرایط کم‌آبی در سطح این منطقه ارزیابی شد. برای این منظور از یک سیستم مدل‌سازی اقتصادی-هیدرولوژیکی مشتمل بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و رهیافت تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) استفاده شد. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق از نوع مقطعی و مربوط به سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ هستند که با مراجعه به ادارات ذیربط در منطقه سیستان جمع‌آوری شدند. سیستم مدل‌سازی هیدرواقتصادی ارائه شده در محیط نرم‌افزاری GAMS 24.1 حل شد. نتایج نشان داد که با برقراری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان، افزون بر ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری و متعادل شدن داد و ستد آب بین مناطق مورد مطالعه، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی نسبت به شرایط عدم وجود بازار آب افزایش و سطح زیرکشت پونجه، پیاز، هندوانه و خربزه کاهش می‌یابد. این امر امکان توسعه اراضی فاریاب را تا حد ۴/۲۳ درصد نسبت به شرایط سال پایه فراهم می‌کند. مجموع سود ناخالص کشاورزان سیستانی نیز در شرایط استقرار بازارهای آب منطقه‌ای بهبود یافته و از ۲۲۰۳۹ به ۲۳۲۴۲ میلیون ریال تغییر می‌کند. در پایان با توجه به نقش حمایتی و سازنده بازارهای آب منطقه‌ای، مهیا کردن زمینه لازم برای برقراری و استفاده بهینه از این نوع مکانیسم‌ها در منطقه سیستان و سایر مناطقی از کشور که دارای منابع آبی مشترک هستند، پیشنهاد شد.

کلمات کلیدی: بازارهای آب منطقه‌ای، مدیریت منابع آب، تولیدات کشاورزی، مدل هیدرواقتصادی، منطقه سیستان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۲/۲

1- Ph.D. Student of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Sistan and Bluchestan University, Iran. Email: hossein.badi89@gmail.com

2- Ph.D. Student of Agricultural Economics, Agricultural Faculty, University of PNU Tehran, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Agriculture Faculty, Zabol University, Zabol, Iran.

4- Faculty Member of Zabol Agricultural Research Institute (Mentor), Zabol University, Zabol, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۲- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران.

۳- استادیار، گروه زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

۴- عضو هیئت علمی پژوهشکده کشاورزی (مربی)، دانشگاه زابل.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

بازارهای آب و اشتراک‌گذاری آب آبیاری بین کشاورزان حائز اهمیت است، وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی هر منطقه می‌باشد که نسبت به دیگر عوامل فوق از اهمیت بیشتری برخوردار است (Wheeler et al., 2009; Mahmoodi and Parhizkari, 2016).

منطقه سیستان که جهت ارزیابی اثرات بازارهای آب منطقه‌ای در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است، با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی در بخش شمال شرق استان سیستان و بلوچستان واقع شده و با مساحت ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در حدود ۸/۱ درصد از خاک این استان را به خود اختصاص داده است. این منطقه به لحاظ تقسیمات کشوری دارای سه شهرستان زابل، زهک و هیرمند است (Agricultural Jihad Organization of Sistan and Baluchistan Province, 2016). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

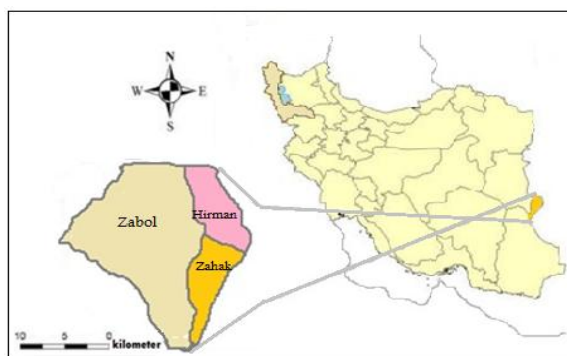


Fig. 1- The geographical location of the Sistan region and cities located in it

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان و شهرستان‌های واقع در آن

به لحاظ وضعیت منابع آب سطحی، قسمت اعظم آب موردنیاز کشاورزی در منطقه سیستان تنها از طریق جریان‌های سطحی رودخانه هیرمند تأمین می‌شود. لذا، افزایش سطح زیرکشت محصولات زراعی در این منطقه تا حد زیادی وابسته به میزان آب ورودی از کشور همسایه (افغانستان) است. این امر، سبب شده تا با ایجاد نوسان در آورد رودخانه هیرمند، سطح زیرکشت محصولات زراعی در منطقه سیستان کم یا زیاد شود (Agricultural Jihad Organization of Sistan and Baluchistan Province, 2016). علاوه بر جریان‌های سطحی رودخانه هیرمند، تالاب بین‌المللی هامون با سه بخش هامون پوزک، هامون صابری و هامون هیرمند و مخازن چاه نیمه از دیگر منابع تأمین‌کننده آب سطحی در منطقه سیستان هستند که وجود آن‌ها تماماً وابسته به جریان‌های سطحی رودخانه هیرمند است. به لحاظ

بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۷۰ درصد منابع آب شیرین موجود، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کشور به شمار می‌رود و لذا میزان منابع آب موجود پاسخگوی تقاضای رو به رشد بخش کشاورزی در کشور نیست. بنابراین، هرگونه تلاشی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در این بخش و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری می‌تواند حیاتی باشد (Keramatzade et al., 2011; Parhizkari et al., 2015). در این راستا، اقتصاددانان کشاورزی معتقدند که در صورت وجود یک سیستم حقوق مالکیت خصوصی با قابلیت انتقال منابع آبی، ایجاد بازار آب محلی و منطقه‌ای سبب افزایش ضریب اطمینان دسترسی به آب و کاهش ریسک کشاورزان گردیده و به نحو مطلوبی مدیریت و تخصیص بهینه آب را منعکس می‌کند (Mahmoodi and Parhizkari, 2016).

ایجاد بازارهای آب محلی و منطقه‌ای و به دنبال آن اشتراک‌گذاری آب آبیاری توسط کشاورزان، متناسب با مقدار تخصیص آب در هر منطقه سبب کاهش مصرف بی‌رویه این نهاد می‌شود. وجود نظام سهم‌بری آب برای کشاورزان در اغلب مواقع سبب مصرف بی‌رویه آب آبیاری می‌شود، درحالی که با وجود مجوز آب و سهم‌بندی مشخص، هر کشاورز حق برداشت حجم معینی از آب را دارد که این امر مانع از مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی می‌شود (Droitsch and Robinson, 2009). اشتراک‌گذاری آب آبیاری، به عنوان یک استراتژی جدید در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب، به ویژه در شرایط کم‌آبی مطرح می‌شود. این استراتژی شامل مجموعه اهدافی است که افزایش بهره‌وری، بهبود حفاظت و پایداری منابع آب را در پی دارد. با توجه به این که بخش کشاورزی یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده آب است، هرگونه افزایش در بهره‌وری آب می‌تواند از اتلاف حجم زیادی از این نهاد جلوگیری کند (Grafton et al., 2009; Zeng et al., 2016).

افزون بر موارد فوق، اصلاحات مربوط به حقوق آب، حقوق صاحبان سهام و اثرات آن‌ها بر بهره‌وری مصرف آب از دیگر مزایای اشتراک‌گذاری آب است. پیش‌بینی اثرات این استراتژی بر بازده مصرف آب در مناطق با الگوهای کشت متفاوت، دشوار است؛ چرا که منافع حاصل از اشتراک‌گذاری آب آبیاری بین کشاورزان و تشکیل بازارهای آب به وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی هر منطقه، چگونگی تخصیص منابع آب بین فعالیت‌های کشاورزی، میزان تبادل آب بین مناطق مختلف کشاورزی و تفاوت در بهره‌وری تاریخی استفاده از آب بستگی دارد. با این وجود، آنچه که در گام نخست برای شکل‌گیری

منابع آب زیرزمینی نیز، تعداد محدودی سفره آب (سفره‌های عدسی شکل) در منطقه سیستان وجود دارد که حفر و تجهیز چاهک‌های کم‌عمق در آن‌ها تنها منبع تأمین آب بهره‌برداری‌های کوچک را در دوران کم‌آبی و خشکسالی فراهم می‌سازد.

در این زمینه، می‌توان خاطر نشان کرد که منطقه سیستان فاقد منابع آب زیرزمینی قابل توجه می‌باشد و تنها تعداد کمی چشمه و قنات در این منطقه وجود دارند. این میزان منابع آب زیرزمینی اندک نیز فاقد کیفیت لازم جهت استفاده در بخش کشاورزی می‌باشند. علاوه بر این، کمبود بارش‌های جوی و بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی در منطقه سیستان، افت شدید سطح آبخوان‌های موجود را باعث شده؛ به طوری که گزارشات کارشناسان در این مورد افت سطح آب زیرزمینی را از سال ۱۳۷۷ تاکنون برای منطقه مورد نظر نشان داده است. این امر سبب کاهش آبدهی و خشک شدن محدود قنات، چشمه‌ها و چاه‌های حفر شده در منطقه سیستان شده است. کاهش ۴۵، ۷۵ و ۴۰ درصدی آبدهی قنات، چشمه‌ها و چاه‌ها و همچنین، خشک شدن چندین حلقه چاه مشاهده‌ای در دشت سیستان، حاکی از اثرات سوء افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است (Regional Water Company of Sistan and Baluchestan Province, 2016).

به طور کلی، عدم وجود بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در حوضه رودخانه هیرمند و تالاب بین‌المللی هامون و همچنین، مخازن آب چاه نیمه سبب شده که در فصول گرم سال به علت کاهش جریان‌های آب سطحی و پایین رفتن سطح منابع آب تجمیع یافته، کشاورزان منطقه سیستان با مسئله کمبود آب مواجه شوند. بر این اساس، لزوم برقراری ابزارهای سیاستی و نهادهای غیرساختاری همچون تشکیل بازارهای آب محلی و منطقه‌ای با ویژگی‌های ذکر شده در بخش‌های پیشین جهت تخصیص بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی و کاهش آثار کمبود آن در منطقه سیستان احساس می‌گردد. با توجه به اهمیت این موضوع، ضرورت یک مدل‌سازی جهت بررسی اثرات تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای بر وضعیت منابع آب و تولیدات کشاورزی در منطقه سیستان به نظر می‌رسد. به همین منظور، در مطالعه حاضر تلاش شد تا با بهره‌گیری از یک سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی-اقتصادی اثرات شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای بر تعادل بخشی عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی منطقه سیستان ارزیابی شود و راهکارهای سیاستی مناسبی برای صیانت از منابع آب موجود در این منطقه ارائه گردد.

با توجه به توسعه علوم مرتبط با بخش کشاورزی و نشر یافته‌های حاصل از تحقیقات انجام شده در این بخش، اثر اشتراک‌گذاری منابع آب و شکل‌گیری نهادهایی تحت عنوان تشکل آب‌بران و یا بازارهای آب منطقه‌ای در بسیاری از نقاط دنیا امری اجتناب‌ناپذیر و حائز اهمیت شناخته شده است (Howitt et al., 2012; Parhizkari et al., 2013). افزون بر این، با توجه به اهمیت موضوع مورد بحث در این تحقیق (اثرات و پیامدهای شکل‌گیری بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در بخش کشاورزی) مطالعات و نقاط دنیا صورت گرفته است. Gomez-Limon and Martinez (2006) با انجام تحقیقی در اسپانیا نتیجه گرفتند که دستیابی به جنبه‌های مثبت برقراری بازار آب نیاز به یک ساختار اجتماعی و قانونی مناسب دارد. در این زمینه، استقرار بنگاه‌های نقل و انتقال آب می‌تواند مفید باشد. علاوه بر تغییرات ساختاری که برای برقراری یک بازار آب لازم است، تغییر تدریجی دیدگاه‌های کشاورزان ضروری است. Zaman et al. (2012) با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی منافع اقتصادی بالقوه حاصل از مبادله آب بین بهره‌برداران کشاورزی را در ناحیه ویکوتوریای شمالی کشور استرالیا پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مبادلات آب انجام شده بین کشاورزان در بلندمدت آثار مناسب و ارزشمندی را در غلبه بر خشکسالی شدید برای مصرف‌کنندگان آب از جمله بهره‌برداران کشاورزی در بر خواهد داشت. Howitt et al. (2012) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی^۱ (PMP) به بررسی نقش بازارهای انتقال آب در کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان داد که با تخصیص آب براساس مکانیزم بازار می‌توان زبان‌های درآمدی حاصل از خشکسالی را تا ۳۰ درصد کاهش داد. Howitt et al. (2015) اثرات خشکسالی بر تولیدات بخش کشاورزی در مناطق مختلفی از کالیفرنیا را با تأکید بر نقش تشکیل بازارهای آب محلی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که خشکسالی اثرات منفی بر حجم منابع آب سطحی و عمق ایستابی منابع آب زیرزمینی داشته و کشاورزان را با محدودیت برای نهاده آب مواجه نموده است. در این راستا، تشکیل بازارهای آب محلی و منطقه‌ای به دلیل برقراری توازن بین عرضه و تقاضای آب تا حد زیادی اثرات خشکسالی را کاهش داد و تقاضای آب آبیاری می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات خشکسالی باشد. Zeng et al. (2016) با استفاده از یک روش ابتکاری برنامه‌ریزی مشترک چندمرحله‌ای بازه‌ای به بررسی نقش بازار آب و تجارت این نهاده به عنوان یکی از رویکردهای توسعه پایدار در شرایط عدم قطعیت پرداختند. نتایج نشان داد که مکانیزم بازار آب باعث تخصیص کارایی منابع آب و بینش موثر در خصوص تبادل بین تجارت آب و اهداف اقتصادی شده است.

در داخل کشور نیز، Kiani (2000) تحقیقی را پیرامون مسئله تشکیل بازار آب و اثرات شکل‌گیری آن در زیربخش کشاورزی و مدیریت منابع آب انجام دادند. نتایج نشان داد که مبادله آب آبیاری بین کشاورزان در دشت ساوه باعث افزایش سود ناخالص آن‌ها در مواقع کمبود آب و شرایط ایجاد تنش‌های آبی می‌شود. افزایش تقاضای نیروی کار و کاهش تبعات منفی ناشی از کمبود آب بر روی اشتغال نیز از دیگر پیامدهای تشکیل بازار آب در دشت ساوه است. Nikoee and Najafi (2001) به شبیه‌سازی یک بازار آب برای تحلیل جنبه‌های اقتصادی و رفاهی متأثر از کاربرد آن در شهرستان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که پس از برقراری بازار آب و امکان کاهش محدودیت آب، کشاورزان با تخصیص زمین بین محصولات مختلف، بازده برنامه‌ای خود را افزایش داده و به فروش آب مازاد و خرید آب مورد نیاز خود می‌پردازند. در این شرایط رفاه کشاورزان به طور معنی‌داری افزایش خواهد یافت. Parhizkari et al. (2013) به شبیه‌سازی استقرار بازار آب و تحلیل اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت محصولات منتخب زراعی در حوزه رودخانه شاهرود پرداختند. نتایج نشان داد که با تشکیل بازارهای آب محلی و مبادلات آب آبیاری بین مناطق مورد مطالعه، سود اقتصادی کشاورزان منطقه الموت در اراضی پایاب حوزه رودخانه شاهرود نسبت به شرایط سال پایه بیشتر شده است و مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی در محدوده مطالعاتی از ۹ تا ۳۷ درصد افزایش یافته است. Yusefi et al. (2014) به بررسی آثار رفاهی ناشی از تخصیص بازاری منابع آب در اقتصاد ایران پرداختند. برای این منظور، از مدل تعادل عمومی استفاده کردند. نتایج ایجاد بازار آب در شرایط کم‌آبی نشان داد که با استقرار بازارهای آب، میزان رفاه به دست آمده برای خانوارهای شهری و روستایی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین، میزان رفاه به دست آمده برای دهک‌های بالا در مناطق روستایی در مقایسه با دهک‌های پایین، افزایش چشم‌گیری دارد. Ahmadi et al. (2016) به ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی در شبکه آبیاری مهیار واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. نتایج نشان داد که بازده برنامه‌ای کشاورزان پس از ایجاد بازار به میزان ۲۸ درصد نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد. همچنین حجم آب مبادله شده در بازار ۴۷ درصد از حجم آب مصرفی است که نشان‌دهنده مشارکت بالای کشاورزان در بازار، جهت تخصیص بهینه آب است.

مطالعات بررسی شده نشان می‌دهند که تشکیل بازارهای آب آبیاری، به ویژه در سطح محلی و منطقه‌ای علاوه بر ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری سبب افزایش بازده برنامه‌ای کشاورزان شده و از هدررفت آب‌های اضافی در سطح اراضی ممانعت می‌کند. به همین منظور، هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی اثرات شکل‌گیری بازارهای

آب منطقه‌ای بر تعادل‌بخشی بین عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در منطقه سیستان است. نوآوری تحقیق حاضر در ارزیابی آثار بالقوه نهاد ساختاری بازار آب نسبت به مطالعات پیشین انجام شده در این زمینه، استفاده از یک سیستم مدل‌سازی تلفیقی هیدرولوژیکی-اقتصادی پیچیده است که در پنج مرحله متوالی واسنجی می‌شود و علاوه بر شامل شدن مجموعه محدودیت‌های سیستمی و واسنجی، قابلیت لحاظ نمودن تنش‌های آبی در فرآیند تولید محصولات زراعی را نیز دارد. از این رو، مطالعه حاضر در زمینه مورد بررسی، جزء مطالعات نادری است که با بهره‌گیری از مجموعه مدل‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی انجام شده است. این در حالی است که مطالعات پیشین تنها از مدل‌های اقتصادی جهت ارزیابی اثرات شکل‌گیری بازار آب بهره گرفته‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل‌سازی هیدرولوژیکی-اقتصادی (HEM)

سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی-اقتصادی^۲ (HEM)، به منظور بررسی توأم روابط بین متغیرهای هیدرولوژیکی (منابع آب) و متغیرهای اقتصادی (سود ناخالص، درآمد، ارزش آب، میزان تولید) مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه از این سیستم برای تحلیل اقتصادی اثرات سیاست‌های بخش منابع آب و کشاورزی استفاده می‌شود (Mahmoodi and Parhizkari, 2016). انتخاب مقیاس مناسب برای مدل‌های هیدرواقتصادی مسئله حائز اهمیت است، چرا که مکانیزم لازم برای فضایی پویا از هر فرآیند یا جزء در این مدل ممکن است برای فرآیند یا جزء دیگر نامناسب باشد. به همین دلیل، ارتباط بین دو جزء هیدرولوژیکی و اقتصادی برای درک و تفهیم مسائل در این راستا، ضروری و مهم می‌باشد (Kaczan et al., 2012; Parhizkari et al., 2013).

به طور کلی، واسنجی سیستم مدل‌سازی هیدرواقتصادی مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) در این مطالعه با توجه به تخمین تابع تولید با کشش‌های جانشینی ثابت^۳ (CES)، برآورد ضرایب تابع هزینه کوادراتیک (غیرخطی با فرجه دو)^۴ (QCF) و بر اساس داده‌های ورودی در توابع تولید محصولات کشاورزی و همچنین، محدودیت‌هایی که برای منابع مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه (زمین، آب، نیروی کار، سرمایه و غیره) وجود دارند، در پنج مرحله پیاپی صورت گرفت.

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

منطقه سیستم بر اساس آخرین تقسیمات کشوری شامل شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند است. با توجه به همجواری شهرستان‌های فوق و داشتن شرایط اقلیمی و توپوگرافی مشابه و منابع تأمین آب مشترک، در این مطالعه به بررسی اثرات تشکیل بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در سطح شهرستان‌های مذکور پرداخته می‌شود. داده‌های مورد نیاز مربوط به دو بخش کشاورزی (شامل سطح زیر کشت، عملکرد، قیمت و هزینه تولید محصولات) و بخش منابع آب (نیاز آبی محصولات، کل منابع آب در دسترس و میزان منابع آب انتقال یافته بین مناطق مورد بررسی) هستند که برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و با مراجعه مستقیم به ادارات ذیربط در منطقه سیستم و استان سیستان و بلوچستان (شرکت سهامی آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی) جمع‌آوری شدند.

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

این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی کمکی جهت حداکثر نمودن سود ناخالص کشاورزان با توجه به محدودیت‌های منابع و واسنجی است. پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی مقادیر دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های مدل به دست می‌آیند (Howitt et al., 2009; Medellan-Azuara et al., 2011;) (Howitt et al., 2015).

$$\text{Max } \pi = \sum_{i=1}^6 \sum_{g=1}^3 \left(v_{ig} * yld_{ig} - \sum_{j \neq \text{water}}^4 a_{igj} c_{igj} \right) x_{ig, \text{land}} - \sum_{j=\text{water}}^4 \sum_{g=1}^3 \text{water}_{gw} \bar{\omega}_{gw} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^6 a_{igj} x_{igj} \leq b_{gj} \quad \forall g, j \quad [\mu] \quad (2)$$

$$x_{igj} \leq \bar{x}_{igj} + \varepsilon \quad \forall g, j, i \quad [\theta] \quad (3)$$

$$x_{igj} \geq 0 \quad \forall g, j, i \quad (4)$$

رابطه ۱، شامل حداکثرسازی مجموع سود منطقه‌ای کشاورزان است. در این رابطه، π سود کشاورزان، g مناطق، i محصولات، z نهاده‌ها، $x_{ig, \text{land}}$ سطح زیر کشت محصول i در منطقه g و a_{igj} ضریب لئونتیف یا نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین است که از رابطه $(a_{igj} = \bar{x}_{igj} / \bar{x}_{ig, \text{land}})$ به دست می‌آید. قیمت v_{ig} و yld_{ig} عملکرد محصول i در منطقه g ، c_{igj} هزینه نهاده z برای تولید محصول i در

منطقه g ، water_{gw} مقدار آب مورد استفاده در منطقه g و $\bar{\omega}_{gw}$ هزینه استحصال و یا قیمت هر مترمکعب آب آبیاری در منطقه g است. رابطه ۲، محدودیت منابع را در هر منطقه نشان می‌دهد و برای نهاده‌های آب، زمین، سرمایه (شامل بذر، کود و سموم شیمیایی) و نیروی کار تعریف می‌شود. در این رابطه b_{gj} کل منابع در دسترس نهاده z در منطقه g است. رابطه ۳، محدودیت واسنجی مدل را نشان می‌دهد که در آن \bar{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. اضافه کردن محدودیت واسنجی به مدل باعث می‌شود که جواب بهینه برنامه‌ریزی خطی دقیقاً فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را به دست دهد. μ در رابطه ۲، قیمت سایه‌ای محدودیت سیستمی و θ در رابطه ۳، قیمت سایه‌ای محدودیت واسنجی را نشان می‌دهد. رابطه ۴، بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است و تضمین می‌کند که روش فوق به لحاظ فیزیکی قابل اجرا است (Medellan-Azuara et al., 2011; Howitt et al., 2012;) (Parhizkari et al., 2015).

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 به کمک روش توسعه یافته (Howitt et al., 2012) و (Parhizkari et al., 2015) برآورد شدند. فرم کلی تابع تولید CES مورد استفاده در این مطالعه به صورت زیر قابل ارائه است:

$$yld_{ig} = \tau_{ig} [\beta_{gi1} h_{gi1}^{\rho_i} + \beta_{gi2} h_{gi2}^{\rho_i} + \beta_{gi3} h_{gi3}^{\rho_i} + \beta_{gi4} h_{gi4}^{\rho_i}]^{\varphi / \rho_i} \quad (5)$$

در رابطه بالا، yld_{ig} میزان تولید محصول i در منطقه g ، h_{ijg} عامل تولید z برای تولید محصول i در منطقه g ، τ_{ig} پارامتر مقیاس و β_{ijg} پارامتر تولید است که سهم نهاده z را برای تولید محصول i در منطقه g نشان می‌دهد. ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس است و تابع تولید CES مستلزم آن است که این ضریب برابر با یک شود. ρ_i متغیری بر حسب کشش جانشینی بین نهاده‌ها (σ) است که برای محاسبه آن از رابطه $\rho_i = (\sigma - 1) / \sigma$ استفاده می‌شود (Medellan-Azuara et al., 2010; Howitt et al., 2012;) (Parhizkari and Badie Barzin, 2016).

۲-۱-۴- مرحله چهارم: برآورد تابع هزینه غیرخطی و تخمین پارامترهای آن

این مرحله از برآورد مدل PMP شامل تخمین تابع هزینه کوادراتیک (غیرخطی با درجه دو) و محاسبه پارامترهای آن است. شکل کلی این تابع به صورت زیر است:

$$TC_i(x_{i,land}) = \alpha_i x_{i,land} - \frac{1}{2} \gamma_i x_{i,land}^2 \quad (6)$$

در رابطه فوق، TC_i هزینه نهاده زمین برای تولید محصول i در منطقه مورد مطالعه، α_i پارامتر رهگیری و γ_i شیب تابع هزینه غیرخطی است. برای محاسبه و برآورد ضرایب تابع هزینه درجه دوم ارائه شده در رابطه (۶) از ضرایب جزیی زیر استفاده می‌شود:

$$\gamma_i = \frac{2\theta_{i,land}^c}{x_{i,land}} \quad (7)$$

$$\alpha_i = c_{igj} - \theta_{i,land}^c \quad (8)$$

در روابط بالا، c_{igj} هزینه نهاده زمین برای تولید محصول i در منطقه مورد مطالعه و $\theta_{i,land}^c$ ارزش دوگان واسنجی شده برای نهاده زمین در مرحله اول مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) است. سایر پارامترهای ارائه شده در روابط γ و α نیز در بالا تعریف شده‌اند (Medellan-Azuara et al., 2010; Parhizkari and Sabuhi, 2013).

۲-۱-۵- مرحله پنجم: ساختن مدل برنامه‌ریزی نهایی و تبیین مدل PMP واسنجی شده

در این مرحله با استفاده از تابع هزینه غیرخطی (درجه دوم) واسنجی شده، تابع تولید منطقه‌ای برآورد شده و محدودیت‌های منابع، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود:

$$\text{Max } \pi = \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{g=1}^3 \left(v_{ig} * \{ \tau_{ig} [\beta_{gi1} h_{gi1}^{\rho_i} + \beta_{gi2} h_{gi2}^{\rho_i} + \beta_{gi3} h_{gi3}^{\rho_i} + \beta_{gi4} h_{gi4}^{\rho_i}]^{\varphi/\rho_i} \} - \sum_{j \neq \text{water}} a_{igj} c_{igj} \right) x_{ig,land} - \sum_{j=\text{water}}^4 \sum_{g=1}^3 \text{water}_{gw} \bar{\omega}_{gw} - \sum_{j=\text{water}}^4 \sum_{g=1}^3 (\text{trc}_{gh} * d_{gh} * x_{wt,ghw}) - \left(\alpha_i x_{i,land} - \frac{1}{2} \gamma_i x_{i,land}^2 \right)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^6 x_{igj} \leq A_{igj} \quad \forall g, j \neq \text{water} \quad (10)$$

$$\text{water}_{gw} \leq \quad (11)$$

$$\text{watcons}_{gw} + \sum_{h=1}^5 x_{wt,ghw} - \sum_{g=1}^5 x_{wt,ghw} \quad (12)$$

$$\left(\sum_{h=1}^5 x_{wt,ghw} \right) - \left(\sum_{g=1}^5 x_{wt,ghw} \right) = 0 \quad (13)$$

$$T_w x_{wt,ghw} \leq \text{water}_{gh,Max} \quad (14)$$

$$\frac{x_{ig,water}}{x_{ig,land}} \geq 0.90 a_{ig,land} * \bar{\omega}_{ig} \quad (15)$$

$$x_{igj} * x_{wt,ghw} \geq 0 \quad \forall g, i, j, h, w \quad (15)$$

رابطه (۹)، تابع هدف غیرخطی مدل PMP را نشان می‌دهد. در این رابطه، $x_{wt,ghw}$ حجم آب انتقال یافته و یا داد و ستد شده بین مناطق

g و h هزینه انتقال آب داد و ستد شده بین مناطق g و h و d_{gh} فاصله یا مسافت بین مناطق g و h است. رابطه (۱۰)، محدودیت مربوط به نهاده‌های مورد استفاده (به جز آب) است که A_{igj} در آن مقدار منابع در دسترس هر منطقه را نشان می‌دهد.

رابطه (۱۱)، 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 (۱۲)، محدودیت تبادل آب را به صورت همزمان بین مناطق نشان می‌دهد. این محدودیت بیانگر آن است که یک منطقه نمی‌تواند به خرید و فروش توأم آب بپردازد.

رابطه (۱۳) نشان می‌دهد که مجموع آب خریداری و فروخته شده ($T_w x_{wt,ghw}$) بین مناطق g و h ، کمتر و یا مساوی با حداکثر حجم آب داد و ستد شده ($\text{water}_{gh,Max}$) بین این مناطق می‌باشد. رابطه (۱۴)، بیانگر محدودیت کسری آب یا کم‌آبایی است. در مطالعه حاضر، با توجه به اهمیت نهاده آب در تولید محصولات زراعی منطقه سیستان و به منظور اجرایی بودن استراتژی کم‌آبایی، تنش آبی ۱۰ درصد در مدل پیشنهادی لحاظ شد. امکان کاهش نیاز آبی گیاهان به بیش از ۱۰ درصد با توجه به شرایط منطقه غیرممکن و با مشکلات عدیده همراه خواهد بود.

رابطه (۱۵) نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌های زراعی و حجم آب داد و ستد شده بین مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها، بیانگر مقادیر مثبت برای متغیر سطح زیرکشت است که قابل اجرا بودن روش فوق در منطقه مورد مطالعه و محدودیت غیرمنفی بودن حجم آب داد و ستد شده، بیانگر وجود ارتباط بین منابع آبی مشترک در مناطق مورد بررسی است.

همان‌گونه که در توضیحات قبل اشاره شد، داده‌ها و اطلاعات آماری مورد استفاده در این تحقیق به صورت مقطعی (برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴) هستند که با مراجعه مستقیم به ادارات و سازمان‌های ذیربط در استان سیستان و بلوچستان گردآوری شدند. بخشی از داده‌ها نیز برگرفته از سالنامه آماری و پایگاه اطلاع‌رسانی سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان می‌باشند. مرتب‌سازی داده‌ها و اطلاعات گردآوری شده در نرم‌افزار کاربردی Excel و حل مدل برنامه‌ریزی در محیط نرم‌افزاری GAMS 24.9 صورت گرفت.

و نوسانات این رودخانه بین مرزی نقش به‌سزایی را در زمینه توسعه و یا کاهش تولیدات کشاورزی منطقه سیستان ایفا می‌کند.

۳- نتایج و بحث

جدول ۳، ماتریس قابلیت داد و ستد آب آبیاری بین شهرستان‌های مورد مطالعه در منطقه سیستان را نشان می‌دهد. این جدول 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 نشان می‌دهد. جدول ۴ نیز حجم آب داد و ستد شده (یا حجم آب صادراتی و وارداتی) در سال پایه را بین شهرستان‌های مورد مطالعه در منطقه سیستان نشان می‌دهد:

جدول ۱، میزان سطح زیرکشت محصولات آبی را در سال پایه (۱۳۹۴-۹۵) در سطح مناطق مورد مطالعه سیستان نشان می‌دهد. جدول ۲، میزان مجموع آب قابل دسترس حاصل از منابع آبی مختلف (سد، چاه، رودخانه، قنات، چشمه و آب‌های تجمیع‌یافته) را برای سال پایه ۹۵-۱۳۹۴ در سطح شهرستان‌های منطقه سیستان نشان می‌دهد:

مطابق با مندرجات جدول ۲، ملاحظه می‌شود که چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق شخصی و دولتی، کانال‌های آب، سدها و بندهای انحرافی، رودخانه‌ها و منابع آب تجمیعی و قنات و چشمه‌ها نقش مهمی را در تأمین کل آب قابل دسترس کشاورزان منطقه سیستان (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند) دارد. اما در این بین، بخش عظیمی از منابع آب در دسترس کشاورزان این منطقه از طریق جریانات سطحی حاصل از رودخانه هیرمند (به عنوان منبع تأمین آب بین مرزی) تأمین می‌شود

Table 1- The acreage of products in Sistan region during the base year of 2015-2016 (hectare)

جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات زراعی منطقه سیستان در سال پایه ۹۵-۱۳۹۴ (برحسب هکتار)

Products	Studied regions			Total Acreage
	Zabol	Zahak	Hirmand	
Wheat	26340	6972	7430	40742
Barley	11800	4716	5682	22198
Alfalfa	4368	1325	1609	7302
Onion	2530	1045	950	4525
Melon	1862	973	927	3762
Watermelon	1450	894	964	3308
Total Acreage	48350	15925	17562	81837

Table 2- Total available water resources in Sistan region during the base year (million m³)

جدول ۲- کل منابع آب قابل دسترس در منطقه سیستان طی سال پایه (برحسب میلیون مترمکعب)

Surface and underground water resources	Study regions			Total
	Zabol	Zahak	Hirmand	
Private deep wells	33.49	8.16	9.24	50.89
Private semi-deep wells	20.65	6.37	7.51	34.53
Governmental deep wells	14.36	3.02	4.18	21.56
Channels and diversion dams	54.40	13.59	11.72	79.71
River and accumulated water	125.3	47.60	53.19	226.09
Qanat and springs	37.14	12.09	11.84	61.07
Total available water	285.34	90.83	97.68	473.85

Table 3- Feasibility matrix of water trade between studied regions in Sistan

جدول ۳- ماتریس امکان‌سنجی داد و ستد آب بین مناطق مورد مطالعه در سیستان

Export- Import	Zabol	Zahak	Hirmand
Zabol	0	1	1
Zahak	1	0	0
Hirmand	1	1	0

Table 4- Volume of traded water between studied regions in base year (million m³)
جدول ۴- حجم آب داد و ستد شده بین مناطق مورد مطالعه در سال پایه (میلیون مترمکعب)

Studied region	Volume of water entered	Volume of water allocated	Net trading
Zabol	89.47	35.182	54.288
Zahak	52.19	27.034	25.156
Hirmand	137.64	56.729	80.911

بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی از ۸۱۸۳۷ به ۸۵۳۰۵ هکتار می‌رسد که افزایشی معادل با ۴/۲۳ درصد را برای مجموع اراضی آبی تحت کشت محصولات زراعی در این منطقه از کشور به همراه دارد. نتایج به دست آمده گویای آن است که تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای می‌تواند نقش بسزایی را در توسعه سطح زیرکشت محصولات زراعی و پیشبرد اهداف مسئولان و مدیران کشاورزی منطقه سیستان در جهت افزایش تولیدات زراعی ایفا نماید.

جدول ۶ میزان و درصد تغییرات مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی سیستان را پس از استقرار بازارهای آب منطقه‌ای در بین مناطق سه‌گانه مورد بررسی (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند) نشان می‌دهد. ستون اول در این جدول مجموع اراضی آبی را در شرایط عدم وجود بازار آب و ستون دوم در این جدول مجموع اراضی آبی را در شرایط وجود بازار آب نشان می‌دهد. ستون‌های سوم و چهارم این جدول نیز، میزان و درصد تغییرات اراضی آبی را در شرایط وجود و عدم وجود بازار آب بازگو می‌کنند.

همان‌گونه که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود، پس از برقراری بازارهای آب منطقه‌ای بین شهرستان‌های مورد مطالعه در منطقه سیستان، مجموع سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی به ترتیب ۶/۴۷ و ۹/۸۴ درصد افزایش می‌یابد، در حالی که مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب یونجه، پیاز، خربزه و هندوانه به ترتیب ۱۴/۳، ۲/۳۸، ۲/۴۷ و ۳/۳۲ درصد کاهش پیدا می‌کند.

با توجه به نتایج جدول ۴، ملاحظه می‌شود که شهرستان هیرمند به دلیل مجاورت با دریاچه هامون و رودخانه هیرمند، دارای بیشترین میزان آب وارداتی (۱۳۷/۶۴ میلیون مترمکعب) است که بخش عمده‌ای از آن را (حدود ۵۶/۷۲۹ میلیون مترمکعب) به شهرستان‌های هم‌جوار خود (زابل و زهک) انتقال می‌دهد. شهرستان زهک نیز با قرارگرفتن در بخش شرقی منطقه سیستان، کمترین میزان خالص داد و ستد آب آبیاری را با شهرستان‌های زابل و هیرمند دارد.

جدول ۵، میزان و درصد تغییرات مجموع اراضی زراعی هر منطقه را نسبت به سال پایه در شرایط برقراری داد و ستد آب آبیاری (وجود بازارهای منطقه‌ای) و عدم برقراری داد و ستد آب آبیاری (عدم وجود بازارهای منطقه‌ای) بین شهرستان‌های مورد مطالعه در منطقه سیستان نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با برقراری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان، میزان مجموع اراضی آبی زیرکشت در شهرستان‌های زابل و هیرمند به ترتیب ۶/۱۳ و ۸/۳۱ درصد افزایش پیدا می‌کند، در حالی که مجموع اراضی آبی در شهرستان زهک نسبت به شرایط عدم وجود بازار آب ۵/۹۷ درصد کاهش می‌یابد. علت افزایش مجموع اراضی آبی در سطح شهرستان‌های زابل و هیرمند، واردات بیشتر منابع آب به این مناطق پس از شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای می‌باشد که امکان افزایش سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی را برای کشاورزان در این مناطق به وجود می‌آورد. کاهش مجموع اراضی آبی در شهرستان زهک نیز پس از برقراری بازارهای آب منطقه‌ای، کم شدن منابع آب در دسترس کشاورزان این منطقه پس از انتقال آب به مناطق هم‌جوار است. به طور کلی، نتایج جدول ۵ حاکی از آن است که با شکل‌گیری

Table 5- Total cultivated lands in Sistan under the conditions of existence and absence of water markets

Studied regions	جدول ۵- مجموع اراضی زیرکشت در منطقه سیستان تحت شرایط وجود و عدم وجود بازارهای آب			
	No water market*	Existence of water markets**	Land changes***	Percentage of land changes
Zabol	48350	51314	2964	6.13
Zahak	15925	14968	957	-5.97
Hirmand	17562	19023	1461	8.31
Total	81837	85305	3468	4.23

*, **, ***: In terms of hectare

Table 6- Total acreage of agricultural products in Sistan after the establishment of water market

Products	No water market*	Existence of water markets**	Land changes***	Percentage of land changes
Wheat	40742	43382	2640	6.47
Barley	22198	24384	2186	9.84
Alfalfa	7302	6255	-1047	-14.30
Onion	4525	4417	-108	-2.38
Melon	3762	3669	-93	-2.47
Watermelon	3308	3198	-110	-3.32
Total Acreage	81837	85305	3468	4.23

*, **, ***: In terms of hectare

بر اساس نتایج به دست آمده از حل مدل هیدرواقتصادی، با تغییر میزان مجموع اراضی در هر یک از مناطق مورد مطالعه، میزان بازده ناخالص کشاورزان نیز متناسب با آن تغییر می‌کند. جدول ۷، میزان و درصد تغییرات مجموع بازده ناخالص کشاورزان مناطق مورد بررسی در خطه سیستان را در شرایط برقراری و عدم برقراری بازارهای آب منطقه‌ای نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با برقراری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان، میزان سود ناخالص کشاورزان شهرستان‌های زابل و هیرمند به ترتیب ۶/۵۷ و ۱۱/۳ درصد نسبت به حالتی که هیچ‌گونه داد و ستدی برای نهاده آب آبیاری بین مناطق مورد مطالعه صورت نمی‌گیرد، افزایش می‌یابد. این در حالی است که تحت شرایط برقراری بازارهای آب منطقه‌ای، میزان بازده ناخالص کشاورزان شهرستان زهک (به عنوان منطقه واردکننده آب) نسبت به شرایط سال پایه (یعنی قبل از تشکیل بازارهای آب محلی) در حدود ۴/۳۶ درصد کاهش می‌یابد. علت افزایش بازده ناخالص کشاورزان شهرستان‌های زابل و هیرمند، نقش واردکننده آن‌ها در بخش تقاضای منابع آب و توسعه سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالا با استفاده از منابع آب وارد شده به این مناطق است. در واقع، پس از برقراری بازارهای آب منطقه‌ای کشاورزان شهرستان‌های مذکور با واردات حجم زیادی از منابع آب، محدودیت آب را در مقایسه با حالت نبود بازارهای آب منطقه‌ای، به میزان کمتری احساس می‌کنند؛ لذا به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر، ولو آب‌بر پیش می‌روند. این امر سبب افزایش سود ناخالص آن‌ها شده است. این در حالی است که کشاورزان شهرستان زهک پس از انتقال بخشی از منابع آب خود به شهرستان‌های زابل و هیرمند، محدودیت نهاده آب را بیشتر از گذشته (یعنی قبل از شکل‌گیری بازار آب) احساس می‌کنند. این امر تا حد زیادی می‌تواند کشاورزان شهرستان زهک را به سمت کاهش سطح زیرکشت محصولات پرآب و با صرفه اقتصادی بالا (مانند پیاز، نباتات علوفه‌ای و صیفی‌جات) و افزایش سطح زیرکشت محصولات کم‌آب و با صرفه اقتصادی کمتر (مانند گندم و جو آبی) در الگوی کشت

نتایج به دست آمده گویای آن است که تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای کشاورزان منطقه سیستان را به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات کم‌آب‌تر (محصولات با نیاز آبی کمتر در واحد سطح) مانند گندم و جو آبی متمایل می‌سازد. بدین ترتیب، ملاحظه می‌شود که کشاورزان منطقه سیستان در شرایط برقراری بازارهای آب منطقه‌ای از سطح زیرکشت محصولات زراعی با نیاز آبی بالا مانند پیاز، نباتات علوفه‌ای (یونجه) و صیفی‌جات (هندوانه و خربزه) می‌کاهند و الگوی کشت مناطق مورد بررسی را به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات کم‌آب‌تر مانند گندم و جو آبی سوق می‌دهند.

بخش دیگری از یافته‌های مندرج در جدول ۶ (همانند نتایج بند آخر جدول ۵) گویای آن است که با شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی منطقه سیستان از ۸۱۸۳۷ به ۸۵۳۰۵ هکتار می‌رسد که این میزان، افزایشی معادل با ۴/۲۳ درصد را نسبت به شرایط فعلی یا سال پایه (یعنی در شرایط عدم وجود بازارهای آب منطقه‌ای) برای مجموع اراضی زراعی این منطقه به همراه دارد. محصول علوفه‌ای یونجه با توجه به شرایط به وجود آمده پس از برقراری بازارهای آب منطقه‌ای بین شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند، نسبت به دیگر محصولات منتخب بیشترین تغییرات کاهشی سطح زیرکشت (به میزان ۱۴/۳ درصد) را به خود اختصاص داده است. این امر می‌تواند ناشی از نیاز آبی بالا و هزینه بیشتر تولید آن در واحد سطح نسبت به دیگر محصولات در سطح منطقه سیستان باشد. به طور کلی، نتایج به دست آمده در این بخش گویای آن است که استقرار بازارهای آب منطقه‌ای در سیستان (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند) الگوی کشت مناطق مورد مطالعه را در جهت کاهش سطح زیرکشت محصولات با هزینه تولید و نیاز آبی بالاتر (پیاز، نباتات علوفه‌ای و صیفی‌جات) و توسعه سطح زیرکشت محصولات با هزینه تولید و نیاز آبی کمتر (گندم و جو آبی) پیش می‌برد که این امر علاوه بر بهبود وضعیت درآمدی کشاورزان و افزایش سود ناخالص آن‌ها، منجر به پایداری منابع آب موجود در مناطق مورد مطالعه می‌شود.

به طور کلی، نتایج به دست آمده در این تحقیق با یافته‌های حاصل از تحقیقات (Nikoee and Najafi (2001)، Kiani (2009) و (2015) Parhizkari et al. و (2016) Ahmadi et al. در داخل کشور قرابت و نزدیکی بسیاری دارد. آن‌ها در تحقیقات خود اثرات رفاهی تشکیل بازارهای آب محلی را در مناطق مختلفی از کشور (به ترتیب در دشت ساوه، استان اصفهان، حوزه رودخانه شاهرود استان قزوین و حوضه آبریز زاینده‌رود) بررسی و ارزیابی کردند. تحقیقات فوق حاکی از وجود اثرات مثبت اقتصادی و رفاهی در زمینه شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نیز اثرات مثبت استقرار و شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای را در بین شهرستان‌های واقع در منطقه سیستان (زابل، زهک و هیرمند) نشان داد. همچنین، یافته‌های به دست آمده در این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات (Gomez-Limon and Martinez (2006)، (2009) Zaman et al. و (2012) Howitt et al. (2015) و (2016) Zeng et al. در خارج از کشور هم‌جهت و هم‌سو می‌باشند. یافته‌های به دست آمده در تحقیقات فوق، حاکی از آن است که به وجود آمدن شکل‌های آب‌بران و استقرار نهادهای ساختاری مانند بازار آب افزون بر اثرات رفاهی و اقتصادی منجر به افزایش کارایی مصرف آب در سطح اراضی فاریاب می‌شود.

محصولات زراعی متمایل سازد، که این امر در نهایت می‌تواند کاهش مجموع سود ناخالص کشاورزان به دنبال داشته باشد.

بخش دیگری از نتایج جدول ۷، گویای آن است که با تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای در سیستان، مجموع بازده ناخالص کشاورزان این استان از $10^2 \times 39/22$ میلیون ریال در سال پایه (در شرایط عدم وجود بازارهای محلی) به $10^2 \times 42/23$ میلیون ریال می‌رسد که در نهایت افزایشی معادل با $5/46$ درصد را در بازده ناخالص کشاورزان به همراه دارد. نتایج به دست آمده گویای آن است که شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان علاوه بر تغییر الگوی کشت و توسعه مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی در مناطق مورد مطالعه (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند)، بازده ناخالص کشاورزان را نیز تغییر داده و در حالت کلی بهبود وضعیت درآمدی کشاورزان منطقه سیستان را به همراه دارد. شکل ۲، اثرات اقتصادی شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای را بر الگوی بهینه بهره‌برداری از محصولات منتخب زراعی و وضعیت درآمدی کشاورزان منطقه سیستان (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند) نشان می‌دهد.

Table 7- Total farmers' gross margin in condition of existence and absence of water market in Sistan

جدول ۷- مجموع بازده ناخالص کشاورزان تحت شرایط وجود و عدم وجود بازار آب در منطقه سیستان

Studied regions	Gross margin No water market *	Gross margin Existence of water market **	Gross margin Changes ***	Percentage of Gross margin changes
Zabol	131.20	139.83	8.63	6.57
Zahak	42.61	40.75	-1.86	-4.36
Hirmand	46.58	51.85	5.26	11.30
Total	220.39	232.42	12.03	5.46

*, **, ***: In terms of 100 million rial

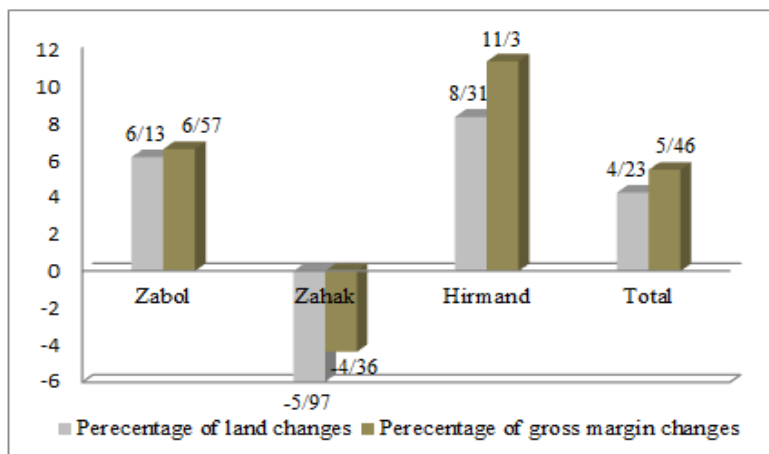


Fig. 2- Potential impacts of establishment of regional water markets in Sistan

شکل ۲- اثرات بالقوه استقرار بازارهای آب منطقه‌ای در سیستان

این نتیجه مهم در تحقیق حاضر نیز با تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب آبیاری در منطقه سیستان محقق شد. افزون بر این، برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که مبادله آب با کشور همسایه (افغانستان) در منطقه زابل مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار گیرد. این مورد در واقع بیانگر بررسی مکانیسم بازار آب بین کشوری (ایران و افغانستان) و تعاملات لازم برای شکل‌گیری آن است.

۴- نتیجه‌گیری

اصلاحات مربوط به حقوق آب، حقوق صاحبان سهام (بهره‌برداران) و اثرات آن‌ها بر بهره‌وری مصرف آب از مهم‌ترین مزایای اشتراک‌گذاری آب در مناطق با کشاورزی آبی است که این امر با شکل‌گیری و استقرار بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در بین مناطق انتقال‌دهنده آب آبیاری محقق می‌شود. با توجه به اهمیت این موضوع، لزوم برقراری ابزارهای سیاسی و نهادهای غیرساختاری همچون تشکیل بازارهای آب محلی و منطقه‌ای با ویژگی‌های ذکر شده جهت تخصیص بجا و بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی و کاهش آثار کمبود آن در منطقه سیستان احساس شد. به همین منظور، در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از یک سیستم مدل‌سازی هیدرولوژی-اقتصادی مشتمل بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت تابع تولید با کنش‌جانشینی ثابت (CES) اثرات شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای بر تعادل بخشی عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در منطقه سیستان ارزیابی شد. داده‌های موردنیاز مربوط به سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ هستند که با مراجعه به سازمان‌ها و ادارات ذی‌ربط در استان سیستان و بلوچستان (سازمان جهاد کشاورزی و شرکت سهامی آب منطقه‌ای) جمع‌آوری شدند. مدل هیدرواقتصادی ارائه شده طی پنج مرحله متوالی، در محیط نرم‌افزاری GAMS 24.1 حل شد.

یافته‌های حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که با شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان، کشاورزان این منطقه از سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا مانند پیاز، نباتات علوفه‌ای (یونجه) و صیفی‌جات (خریزه و هندوانه) کاسته و به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات غله‌ای مانند گندم و جو آبی که نیاز آبی کمتری در واحد سطح دارند، متمایل می‌شوند. افزون بر این، نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که با برقراری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان، علاوه بر ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری و داد و ستد متعادل نهاده آب بین مناطق مورد بررسی (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند)، مجموع اراضی فاریاب یا آبی ۴/۲۳ درصد و مجموع سود ناخالص کشاورزان ۵/۴۶ درصد افزایش می‌یابد.

با توجه به نقش حمایتی و سازنده بازارهای آب منطقه‌ای، مهیاشدن زمینه و شرایط لازم برای برقراری و استفاده بهینه از مکانیسم این نوع نهادها نه تنها در سطح منطقه سیستان، بلکه در سایر مناطقی از کشور نیز که دارای منابع آبی مشترک و قابلیت داد و ستد آب آبیاری می‌باشند، پیشنهاد می‌شود. همچنین، در زمینه‌های فنی و مدیریتی نیز توصیه می‌شود که به منظور مقایسه هزینه‌های برقراری بازارهای آب منطقه‌ای با منافعی که پس از برقراری آن‌ها برای کشاورزان حاصل می‌شود، تحلیل‌های اقتصادی مناسبی توسط محققان در دوره‌های آتی صورت گیرد. در پایان با توجه به یافته‌های حاصل از تحقیق حاضر، جهت تداوم در برنامه‌های مدیریت منابع آب در منطقه سیستان و جلوگیری از مشکلات به وجود آمده در این زمینه پیشنهادهای زیر ارائه می‌شوند:

۱- نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان منجر به توسعه سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی به جای محصولات آب‌بر علوفه‌ای و صیفی‌جات در الگوی بهینه کشت می‌شود که این امر به مدیریت پایدار منابع آب در این منطقه کمک شایانی می‌کند؛ اما با توجه به این که محصولات غله‌ای گندم و جو آبی از نظر اقتصادی جایگاه بالایی را در الگوی بهینه کشت شهرستان‌های منطقه سیستان ندارند، اگر بتوان به مدیریت توزیع آب و آبیاری بهبود بخشید و از هدررفت نهاده آب در طول مسیرهای انتقال جلوگیری نمود، می‌توان سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر مانند پیاز، خربزه و هندوانه را در مناطق مذکور توسعه داده و از این طریق وضعیت درآمدی کشاورزان را بهبود بخشید و سود ناخالص آن‌ها را در الگوی کشت محصولات منتخب زراعی افزایش داد.

۲- با توجه به کاهش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا مانند خربزه، هندوانه و پیاز در منطقه سیستان تحت شرایط تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای، احداث گلخانه‌ها و توسعه کشت این نوع محصولات پرآب به صورت گلخانه‌ای می‌تواند راهکار مناسبی برای رفع مشکلات کم‌آبی در این منطقه باشد. لذا، فراهم نمودن زمینه مناسب برای افزایش سطح زیرکشت محصولات گلخانه‌ای در راستای ایجاد اشتغال پایدار در منطقه سیستان توسط نهادهای دولتی، برنامه‌ریزان بخش کشاورزی و مسئولان سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان توصیه می‌شود.

۳- نتایج به دست آمده حاکی از کاهش سطح زیرکشت محصول علوفه‌ای یونجه در شرایط شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای بین شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند است. با توجه به این که منطقه

پی‌نوشت‌ها

- 1- Positive Mathematical Programming
- 2- Hydrological Economic Modeling
- 3- Exponential Cost Functions
- 4- Quadratic Cost Function

۶- مراجع

- Agricultural Jihad Organization of Sistan and Baluchestan Province (1395) Plant production and improvement office. Agricultural Statistics of 2015-2016, Sistan and Baluchestan Province (In Persian)
- Ahmadi A, Zolfagharipour MA, Nikoee A, Darali My (2016) Economic evaluation of the implementation of the technical platform market agricultural water irrigation network Mahyar part of the study. Iranian Water Resources Researches Journal 37(3):35-49 (In Persian)
- Droitsch D, Robinson B (2009) Share the water: building a secure water future for Alberta, published jointly by can more: water matters society of Alberta, and Vancouver: Eco Justice, AB. www.water-matters.org/docs/share-the-water.pdf
- Grafton RQ, Landry C, Libecap GD, OBrien JR (2009) Water markets: Australia's murray-darling basin and the U.S. Southwest. International Center for Economic Research. Working paper series, ICER, and Turin Italy Pp:68-83
- Gomez-Limon JA, Martinez Y (2006) Multi-criteria modeling of irrigation water market at basin level: A Spanish case study. European Journal of Operational Research 173(1):313-336
- Howitt RE, Medellin-Azuara J, MacEwan D (2009) Estimating the economic impacts of agricultural yield related changes for California. Final Paper, a Paper from California Climate Change Center (29):113-129
- Howitt RE, Medellin-Azuara J, MacEwan D, Lund R (2012) Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Science of the Environmental Modelling 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
- Kaczan D, Qureshi ME, Connor J (2012) Water Trade and Price Data for the Southern Murray Darling Basin, CSIRO, Adelaide, Canberra No:23

سیستان به لحاظ فعالیت‌های دامداری و دامپروری پیشرو و غنی بوده، لذا توصیه می‌شود که هم‌زمان با اجرایی شدن سیاست‌های قیمت‌گذاری منابع آب بر اساس نهاد ساختاری بازار آب محلی، محصولات علوفه‌ای دیگری متناسب با شرایط منطقه مورد مطالعه در الگوی کشت محصولات زراعی جایگزین شوند.

۴- نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای پیامدها و اثرات مثبت و مناسبی را بر تولیدات بخش کشاورزی و سود ناخالص کشاورزان منطقه سیستان (شهرستان‌های زابل، زهک و هیرمند) دارد. همچنین، افزایش مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی در منطقه سیستان که حاصل از شکل‌گیری بازارهای آب منطقه‌ای است، می‌تواند منجر به افزایش نهاده‌های سرمایه و نیروی کار در واحد سطح اراضی شود که این امر به نوبه خود ایجاد اشتغال و کاهش مهاجرت مردم منطقه سیستان را به مناطق هم‌جوار و اطراف در پی دارد. لذا، تداوم برنامه‌های سیاستی در زمینه اشتراک‌گذاری منابع آب و تشکیل نهادهای ساختاری تحت عنوان بازارهای آب منطقه‌ای راهکار مناسبی برای اشتغال‌زایی و کاهش مهاجرت کشاورزان سیستانی به شمار می‌رود که پیگیری این موضوع و فراهم آوردن زمینه مناسب جهت ایجاد این نهاد به مسئولان بخش‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب منطقه سیستان پیشنهاد می‌گردد.

۵- اگرچه استفاده از روش مدل‌سازی هیدرواقتصادی با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و اطلاعات مقطعی یا سالانه در این پژوهش جهت ارزیابی آثار اقتصادی تشکیل بازارهای آب نتایج مناسبی را حاصل می‌نماید، اما پیشنهاد می‌شود که محققان در پژوهش‌های آتی از روش‌های دیگری که در ضمن خود داده‌ها و اطلاعات سری زمانی یا چندین ساله را به کار می‌گیرند (مانند روش‌های اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی چند دوره‌ای)، جهت پیش‌بینی آثار شکل‌گیری بازارهای آب استفاده نمایند.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهشی و اساتید محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل که در فرایند این طرح تحقیقاتی همکاری لازم را داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین، از سرکار خانم مهندس مهنا پرهیزکاری به دلیل کمک‌های بی‌شائبه‌ای که در تدوین و آماده‌سازی پژوهش حاضر داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

- Parhizkari A, Sabuhi M, Ziaee S (2013) Simulation of water market and analysis of the effects of irrigation water sharing policy on the pattern of cultivation under water deficit conditions. *Journal of Agricultural Economics and Development* 27(3):242-252 (In Persian)
- Parhizkari A, Taghizade Ranjbari H, Shokat fadaee M, Mahmoodi A (2015) Evaluation of economic losses of water transfer between basin on cultivar pattern and income status of farmers in the basin (Case study: Alumetrood water transfer to Qazvin plain). *Journal of Agricultural Economics and Development* 29(3):333-319 (In Persian)
- Parhizkari A, Badie Barzin H (2016) Determination of water economical value and simulation of Takestan farmers' behavior in reducing agricultural water resources. *Journal of Water Research in Agriculture* 31(1):118-105 (In Persian)
- Regional Water Company of Sistan and Balouchestan Province (2016) Water resources status of Hamoon Lake basin after 2001. Website <http://earthobservatory.nasa.gov>
- Uosefi A, Hasanzade M, Keramatzade A (2014) Investigating the welfare effects of water resources distribution in iranian economy. *Journal of Water Resources Research* 10(1):25-15 (In Persian)
- Wheeler S, Bjornlund H, Shanahan M, Zuo A (2009) Who trades water allocations? Evidence of the characteristics of early adopters in the goulburn Murray irrigation district, Australia. *Agricultural Economics* 40(1):631- 643
- Zaman AM, Malano HM, Avidson BD (2012) 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. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142(2):72-89
- Keramatzade A, Chizari A, Sharzei Q (2001) The role of the water market in determining the economic value of agricultural water with the promising mathematical planning approach (downstream of the Shirin dam in the Bojnourd valley). *Journal of Agricultural Research and Development* 42(1):29-44 (In Persian)
- Kianee Q (2000) Potential benefits of irrigation water market formation, case study of Saveh area. *Journal of Environmental Science* 6(4):72-65 (In Persian)
- Louw D, Van Schalkwyk H (2002) Efficiency of water allocation in South Africa: water markets as an alternative. Paper presented at the Conference for Irrigation Water Policies: Micro and Macro Considerations, Agadir, Morocco, June 15-17
- Mahmoodi A, Parhizkari A (2016) Economic modeling of water resources management in Tehran province with emphasis on the role of water market. *Journal of Economic Modeling* 35(3):139-121 (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):5639-5648
- Medellan-Azuara J, Harou JJ, Howitt RE (2011) Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Science of the Agricultural Water Management* (108):73-82
- Nikoe A, Najafi B (2011) The welfare effects of the establishment of agricultural water market in Iran, case study: Isfahan irrigation networks. *Journal of Agricultural Economics and Development* 19(76):25-37 (In Persian)
- Parhizkari A, Sabuhi M (2013) Analysis of Economic and welfare effects of irrigation water market in Qazvin Province. *Journal of Agricultural Economics and Development* 27(4):350-338 (In Persian)