اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۴، تابستان ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.303790.1089

مقاله پژوهشی

بررسی کارآیی بازار آب و مقایسهٔ آن با شیوه‌های مختلف تخصیص در شرایط کم‌آبی

خدیجه ثمره هاشمی[۱]، احمدعلی کیخا[۲]، حسین مهرابی بشرآبادی[۳]، مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۴]، سامان ضیائی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲

چکیده

مطالعهٔ حاضر با هدف شبیه‌سازی و بررسی کارآیی بازار آب و مقایسهٔ آن با سه شیوهٔ تخصیص بهینه، تخصیص بر اساس سهمیه‌بندی ثابت و تخصیص بر اساس سهمیه‌بندی تناسبی آب صورت

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(kh.s.hashemi@gmail.com)
۲- نویسندهٔ مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(kehkha@yahoo.com)
۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
(hmehrabi2000@gmail.com)
۴- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(m.mardani@asnrukh.ac.ir)
۵- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. (samanziaee@gmail.com)

گرفت. منطقهٔ مورد مطالعه زیرحوضهٔ جیرفت واقع در حوضهٔ آبریز هلیل‌رود و داده‌های مورد نیاز مربوط به سال ۱۳۹۴ بود. روش مورد استفاده محاسبهٔ تابع منفعت حاصل از آبیاری و حداقل‌سازی زیان درآمدی در کل منطقه بود. بدین منظور، ابتدا محدودیت بیست و سی درصدی در برداشت از منابع آب زیرزمینی اعمال شد و سپس، بررسی شیوه‌های تخصیص بهینه، تخصیص بر اساس سهمیه‌بندی ثابت و تخصیص بر اساس سهمیه‌بندی تناسبی آب از لحاظ منافع حاصل از آبیاری و بهره‌وری آب در محصولات مختلف انجام پذیرفت. پس از آن، از طریق ایجاد یک بازار آب فرضی، کارآیی بازار آب پس از اجرای این روش‌های تخصیص مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به‌منظور بررسی اثر هزینه‌های مبادله بر تجارت آب، هزینهٔ مبادله معادل صفر، پنج، ده، بیست و سی درصد قیمت آب در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج پژوهش، چنانچه شرایط رقابت کامل بر بازار حاکم و هزینه‌های مبادله صفر باشد، تخصیص بهینه و تشکیل بازار آب منجر به تخصیص نهایی مشابه حقوق آب و منافع آبیاری برای کل جامعه می‌شوند و از قوانین سهمیه‌بندی ثابت و متناسب کارآمدترند؛ همچنین، با کاهش دسترسی به منابع آب، منافع حاصل از تجارت آب افزایش و با افزایش هزینه‌های مبادله، حجم آب مبادله‌شده و منافع حاصل از تجارت آب کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: *بازار آب، تخصیص بهینه منابع آب، تابع زیان درآمدی، جیرفت.*
طبقه‌بندی JEL : Q25, Q18, Q13

مقدمه

امروزه، یک نگرانی همگانی دربارهٔ کمبود آب و پیامدهای آن در تولید انرژی و مواد غذایی وجود دارد. نتایج یک نظرسنجی جهانی که توسط انجمن جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۵ در بین نه‌صد کارشناس شناخته‌شده انجام گرفت، نشان می‌دهد که بالاترین سطح بحران اجتماعی طی ده سال آینده برآمده از بحران آب خواهد بود. همچنین، سومین گزارش برنامهٔ ارزیابی جهانی آب سازمان ملل متحد[1] در سال ۲۰۰۹، به‌طور بی‌سابقه، هشدار می‌دهد که

1. United Nations World Water Assessment Programme (UN WWAP)

پیامدهای استفاده نادرست و ناپایدار از آب بسیار جدی است (Cosgrove and Loucks, 2015).

مشکلات کمبود آب، تخلیه آب‌های زیرزمینی، آلودگی و شوری نشانه‌هایی از یک مسئله بسیار عمیق در شکست سیاست‌گذاری‌ها، عدم تحولات سازمانی و بازار برای توسعه و مدیریت منابع آب است (Ahmad, 2000)، به‌گونه‌ای که در بسیاری از کشورها، چارچوب قانونی ضعیف موجود و سیاست‌های اقتصادی منجر به استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی شده است. از آنجا که آب همه جنبه‌های توسعه را پایه‌ریزی می‌کند و توسعهٔ اقتصادی و امنیت اجتماعی در معرض خطر مدیریت ضعیف آب قرار دارد، نیاز به مدیریت کارآمد، اقتصادی و پایدار منابع آب احساس می‌شود (Bekchanov et al., 2015; Garrick et al., 2013). ماهیت دقیق اصلاحات سیاست آب و ابزارهای سیاست‌گذاری، بسته به شرایط اساسی مانند سطح توسعه اقتصادی و ظرفیت سازمانی، کمبود نسبی آب و اهمیت کشاورزی، از کشوری به کشور دیگر متفاوت است و برای طراحی سیاست‌های خاص در هر کشور، منطقه و حوضه، باید تحقیقات و مطالعات لازم انجام گیرد (Cai et al., 2006)؛ با این همه، یکی از ابزارهای مهم اقتصادی که در دهه‌های اخیر، به‌منظور تسهیل تخصیص مجدد منابع کمیاب در بسیاری از کشورها استفاده شده، بازارهای آب است، به‌گونه‌ای که در بسیاری از مناطق جهان، تجارت آب به کاهش مشکلات کمبود آب کمک کرده است (Griffin et al., 2013)؛ و در بیشتر موارد، این بازارها به حفاظت از آب، افزایش آگاهی از ارزش واقعی آن و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف و استفاده مجدد آب منجر شده است. در واقع، تجارت آب یک ابزار اقتصادی است که قیمت‌های بازاری را ایجاد می‌کند، به‌گونه‌ای که این قیمت‌ها نشان‌دهندهٔ ارزش کمیابی آب و هزینهٔ فرصت آن است و اقدام افراد در واکنش به تغییر شرایط عرضه و تقاضا را بر می‌انگیزد. بازارهای آب امکان عرضهٔ اضافی آب برای کاربردهای با ارزش بالا را بدون توسعه منابع جدید فراهم می‌کند و با جبران (پاداش) برای فروش آب در کاربردهای با ارزش کمتر، انگیزه استفاده کاراتر از آب را فراهم می‌سازد (Rosegrant and Binswanger, 1994). بنابراین، بازار آب یکی از نویدبخش‌ترین راهکارهای سازمانی برای

تخصیص آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌ویژه برای تأمین منابع آب به‌منظور استفاده‌های ارزشمند شهری و کشاورزی است. همان‌گونه که گفته شد، در طول دو دههٔ اخیر، بازارهای آب در چندین کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه معرفی شده‌اند. برای نمونه، در ایالات متحده آمریکا، اسپانیا و شیلی مدارکی در ارتباط با مزایای بازار آب وجود دارد (Garrick et al., 2013). همچنین، نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که به‌طور کلی، بازار آب با ایجاد اثرات مثبت، درآمد منطقه‌ای را افزایش می‌دهد. سود حاصل از تجارت آب ممکن است در میان بهره‌برداران بسیار متفاوت باشد (Ahmadi et al., 2016; Bonnie et al., 1991; Franco and Zhu, 2015; Hadjigeorgalis, 2009; Howe et al., 1986; Kamranian Marenani, 2014; Mahmoudi and Parhizkari, 2016)؛ البته، ایجاد بازار آب نیازمند مجموعه‌ای از اقدامات و پیش‌نیازهاست، از جمله اینکه شکل‌گیری «قانون مبنای تخصیص آب از طریق حقوق قابل معامله» باید ساده و جامع باشد و ویژگی‌های حقوق آب و شرایط و مقررات حاکم بر تجارت حقوق آب را به‌وضوح مشخص کند، ثبت حقوق آب ایجاد و اجرا شود، نقش دولت، مؤسسات و افراد درگیر در تخصیص آب و راه‌های حل اختلافات میان آنها مشخص شود و حفاظت مقرون‌به‌صرفه در برابر اثرات منفی شخص ثالث و اثرات زیست‌محیطی را که ممکن است از معاملات آب ایجاد شود، تأمین کند. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری لازم برای بهبود و گسترش شبکه‌های توزیع و انتقال آب ضروری است (Rosegrant and Binswanger, 1994). بنابراین، باید معاملات در یک چارچوب سازمانی مناسب انجام شود؛ در غیر این صورت، به‌طور کلی، بازارها نمی‌توانند کارآیی را افزایش داده، عدالت را ترویج کند، یا تضمین کند که شخص ثالث تحت تأثیر منفی قرار نگیرد (Garrick et al., 2013; Grafton et al., 2016).

در کشور ما نیز شرایط اقلیمی، خشکسالی‌های متعدد، توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی موجب شده است که تقاضای در حال رشد در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت با افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی پاسخ داده شود، به‌گونه‌ای که منابع آب زیرزمینی بیش از جریان تغذیه طبیعی خود مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. برای نمونه، اضافه برداشت در

استان کرمان باعث تخریب مخازن زیرزمینی و نشست زمین شده است (IWRMC, 2003). از این‌رو، در سال‌های اخیر، در قوانین برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور، توجه به ارزش اقتصادی آب و تشویق افراد به تشکیل بازار آب مورد تأکید قرار گرفته است (Jofre and Alizadeh, 2009). در واقع، ایجاد بازار آب باعث ایجاد انگیزه در تغییر کاربری و تشویق مصارف با ارزش بالاتر می‌شود. از این‌رو، بررسی اثرات ایجاد بازار آب بر کارآیی مصرف و بهبود تخصیص و منافع بهره‌برداران می‌تواند راهنمایی برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران و همچنین، انگیزه‌ای برای کشاورزان به‌منظور ورود بدین بازار باشد.

در زمینه بررسی اثرات بازار آب بر کارآیی تخصیص آب و مزایا و معایب تجارت آن، مطالعاتی در داخل و خارج کشور با کمک الگوهای مختلف برنامه‌ریزی ریاضی، نظریهٔ بازی، مدل‌های تعادل عمومی و عامل محور انجام گرفته است (Draper, 2008; Matthews, 2004; Olmstead, 2010; Rosegrant and Binswanger, 1994).

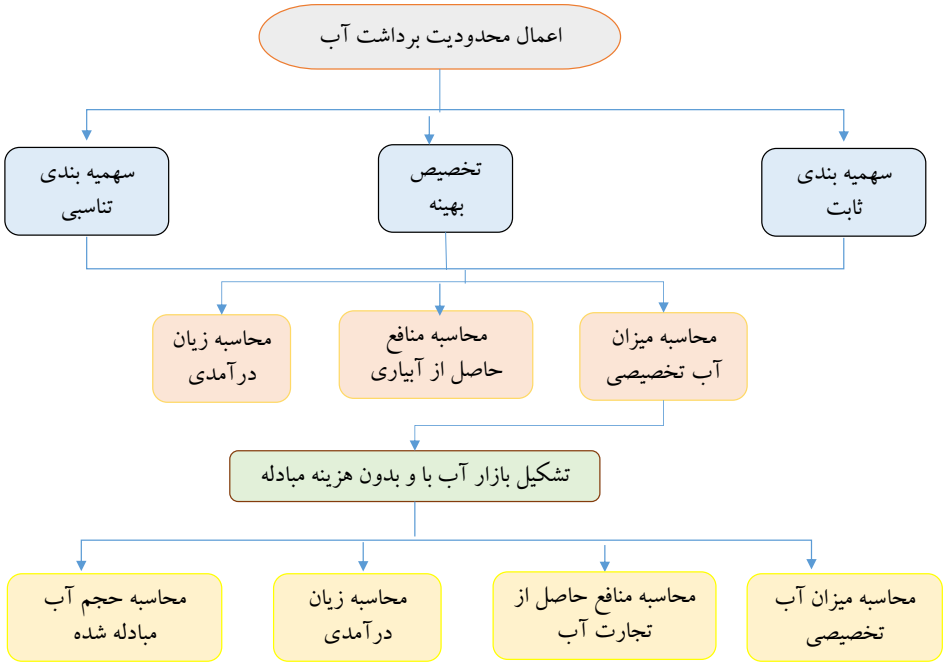
از سویی، با توجه به افزایش کمیابی منابع آب و اهمیت مسئله تخصیص، برخی از مطالعات نیز به بررسی دیگر روش‌های تخصیص آب بین بهره‌برداران پرداخته‌اند که البته در بسیاری از آنها، مدل‌سازی تخصیص آب آبیاری اغلب با هدف حداکثرسازی منافع کل اقتصادی و بدون توجه به ارزش اقتصادی آب با استفاده از روش‌های مختلف برنامه‌ریزی ریاضی از جمله برنامه‌ریزی پویا، خطی و آرمانی، فازی و همچنین، نظریهٔ بازی‌ها و الگوریتم ژنتیک انجام شده است (Alarcón et al., 2014a; Ghadami et al., 2009; Huang and Loucks, 2000; Lii and Guo, 2014; Lu et al., 2009; Momeni and Rezaei, 2009; Nourani et al., 2012; Sabouhi and Mojarad, 2010). اما مطالعاتی که به مقایسهٔ کارآیی اقتصادی بازارهای آب و سایر شیوه‌های تخصیص آب در شرایط کم‌آبی پرداخته‌اند، انگشت‌شمارند؛ از آن جمله، می‌توان به مطالعهٔ الارکن و جوانا (Alarcon and Juana, 2016) اشاره کرد که به مقایسهٔ تخصیص بهینه و دیگر روش‌های تخصیص و بازار آب پرداخته است. صفاری و همکاران (Saffari et al., 2016) نیز تخصیص منابع آب در یک حوضه آبریز را در دو چارچوب تخصیص عمومی و بازار آب با یکدیگر مقایسه کرده‌اند.

در مطالعهٔ حاضر، اثرات سه شیوهٔ تخصص بهینه، تخصیص بر اساس سهمیه‌بندی ثابت و تخصیص بر اساس سهمیه‌بندی تناسبی و همچنین، تخصیص بر اساس بازار آب بر بهره‌وری آب و منافع بهره‌برداران با استفاده از یک روش فرمول‌سازی ساده و کم‌داده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

اساس نظری تخصیص بهینهٔ منابع بین فعالیت‌های تولیدی با عنوان «توزیع بهینهٔ پارتو» شناخته شده است. بر اساس این قانون، سود کل زمانی حداکثر است که سطوح مصرف یا همان منافع نهایی برای همه مصرف‌کنندگان و در تمامی زمان‌ها برابر باشد (Reca et al., 2001). می‌توان برای زمانی که زیان نهایی به‌جای منافع رخ می‌دهد، مانند موقعیت‌های کمبود آب نیز استدلالی مشابه را در نظر گرفت (Alarcón et al., 2014a). در پژوهش حاضر، به‌منظور تخصیص بهینهٔ آب و ارزیابی بازار آن در یک منطقه، از روش به‌کاررفته در مطالعات الارکن و جوانا (Alarcon and Juana, 2016) و الارکن و همکاران (Alarcón et al. 2014a; Alarcón et al. 2014b) استفاده شده است. این روش برای مواردی که داده‌های میدانی کافی برای تجزیه و تحلیل‌های اقتصادسنجی وجود ندارد، پیشنهاد شده است.

شکل ۱ ساختار روش تحقیق را نشان می‌دهد. نخست، محدودیت برداشت از آب‌های زیرزمینی به میزان بیست و سی درصد اعمال شده و سپس، سه شیوهٔ تخصیص سهمیه‌بندی ثابت برای تمام محصولات، سهمیه‌بندی تناسبی برای هر محصول و تخصیص بهینه مورد بررسی قرار گرفته و پس از آن، با بهره‌گیری از تخصیص‌های مربوط بدین قوانین، بازار آب داخلی شبیه‌سازی شده است. برای محاسبهٔ میزان آب تخصیصی، منفعت حاصل از آبیاری و زیان درآمدی نیز از توابعی استفاده شده است که نیاز به داده‌های کمتری در مقایسه با روش‌های دیگر دارند؛ در پی، توضیح این توابع ارائه می‌شود.



شکل ۱- ساختار روش تحقیق

اگر منفعت به‌دست‌آمده از آبیاری محصول به‌صورت رابطه زیر نشان داده شود:

$$IB(q) = B - B_S \qquad (۱)$$

آنگاه، B سود حاصل از تولید یک محصول و B_s سود حاصل از تولید همان محصول در شرایط بدون آبیاری (دیم) است. فرض می‌شود که تابع سود درجه دو است، گرچه اشکال دیگر تابعی را نیز می‌توان در نظر گرفت:

$$B(q) = \frac{m}{2}.q^2 + k.q + B_s \qquad (۲)$$

پارامترهای $\frac{m}{2}$ و k، به‌ترتیب، ضرایب درجه دوم و خطی تابع سود و متغیر q میزان آب مورد استفاده است.

در این صورت، تابع سود و سود نهایی به‌صورت روابط ۳ و ۴ بیان می‌شود:

$$IB(q) = \frac{m}{2}.q^2 + k.q \qquad (۳)$$

$$MB = \frac{dB}{dq} = m.q + k \; q \geq 0, m < 0, k > 0 \qquad (۴)$$

MB سودنهایی یا تغییر در سود ناشی از یک واحد افزایش در آب مصرفی (q) است. اگر مقدار بزرگ‌تر از صفر ($MB> 0$) باشد، آبیاری انجام می‌گیرد، هرچند که با افزایش میزان آب مورد استفاده، مقدار آن کاهش می‌یابد، زیرا $m < 0$ و $k > 0$ فرض شده است.

اگر تخصیص مرجع گیاه که با نیاز کامل آبی آن سازگار است، با q_r و سودی که با مصرف آن ایجاد می‌شود، با B_r نشان داده شود، منافع حاصل از آبیاری مرجع بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$IB_r = B_r - B_S \qquad (۵)$$

نقطه q_r, IB_r به‌عنوان نقطهٔ مرجع در نظر گرفته می‌شود. هر تخصیص آب کوچک‌تر یا مساوی تخصیص مرجع (q_r) است. با استفاده از شرط دوم حداکثرسازی ریاضی، دو ضریب m و k به‌راحتی تعیین می‌شوند.

$$\left.\begin{array}{c} MB_r = m.q + k = 0 \\ IB_r = B_r - B_S = \frac{m}{2}.{q^2}_r + k.q_r \end{array}\right| \longrightarrow m = \frac{-2.IB_r}{q_r^2}, k = \frac{2.IB_r}{q_r} \qquad (۶)$$

همچنین، می‌توان سود مرجع (B_r) را بر اساس رابطه (۷) به‌دست آورد:

$$B_r = \frac{B_a}{2q_a^* - {q_a^*}^2} \qquad (۷)$$

که در آن، B_a سود حاصل از آبیاری در یک سال معین و $q_a^* = q_a/q_r$ نسبت میزان آب مصرفی در یک سال معین (q_a) به نیاز کامل آبی(q_r)) است.

با توجه به شرایط کمبود آب، برای محصول i، دسترسی به آب در یک سال خاص نسبت به سال مرجع (بدون کمبود آب و حداکثر سود)، به‌صورت $q_i^* = q_i/q_{ri}$ بیان می‌شود. از آنجا که آب تخصیص‌یافته به هر محصول حداکثر برابر با تخصیص مرجع است، $q_i \leq q_{ri}$؛ در نتیجه، $q_i^* \leq ۱$ است. بنابراین، درصد کاهش آب در یک سال خاص، با توجه به یک سال بدون کمبود آب، برای کل منطقه به‌صورت $Q^* = Q/Q_r$ بیان می‌شود. در نتیجه، برای هر شیوه تخصیص، مجموع تخصیص‌های محصولات نمی‌تواند از کل مقدار آب در دسترس بیشتر باشد: $\sum_{i=1}^{n} q_i \leq Q$.

سود حاصل از آبیاری هر محصول IB_i به صورت رابطهٔ (۸) بیان می‌شود:

$$IB_i = IB_{ri}.\left(\frac{2q_i}{q_{ri}} - \left(\frac{q_i}{q_{ri}}\right)^2\right) = IB_{ri}.\left(2q_i^* - q_i^{*2}\right) \quad (۸)$$

زیان درآمدی هر محصول L_i با استفاده از رابطهٔ (۹) محاسبه می‌شود که در واقع، تفاوت سود پتانسیل (یعنی، سودی که با به‌کارگیری نیاز کامل آبی گیاه حاصل می‌شود) و سود حاصل از کشت محصول است.

$$L_i = IB_{ri} - IB_i = IB_{ri}.(1 - q_i^*)^2 \quad (۹)$$

ممکن است در یک منطقه کشاورزی n هکتاری، با توجه به میزان آب در دسترس، کشاورزان مجبور به پذیرش سهمیه یکسان برای هر هکتار، صرف‌نظر از نوع محصول کشت‌شده، باشند: $q_i = q = Q/n$. بنابراین، ممکن است در قطعاتی از زمین، سهمیه اجباری، نیاز آبی یا تخصیص مرجع را برآورده کند. در این صورت، هیچ زیان درآمدی انتظار نمی‌رود و بهره‌بردار می‌تواند این مازاد را در بازار بفروشد و یا در غیاب بازار آب، به محصولات دیگر اختصاص دهد. از این‌رو، به عبارت رابطهٔ (۹) متغیر منطقی $q_i^* <$۱ اضافه می‌شود که در صورت صادق بودن، مقدار یک و در غیر این صورت، مقدار صفر می‌گیرد:

$$L_i = IB_{ri}.(1 - q_i^*)^2.q_i^* < 1 \quad (۱۰)$$

از سوی دیگر، روش تخصیص سهمیه تناسبی می‌تواند با اعمال درصد مشابهی از کاهش آب برای کل منطقه و برای هر محصول اجرا شود: $q_i^* = q_i/q_{ri} = Q^* = Q/Q_r$. با استفاده از این روابط، زمانی که تابع سود درجه دو است، زیان درآمدی هر محصول i به صورت رابطهٔ (۱۱) نوشته می‌شود:

$$L_i = IB_{ri} - IB_i = IB_{ri}.(1 - q_i^*)^2 = IB_{ri}.(1 - Q^*)^2 \quad (۱۱)$$

اما کارآمدترین تخصیص آب، تخصیصی است که کل زیان درآمدی منطقه، L، حداقل یا سود کل حداکثر شود. بنابراین، هدف یافتن q_i^* هایی است که L را با توجه به این محدودیت که مجموع آب اختصاص‌یافته از کل مقدار آب در دسترس بیشتر نشود، حداقل سازد. در واقع، وضعیت مطلوب، هیچ معیار برابری برای همه را در نظر نمی‌گیرد؛ بنابراین،

ممکن است نابرابری قابل توجهی را بین کشاورزان ایجاد کند. در حل بهینه، سود نهایی تمامی محصولات برابر است. بنابراین، با در نظر گرفتن رابطهٔ (۶) برای توابع درجه دو و نسبت $q_i^* = q_i/q_{ri}$، هر تخصیص می‌تواند از رابطهٔ (۱۲) به‌دست آید:

$$MB_i = \frac{IB_{ri}}{q_{ri}}.2.(1-q_i^*) = MB \;\rightarrow\; q_i^* = 1 - \frac{MB}{2}.\frac{q_{ri}}{IB_{ri}} \qquad (۱۲)$$

برای مقدار MB به‌دست‌آمده، همان‌گونه که همه تخصیص‌ها باید بزرگ‌تر از صفر ($q_i > 0 \rightarrow q_i^* > 0$) باشند، محصولاتی که شرط $2.IB_{ri}/q_{ri} > MB$ را ندارند، برای دریافت تخصیص در نظر گرفته نمی‌شوند. در نتیجه، هر مقدار MB با یک مقدار دسترسی به آب Q متناظر می‌شود، که می‌توان آن را با اضافه کردن مقادیر به‌دست‌آمده، مطابق رابطهٔ (۱۳) تعیین کرد:

$$Q = \sum q_{ri}.q_i^* = \sum q_{ri}.\left(1 - \frac{MB}{2}.\frac{q_{ri}}{IB_{ri}}\right).(q_i^* > 0) \qquad (۱۳)$$

بازار آب

پس از آنکه محدودیت آب اعمال شد ($Q^* = Q/Q_r$)، شیوه‌های تخصیص آب منجر به تخصیص نسبی q_0^* به هر محصول می‌شود. حال، از طریق شبیه‌سازی یک بازار فرضی، تخصیص بازار (q_m^*) به‌دست می‌آید. در قیمت پرداختی برای آب P_m، هزینه‌های مبادله C_t به‌عنوان یک مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شود، که به کاهش سود می‌انجامد: $P_m = P_e \pm C_t$. برای ساده‌سازی، فرض می‌شود که هزینه‌های مبادله برای خریداران (با علامت مثبت) و فروشندگان (با علامت منفی) یکسان است. از این‌رو، سودی که می‌تواند از طریق بازار به‌دست آید، مطابق رابطهٔ (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$IB_m = IB_r.(2q_m^* - q_m^{*2}) + (P_e \pm C_t).q_r.(q_0^* - q_m^*) \qquad (۱۴)$$

یک کشاورز تنها زمانی آب می‌خرد که سود نهایی بزرگ‌تر از $P_e + C_t$ بوده و زمانی اقدام به فروش آب می‌کند که MB کوچک‌تر از $P_e - C_t$ داشته باشد. در نتیجه، اگر منفعت نهایی یک بهره‌بردار بین $P_e + C_t$ و $P_e - C_t$ قرار داشته باشد، تخصیص اولیهٔ خود را حفظ می‌کند.

بنابراین، $q_m^* = q_m/q_r$ که q_m تخصیصی است که سود کشاورز را بهینه می‌کند، و از رابطهٔ (۱۵) به‌دست می‌آید.:

$$\frac{dIB_m}{dq_m} = \frac{IB_r}{q_r}.2.(1-q_m^*) - (P_e \pm C_t) = 0 \rightarrow$$

$$q_m^* = \begin{cases} \left(1 - \frac{P_e+C_t}{2}.\frac{q_{ri}}{IB_{ri}}\right).\left(\frac{2IB_{ri}}{q_{ri}} > P_e + C_t\right).\left(\frac{2IB_{ri}}{q_{ri}}.(1-q_{0i}^*) > P_e + C_t\right) + \\ \left(1 - \frac{P_e-C_t}{2}.\frac{q_{ri}}{IB_{ri}}\right).\left(\frac{2IB_{ri}}{q_{ri}} > P_e - C_t\right).\left(\frac{2IB_{ri}}{q_{ri}}.(1-q_{0i}^*) < P_e - C_t\right) + \\ q_{0i}^*.\left(\frac{2IB_{ri}}{q_{ri}}.(1-q_{0i}^*) < P_e + C_t\right).\left(\frac{2IB_{ri}}{q_{ri}}.(1-q_{0i}^*) > P_e - C_t\right) \end{cases} \quad (۱۵)$$

بدیهی است که باید شرط $\sum_{i=1}^{n} q_{mi} \leq Q$ رعایت شود. بر این اساس، تابع سود کل منطقه از رابطهٔ (۱۶) به‌دست می‌آید:

$$IB = \sum IB_{mi} = \sum IB_{ri}.\left(\left(2q_{mi}^* - q_{mi}^{*2}\right) + (P_e \pm C_t).q_{ri}.(q_{0i}^* - q_{mi}^*)\right) \quad (۱۶)$$

و تابع زیان درآمدی از رابطهٔ (۱۷) به‌دست می‌آید:

$$L = \sum L_i = \sum IB_{ri}.(1-q_{mi}^*)^2 - (P_e \pm C_t).q_{ri}.(q_{0i}^* - q_{mi}^*) \quad (۱۷)$$

داده‌های مورد نیاز برای انجام تحقیق شامل اطلاعات مربوط به عملکرد، هزینهٔ تولید و قیمت محصولات کشت‌شده در منطقه و نیاز خالص آبیاری است. اطلاعات مرتبط با تولید از سازمان جهاد کشاورزی منطقهٔ جیرفت مربوط به سال ۱۳۹۴ اخذ و نیاز خالص آبی محصولات بر اساس سند ملی آب محاسبه شده است. همچنین، حل مسئلهٔ بهینه‌سازی و شبیه‌سازی بازار آب در نرم‌افزار GAMS انجام گرفته است.

منطقه مورد بررسی، محدودهٔ مطالعاتی جیرفت واقع در ناحیه مرکزی حوضه هلیل‌رود در استان کرمان بوده، که این ناحیه یکی از ۲۱ محدوده مطالعاتی حوضه آبریز هامون جازموریان است و دشت آن به‌دلیل توان بالای منابع آب و خاک، قطب کشاورزی ناحیه غرب جازموریان محسوب می‌شود. مهم‌ترین کشت در این منطقه شامل غلات (گندم)، سبزیجات (خیار و گوجه‌فرنگی)، نباتات علوفه‌ای (یونجه) و درختان میوه (نخیلات و مرکبات) است.

نتایج و بحث

الگوی کشت محصولات زراعی منطقه مورد مطالعه که از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند، نیاز ناخالص آبیاری که به‌عنوان تخصیص مرجع q_r در نظر گرفته شده و منافع حاصل از به‌کارگیری این میزان آب که از آن به‌عنوان منافع آبیاری مرجع IB_r یاد می‌شود، در جدول ۱ ارائه شده است. به‌منظور محاسبه نیاز ناخالص آبیاری، با در نظر گرفتن راندمان ۴۵ درصد برای آن دسته از اراضی که از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند (IWRMC, 2013)، تخصیص مرجع q_r محاسبه شد. سپس، مطابق رابطه (۵)، منافع حاصل از آبیاری مرجع IB_r برای هر محصول به‌دست آمد. از آنجا که کشت هیچ‌کدام از محصولات بدون آبیاری در منطقه امکان‌پذیر نیست، منافع محصول بدون آبیاری B_s صفر در نظر گرفته می‌شود.

ابتدا سیاست محدودیت برداشت از آب‌های زیرزمینی به میزان بیست و سی درصد (Q^*=۰/۸۰ و Q^*=۰/۷۰) در دو حالت سهمیه‌بندی ثابت برای تمام محصولات و سهمیه‌بندی تناسبی برای هر محصول و تخصیص بهینه مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن، با بهره‌گیری از تخصیص‌های مربوط بدین قوانین، بازار آب داخلی شبیه‌سازی شد.

جدول ۱- سطح زیر کشت، آبیاری مرجع (q_r) و منافع حاصل از آبیاری مرجع (IB_r)

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	q_r (متر مکعب در هکتار)	IB_r (هزار ریال در هکتار)
گندم	۴۸۷۱	۳۲۸۰	۷۴۹۱
جو	۲۰۰۹	۲۷۲۰	۳۱۷۵
حبوبات	۱۳۹	۸۰۲۰	۲۰۰۱۸
یونجه	۳۹۹۴	۲۳۵۸۰	۲۵۹۶۱
سیب‌زمینی	۲۵۸۶	۶۴۲۰	۱۴۰۸۴۹
پیاز	۲۵۴	۵۳۰۰	۲۶۰۹۴۰
خیار	۴۳۴۰	۷۱۴۰	۹۰۳۹۶
هندوانه	۲۵۴	۶۹۶۰	۶۱۱۹۶
گوجه‌فرنگی	۳۸۷۹	۵۵۴۰	۴۷۹۹۵
دانه‌های روغنی	۷۳۹	۱۰۷۴۰	۹۲۸۹۸
کل منطقه	۲۳۰۶۵	۸۵۳۵	۵۳۸۷۱

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان (South Kerman Agricultural Jahad Organization)

تخصیص آب با استفاده از سه قانون سهمیه‌بندی ثابت، سهمیه‌بندی تناسبی و تخصیص بهینه (بازار آب با هزینه مبادله صفر) برای سیاست کاهش بیست و سی درصدی آب در جدول ۲ آمده است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، در سهمیه‌بندی ثابت، میزان سهمیه تخصیص‌یافته به تمامی محصولات یکسان است. مطابق این قانون، با کاهش بیست و سی درصدی دسترسی به آب، سهمیه هر محصول، به‌ترتیب، ۶۸۲۸ و ۵۹۷۵ مترمکعب در هکتار خواهد بود، که این مقدار ممکن است برای برخی محصولات بیش از نیاز آبی کامل گیاه باشد؛ در این صورت، بهره‌بردار می‌تواند این مازاد را در بازار بفروشد و یا در غیاب بازار آب، به محصولات دیگر اختصاص دهد. در سیاست سهمیه‌بندی تناسبی، میزان آب اختصاصی به هر گیاه به نسبت تخصیص مرجع آن کاهش می‌یابد. اما در تخصیص بهینه، تخصیص آب به هر محصول بر اساس حداقل‌سازی زیان درآمدی کل منطقه صورت می‌گیرد. چنان‌که پیش از این یادآوری شد، در تخصیص بهینه، سود نهایی کل منطقه و هر محصول با یکدیگر برابر و معادل قیمت آب (بدون در نظر گرفتن هزینه معامله) است. قیمت آب برای Q^*=۰/۸۰ برابر با ۷۵۷/۴ ریال و برای Q^*=۰/۷۰ برابر با ۱۱۳۶/۱ ریال برای مترمکعب به‌دست آمد.

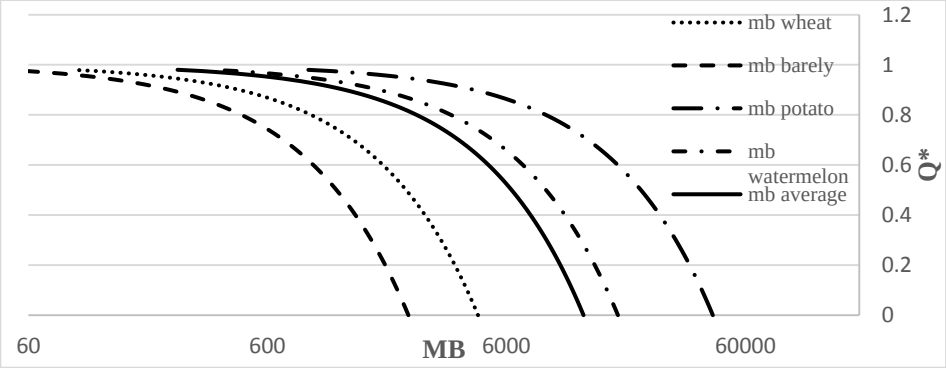
جدول ۲- میزان آب تخصیص داده شده به محصولات در سناریوهای مختلف

(مترمکعب در هکتار)

محصولات		Q^*=۰/۸۰			Q^*=۰/۷۰		
	تخصیص مرجع	سهمیه‌بندی ثابت	سهمیه‌بندی نسبی	تخصیص بهینه (بازار آب)	سهمیه‌بندی ثابت	سهمیه‌بندی نسبی	تخصیص بهینه (بازار آب)
گندم	۳۲۸۰	۶۸۲۸	۲۶۲۴	۲۷۲۲	۵۹۷۵	۲۲۹۶	۲۴۶۰
جو	۲۷۲۰	۶۸۲۸	۲۱۷۶	۱۸۵۰	۵۹۷۵	۱۹۰۴	۱۳۸۷
حبوبات	۸۰۲۰	۶۸۲۸	۶۴۱۶	۶۸۱۷	۵۹۷۵	۵۶۱۴	۶۱۷۵
یونجه	۲۳۵۸۰	۶۸۲۸	۱۸۸۶۴	۱۵۵۶۳	۵۹۷۵	۱۶۵۰۶	۱۱۳۱۸
سیب زمینی	۶۴۲۰	۶۸۲۸	۵۱۳۶	۶۲۹۲	۵۹۷۵	۴۴۹۴	۶۲۲۷
پیاز	۵۳۰۰	۶۸۲۸	۴۲۴۰	۵۲۴۷	۵۹۷۵	۳۷۱۰	۵۲۴۷
خیار	۷۱۴۰	۶۸۲۸	۵۷۱۲	۶۹۲۶	۵۹۷۵	۴۹۹۸	۶۸۵۴
هندوانه	۶۹۶۰	۶۸۲۸	۵۵۶۸	۶۶۸۲	۵۹۷۵	۴۸۷۲	۶۵۴۲
گوجه‌فرنگی	۵۵۴۰	۶۸۲۸	۴۴۳۲	۵۳۱۸	۵۹۷۵	۳۸۷۸	۵۱۵۲
دانه‌های روغنی	۱۰۷۴۰	۶۸۲۸	۸۵۹۲	۱۰۳۱۰	۵۹۷۵	۷۵۱۸	۹۹۸۸
متوسط	۸۵۳۵	۶۸۲۸	۶۸۲۸	۸۰۲۳	۵۹۷۵	۵۹۷۵	۷۷۶۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در شکل ۲، تابع سود نهایی گندم، جو، سیب‌زمینی و هندوانه و متوسط منطقه به ازای مقادیر مختلف Q^* رسم شده است. پس از تشکیل بازار آب، در هر سطح Q^* معین، آب از محصولاتی که سود نهایی کمتری نسبت به سود نهایی متوسط منطقه دارند، گرفته و به محصولاتی که MB بزرگ‌تری دارند، داده می‌شود.



شکل ۲- تابع سود نهایی متوسط منطقه و برخی از محصولات

منافع حاصل از آبیاری مرجع و سه قانون تخصیص مورد بررسی و همچنین، منافع تشکیل بازار آب پس از برقراری سیاست سهمیه‌بندی تناسبی و ثابت برای Q^*=۰/۸۰ و Q^*=۰/۷۰ در جدول ۳ آمده است. از آنجا که تخصیص آب محصولات در سیاست‌های مختلف متفاوت است، منافع حاصل از آبیاری محصولات نیز در سیاست‌های مختلف فرق می‌کند. اما آنچه مسلم است، این است که با تشکیل بازار آب، منافع آبیاری افزایش می‌یابد به‌گونه‌ای‌که در کاهش بیست درصدی آب، منافع آبیاری در سیاست سهمیه‌بندی ثابت و تناسبی، به‌طور متوسط، ۵۱۷۲۰ هزار ریال در هکتار است؛ اما سیاست تشکیل بازار آب با منفعتی معادل ۵۳۶۸۰ هزار ریال در هکتار همراه خواهد بود. افزون بر این، با افزایش محدودیت منابع آب، منافع حاصل از تشکیل بازار آب افزایش می‌یابد. مقایسه سودآوری محصولات با قانون سهمیه‌بندی ثابت و تشکیل بازار آب پس از اجرای این قانون و همچنین، قانون سهمیه‌بندی تناسبی و تشکیل بازار آب پس از اجرای آن نشان می‌دهد که سودآوری کلیه محصولات پس از تشکیل بازار آب افزایش می‌یابد.

میزان بهره‌وری آب که از تقسیم منافع حاصل از آبیاری بر میزان مصرف آب محاسبه شده است، در سناریوهای مختلف برای کاهش بیست و سی درصدی منابع آب، در جدول ۴ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تشکیل بازار آب موجب افزایش بهره‌وری آب در تمامی محصولات نسبت به حالت مرجع می‌شود، زیرا در صورت ایجاد بازار آب، کشاورزان

کارآتر حاضر به پرداخت بهای بیشتر به ازای دریافت یک مترمکعب آب خواهند بود. بنابراین، برقراری نظام خرید و فروش آب موجب انتقال آب به مصارف با ارزش بیشتر می‌شود و کارآیی استفاده از آب را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مقایسهٔ جداول ۱ و ۴ نشان می‌دهد که ارتباط مستقیم بین سطح زیر کشت موجود محصولات منطقه، سودآوری آنها و بهره‌وری آب وجود ندارد.

جدول ۳- منافع حاصل از آبیاری (ده هزار ریال بر هکتار)

	گندم	جو	حبوبات	یونجه	سیب زمینی	پیاز	خیار	هندوانه	گوجه‌فرنگی	دانه‌های روغنی	متوسط
سود مرجع	۷۴۹	۳۱۸	۲۰۰۲	۲۵۹۶	۱۴۰۸۵	۲۶۰۹۴	۹۰۴۰	۶۱۲۰	۴۸۰۰	۹۲۹۰	۵۳۸۷
Q^*=۰/۸۰ سهمیه‌بندی ثابت (۱)	۷۴۹	۳۱۸	۱۹۵۸	۱۲۸۶	۱۴۰۸۵	۲۶۰۹۴	۹۰۲۲	۶۱۱۷	۴۸۰۰	۸۰۵۷	۵۱۷۲
سهمیه‌بندی تناسبی (۲)	۷۱۹	۳۰۵	۱۹۲۲	۲۴۹۲	۱۳۵۲۲	۲۵۰۵۰	۸۶۷۸	۵۸۷۵	۴۶۰۸	۸۹۱۸	۵۱۷۲
تخصیص بهینه (بازار آب با Ct=۰)	۷۲۷	۲۸۵	۱۹۵۷	۲۲۹۶	۱۴۰۷۹	۲۶۰۹۱	۹۰۳۲	۶۱۱۰	۴۷۹۲	۹۲۷۵	۵۳۶۸
بازار آب پس از (۱)	۱۰۳۸	۶۶۲	۱۹۵۸	۱۶۳۵	۱۴۱۲۰	۲۶۲۱۱	۹۰۲۴	۶۱۲۱	۴۹۰۶	۹۰۱۱	۵۲۷۷
بازار آب پس از (۲)	۷۲۰	۳۱۰	۱۹۲۶	۲۵۴۶	۱۳۹۹۲	۲۶۰۱۵	۸۹۴۰	۶۰۲۶	۴۷۲۵	۹۱۴۵	۵۲۷۷
Q^*=۰/۷۰ سهمیه‌بندی ثابت (۱)	۷۴۹	۳۱۸	۱۸۷۲	۱۱۴۹	۱۴۰۸۵	۲۶۰۹۴	۸۷۹۹	۵۹۹۷	۴۸۰۰	۷۴۶۱	۴۹۰۲
سهمیه‌بندی تناسبی (۲)	۶۸۲	۲۸۹	۱۸۲۲	۲۳۶۲	۱۲۸۱۷	۲۳۷۴۶	۸۲۲۶	۵۵۶۹	۴۳۶۸	۸۴۵۴	۴۹۰۲
تخصیص بهینه (بازار آب با Ct=۰)	۷۰۲	۲۴۱	۱۸۹۶	۱۸۹۴	۱۴۰۷۲	۲۶۰۹۱	۹۰۲۵	۶۰۹۸	۴۷۷۶	۹۲۴۴	۵۳۴۴
بازار آب پس از (۱)	۱۱۰۱	۷۶۴	۱۸۷۸	۱۲۷۸	۱۴۰۴۳	۲۶۱۷۶	۸۹۲۸	۶۰۳۴	۴۸۷۰	۸۷۹۳	۵۱۴۰
بازار آب پس از (۲)	۶۸۴	۳۰۰	۱۸۳۲	۴۸۳	۱۳۸۷۵	۲۵۹۱۷	۸۸۱۴	۵۹۰۸	۴۶۳۱	۸۹۶۴	۵۱۴۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴- بهره‌وری آب در سناریوهای مختلف (ریال بر مترمکعب)

	گندم	جو	حبوبات	یونجه	سیب‌زمینی	پیاز	خیار	هندوانه	گوجه‌فرنگی	دانه‌های روغنی	متوسط
مرجع	۲۲۸۴	۱۱۶۷	۲۴۹۶	۱۱۰۱	۲۱۹۳۹	۴۹۲۳۴	۱۲۶۶۰	۸۷۹۲	۸۶۶۳	۸۶۵۰	۶۳۱۲
Q^*=۰/۸۰ سهمیه‌بندی ثابت (۱)	۱۰۹۷	۴۶۵	۲۸۶۷	۱۸۸۳	۲۰۶۲۸	۳۸۲۱۶	۱۳۲۱۴	۸۹۵۹	۷۰۲۹	۱۱۸۰۰	۷۵۷۴
سهمیه‌بندی تناسبی(۲)	۲۷۴۱	۱۴۰۱	۲۹۹۵	۱۳۲۱	۲۶۳۲۷	۵۹۰۸۱	۱۵۱۹۳	۱۰۵۵۱	۱۰۳۹۶	۱۰۳۸۰	۷۵۷۴
تخصیص بهینه (بازار آب با Ct=۰)	۲۶۷۲	۱۵۴۱	۲۸۷۰	۱۴۷۵	۲۲۳۷۷	۴۹۷۲۶	۱۳۰۴۰	۹۱۴۴	۹۰۱۱	۸۹۹۶	۶۶۹۰
بازار آب پس از (۱)	۳۸۱۴	۳۵۷۸	۲۸۷۲	۱۰۵۰	۲۲۴۴۱	۴۹۹۹۵	۱۳۰۲۹	۹۱۶۰	۹۲۲۶	۸۷۴۰	۶۵۷۸
بازار آب پس از (۲)	۲۶۴۵	۱۶۷۴	۲۸۲۶	۱۶۳۶	۲۲۲۳۷	۴۹۵۸۱	۱۲۹۰۷	۹۰۱۸	۸۸۸۴	۸۸۷۰	۶۵۷۸
Q^*=۰/۷۰ سهمیه‌بندی ثابت (۱)	۱۲۵۴	۵۳۱	۳۱۳۳	۱۹۲۳	۲۳۵۷۳	۴۳۶۷۲	۱۴۷۲۶	۱۰۰۳۷	۸۰۳۳	۱۲۴۸۷	۸۲۰۵
سهمیه‌بندی تناسبی	۲۹۶۹	۱۵۱۸	۳۲۴۵	۱۴۳۱	۲۸۵۲۱	۶۴۰۰۴	۱۶۴۵۹	۱۱۴۳۰	۱۱۲۶۲	۱۱۲۴۵	۸۲۰۵
تخصیص بهینه (بازار آب با Ct=۰)	۲۸۵۵	۱۷۴۰	۳۰۷۰	۱۶۷۴	۲۲۵۹۹	۴۹۷۲۶	۱۳۱۶۸	۹۳۲۱	۹۲۷۰	۹۲۵۵	۶۸۸۰
بازار آب پس از (۱)	۴۴۷۶	۵۵۰۵	۳۰۴۱	۱۱۲۹	۲۲۵۵۲	۴۹۸۸۷	۱۳۰۲۶	۹۲۲۴	۹۴۵۳	۸۸۰۳	۶۶۱۸
بازار آب پس از (۲)	۲۷۷۹	۲۱۶۳	۲۹۶۷	۲۱۹۴	۲۲۲۸۳	۴۹۳۹۴	۱۲۸۶۰	۹۰۳۱	۸۹۸۹	۸۹۷۴	۶۶۱۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

منافع متوسط و کل حاصل از آبیاری و درصد کاهش آن نسبت به سود مرجع برای سناریوهای مختلف در جدول ۵ آمده است؛ چنان‌که ملاحظه می‌شود، تشکیل بازار آب به افزایش سود متوسط هر هکتار و سود کلی منطقه می‌انجامد. برای نمونه، با کاهش سی درصدی مقدار آب، سیاست سهمیه‌بندی ثابت و تناسبی، به‌ترتیب، موجب کاهش ۶/۶ و ۹ درصدی سود کلی منطقه می‌شود؛ اما با تشکیل بازار آب، سود حاصل از آبیاری ۲/۸ درصد کاهش می‌یابد. در حقیقت، بازار آب، از دو طریق تخصیص آب بیشتر به محصولات پربازده و فروش مازاد آب برخی محصولات، موجب افزایش سود بهره‌برداران خواهد شد.

مسئله‌ای که باید در مدل‌سازی و تحلیل بازارهای آب در نظر گرفته شود، هزینه‌های مبادله است، که شامل هزینه‌های اطلاعات، مذاکره و چانه‌زنی و تصمیم‌گیری، هزینه‌های اجرا

و دیگر هزینه‌های مرتبط با تجارت آب است. از آنجا که این هزینه‌ها قابل توجه است، در نظر گرفتن آنها ممکن است بر انتخاب ابزارهای سیاستی تأثیرگذار باشد. در مطالعهٔ حاضر، با فرض هزینه مبادله صفر، پنج، ده، بیست و سی درصد قیمت تعادلی آب، بازار آب شبیه‌سازی شده است. علاوه بر این، فرض می‌شود که بازار کاملاً رقابتی بوده و قیمت بازار برابر با قیمت تعادلی است. بر این اساس، جدول ۶ منافع حاصل از تجارت و میزان آب مبادله‌شده با هزینه‌های مبادله مختلف را نشان می‌دهد. طبق این جدول، با افزایش هزینه‌های مبادلاتی، همان‌گونه که انتظار می‌رود، منافع حاصل از تجارت آب و میزان آب مبادله‌شده کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در Q^*=۰/۸۰، حجم آب معامله‌شده در بازار، با افزایش هزینه‌های معامله از صفر به سی درصد قیمت تعادلی، پس از سیاست سهمیه‌بندی تناسبی، از ۱۳/۸ به ۸/۸ و پس از سیاست سهمیه‌بندی ثابت ،از ۳۷/۷ به ۲۷/۴ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. با افزایش محدودیت دسترسی به آب (یعنی، در Q^*=۰/۷۰)، حجم آب مبادله‌شده در بازار، پس از اجرای هر دو سیاست، افزایش یافته و اما باز هم، با افزایش هزینه‌های مبادله، این مقدار رو به کاهش گذارده است، که دلیل آن مقرون‌به‌صرفه نبودن خرید آب برای برخی محصولات است؛ در نتیجه، میزان آب کمتری مورد معامله قرار می‌گیرد و به تبع آن، منافع حاصل از تجارت آب نیز کاهش می‌یابد. برای نمونه، در صورتی که هزینه‌های مبادله سی درصد قیمت تعادلی باشد، منافع حاصل از تجارت پس از اجرای قانون سهمیه‌بندی تناسبی، برای Q^*=۰/۸۰، ۲۲ درصد و برای Q^*=۰/۷۰، ۲۳ درصد کاهش می‌یابد. با این حال، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حتی با وجود هزینه نسبتاً بالای مبادله، بازار هنوز هم کارآمدتر از هر دو قانون است و سود حاصل از تجارت رخ می‌دهد. همچنین، طبق جدول ۶، با افزایش محدودیت منابع آبی، منافع حاصل از تجارت نیز افزایش می‌یابد. این نکته در بسیاری از مطالعات دیگر نیز تأیید شده است. شایان یادآوری است که منافع حاصل از تجارت آب از کسر منافع قبل و بعد از تجارت آب حاصل شده است.

جدول ۵- منافع متوسط (هزار ریال در هکتار) **و کل** (میلیون ریال) **حاصل از آبیاری و درصد کاهش منافع نسبت به سناریوی مرجع در قوانین مختلف تخصیص**

سناریوها	تخصیص (مترمکعب بر هکتار)	منافع آبیاری		درصد کاهش منافع نسبت به سناریوی مرجع	
		متوسط	کل	متوسط	کل
بدون محدودیت آب	۸۵۳۵	۵۳۸۷۱	۱۲۴۲۵۴۶	۰/۰	۰/۰
سهمیه‌بندی ثابت (۱) Q^*=۰/۸۰	۶۸۲۸	۵۱۷۱۶	۱۱۸۰۲۸۸	۴/۰	۵/۰
سهمیه‌بندی تناسبی (۲)	۶۸۲۸	۵۱۷۱۷	۱۱۹۲۸۴۴	۴/۰	۴/۰
بازار آب	۸۰۲۳	۵۳۶۷۷	۱۲۲۷۸۵۱	۰/۴	۱/۲
بازار آب پس از (۱)		۵۲۷۷۳	۱۲۲۷۶۹۸	۲/۰	۱/۲
بازار آب پس از (۲)		۵۲۷۷۳	۱۲۲۷۷۰۱	۲/۰	۱/۲
سهمیه‌بندی ثابت (۱) Q^*=۰/۷۰	۵۹۷۵	۴۹۰۲۴	۱۱۶۰۲۹۶	۹/۰	۶/۶
سهمیه‌بندی تناسبی (۲)	۵۹۷۵	۴۹۰۲۳	۱۱۳۰۷۱۷	۹/۰	۹/۰
بازار آب	۷۷۶۷	۵۳۴۳۵	۱۲۰۸۲۷۵	۰/۸	۲/۸
بازار آب پس از (۱)		۵۱۳۹۹	۱۲۰۸۹۶۱	۴/۶	۲/۷
بازار آب پس از (۲)		۵۱۳۹۹	۱۲۰۹۱۴۳	۴/۶	۲/۷

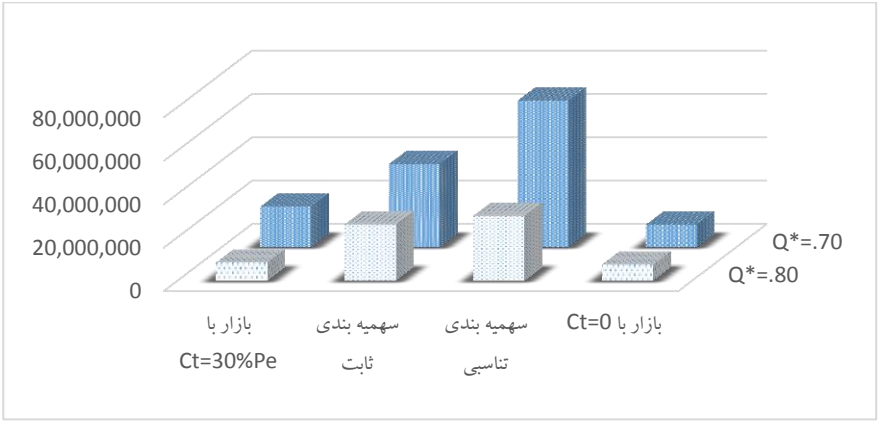
مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶- حجم آب مبادله‌شده (میلیون مترمکعب) **و منافع حاصل از تجارت آب** (میلیون ریال) **با هزینه‌های مبادله مختلف در سناریوهای مختلف**

سناریوها	هزینه‌های مبادله (pe٪)				
	۰	۵	۱۰	۲۰	۳۰
Q^*=۰/۸۰					
Ct (ریال/مترمکعب)	۰	۳۷/۸۷	۷۵/۷۴	۱۵۱/۴۸	۲۲۷/۲۲
$P_e + C_t$ (ریال/مترمکعب)	۷۵۷/۴۰	۷۹۵/۲۷	۸۳۳/۱۴	۹۰۸/۸۸	۹۸۴/۶۲
حجم آب مبادله‌شده پس از سهمیه‌بندی تناسبی	۱۳/۸	۱۳/۱	۱۲/۱	۱۰/۷	۸/۸
منافع از تجارت پس از سهمیه‌بندی تناسبی	۳۴۸۵۷	۳۳۷۷۲	۳۲۶۳۱	۳۰۰۵۲	۲۶۹۸۰
حجم آب مبادله‌شده پس از سهمیه‌بندی ثابت	۳۷/۷	۳۵/۸	۳۴/۱	۳۰/۸	۲۷/۴
منافع از تجارت پس از سهمیه‌بندی ثابت	۴۷۴۱۰	۲۱۶۰۴	۲۰۰۸۰	۱۷۲۵۷	۱۴۷۳۲
Q^*=۰/۷۰					
Ct (ریال/مترمکعب)	۰	۵۶/۸۰	۱۱۳/۶۱	۲۲۷/۲۲	۳۴۰/۸۳
$P_e + C_t$ (ریال/مترمکعب)	۱۱۳۶/۱	۱۱۹۲/۹۰	۱۲۴۹/۷۱	۱۳۶۳/۳۲	۱۴۷۶/۹۳
حجم آب مبادله‌شده پس از سهمیه‌بندی تناسبی	۲۱	۱۹/۷	۱۸/۲	۱۵/۹	۱۳/۲
منافع از تجارت پس از سهمیه‌بندی تناسبی	۷۸۴۲۷	۷۶۰۰۰	۷۳۴۲۰	۶۷۵۵۴	۶۰۷۰۴
حجم آب مبادله‌شده پس از سهمیه‌بندی ثابت	۲۸/۹	۲۶/۷	۲۴/۱	۱۹/۰	۱۳/۹
منافع از تجارت پس از سهمیه‌بندی ثابت	۴۸۶۶۵	۲۲۳۸۶	۲۰۵۱۸	۱۷۲۸۶	۱۴۷۲۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در پایان، میزان زیان درآمدی حاصل از اجرای قوانین مختلف تخصیص در شرایط کمبود بیست و سی درصدی منابع آب در نمودار ۱ نشان داده شده است. طبق این نمودار، کمترین زیان درآمدی مربوط به قانون تخصیص بهینه منابع آب یا ایجاد بازار آب بدون هزینه مبادله است. علاوه بر این، حتی با وجود هزینه مبادله آب به میزان سی درصد قیمت تعادلی، سناریوی تشکیل بازار آب هنوز زیان درآمدی بسیارکمتری نسبت به دو قانون دیگر دارد. همچنین، مقایسه دو سناریوی کم‌آبی نشان می‌دهد که با افزایش کمبود آب، زیان‌های درآمدی نیز افزایش می‌یابد.



نمودار ۱- زیان‌های درآمدی ناشی از اجرای قوانین مختلف تخصیص در شرایط محدودیت بیست و سی درصدی منابع آب

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اهمیت سیاست‌های طرف تقاضا در مدیریت منابع آب، در مطالعهٔ حاضر، سیاست محدودیت برداشت از آب‌های زیرزمینی به میزان بیست و سی درصد در دو حالت سهمیه‌بندی ثابت برای تمام محصولات و سهمیه‌بندی تناسبی برای هر محصول و همچنین، تخصیص بهینهٔ آب مورد بررسی قرار گرفت. سپس، با بهره‌گیری از تخصیص‌های مربوط بدین قوانین، بازار آب داخلی شبیه‌سازی شد. بدین منظور، از روش محاسبهٔ تابع منفعت حاصل از

آبیاری و حداقل‌سازی زیان درآمدی در کل منطقه که نیاز به داده‌های کمتری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد، استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت که چنانچه شرایط رقابت کامل بر بازار حاکم و هزینه‌های مبادله صفر باشد، قانون تخصیص بهینه و تشکیل بازار آب منجر به تخصیص نهایی مشابه حقوق آب و منافع آبیاری برای کل جامعه می‌شوند و با حداقل هزینه کلی، امکان دستیابی به محدودیت مشخص آب را فراهم می‌کنند. در این شرایط، قیمت آب در محدودیت بیست و سی درصدی آب، به‌ترتیب، ۷۵۷/۴ و ۱۱۳۶/۱ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد. هر دو سیاست، از لحاظ بهره‌وری آب و منافع کل منطقه، کارآمدتر از تعیین سهمیه یکسان و متناسب خواهد بود. اما در تخصیص بهینه، هزینه‌های مذاکره که یک عامل مهم در بحث تجارت آب است، در نظر گرفته نمی‌شود، در حالی که اگر هزینه‌های مبادله و اثرات خارجی وجود داشته باشد، باید در قیمت‌های بازاری منعکس شود؛ در غیر این صورت، قیمت‌های تعیین‌شده در بازار گویای اطلاعات درست در خصوص هزینه‌های فرصت آب نخواهد بود. از این‌رو، در بررسی کارآیی بازار آب، دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد از این هزینه‌ها ضروری است.

در پژوهش حاضر، بازار آب با فرض هزینه‌های مبادله مختلف شبیه‌سازی شد؛ و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش هزینه‌های مبادلاتی، منافع حاصل از تجارت آب و میزان آب مبادله‌شده کاهش می‌یابد، که دلیل آن مقرون‌به‌صرفه نبودن خرید آب برای برخی محصولات است و در نتیجه، منافع حاصل از تجارت آب نیز کم می‌شود؛ نتایج مطالعات لی و همکاران (Li et al., 2014) و وانگ (Wang, 2012) نیز موید همین مطلب است.

همچنین، نتایج نشان داد که با کاهش دسترسی به منابع آب، منافع حاصل از تجارت آب افزایش می‌یابد؛ این نتیجه در مطالعات دیگر از جمله مطالعهٔ زیبرمن و شوئنگلد (Zilberman and Schoengold, 2005) نیز تأیید شده است. به گفتهٔ الارکن و جوانا (Alarcon and Juana, 2016)، این مطلب می‌تواند بدین معنی باشد که به یک محصول خاص، آب بیشتری نسبت به آنچه واقعاً نیاز دارد، اختصاص داده می‌شود. در چنین مواردی،

کشاورز می‌تواند این مازاد را در صورت وجود بازار آب، بفروشد. از این‌رو، آگاهی بهره‌برداران در این زمینه می‌تواند به مدیریت بهتر منابع کمک کند.

باید در نظر داشت که در مطالعهٔ حاضر، برای تخصیص آب، معیار حداکثر کارآیی مد نظر قرار گرفته، اما ممکن است در واقعیت، قوانین بازتخصیص آب به تخصیص کارآی پارتو از آب نینجامد؛ همچنین، بازار آب می‌تواند منافع کلی منطقه را افزایش دهد، اما لزوماً منجر به تخصیص عادلانه آب و درآمد نشود. بنابراین، در نظر گرفتن معیار کارآیی برای تعیین سهمیه آب به‌تنهایی مناسب نیست و باید تخصیص عادلانه بین گروه‌های نابرابر از لحاظ اقتصادی نیز مد نظر قرار گیرد.

منابع

1. Ahmad, M. (2000). Water pricing and markets in the Near East: policy issues and options. *Water Policy*, 2: 229-242.
2. Ahmadi, A., Zolfagharipour, M.A., Nikouei, A.R. and Dorali, M.Y. (2016). Economic appraisal of the implementation of the technical contex of the agricultural water market, case study: part of Mahyar irrigation network. *Iran-Water Resources Research*, 12: 35-49. (Persion)
3. Alarcón, J., Garrido, A. and Juana, L. (2014a). Optimal water allocation in shortage situations as applied to an irrigation community. *Irrigation and Drainage Engineering*, 140: 04013015.
4. Alarcón, J., Garrido, A. and Juana, L. (2014b). Managing irrigation water shortage: a comparison between five allocation rules based on crop benefit functions. *Water Resour Manag*, 28: 2315-2329.
5. Alarcon, J. and Juana, L. (2016). The water markets as effective tools of managing watershortages in an irrigation district. *Water Resour Manage*, 30: 2611-2625.
6. Bekchanov, M., Bhaduri, A. and Ringler, C. (2015). Potential gains from water rights trading in the Aral Sea basin. *Agric. Water Manage*, 152: 41-56.
7. Bonnie, G.C., McGinnis, M.A. and Rait, K.A. (1991). Mitigating environmental externalities through voluntary and involuntary water reallocation: Nevada's Truckeecarson river basin. *Natural Resources Journal*, 31: 757-783.

8. Cai, X., Ringler, C. and Rosegrant, M.R. (2006). Modeling water resources management at the basin level: methodology and application to the Maipo river basin. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
9. Cosgrove, W.J. and Loucks, D.P. (2015). Water management: current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51: 4823-4839.
10. Draper, S.E. (2008). Limits to water privatization. *Water Resources Planning and Management*, 134: 493-503.
11. Franco, A. and Zhu, X. (2015). Water markets: insights from an applied general equilibrium model for Extremadura, Spain. *Water Resour Manag*, 29: 4335-4356.
12. Garrick, D., Whitten, S.M. and Coggan, A. (2013). Understanding the evolution and performance of water markets and allocation policy: a transaction costs analysis framework. *Ecol Econ*, 88: 195-205.
13. Ghadami, S.M., Ghahraman, B., Sharifi, M.B. and Rajabi Mashhadi, H. (2009). Optimization of multireservoir water resources systems operation using genatic algorithm. *Iran-Water Resources Research*, 5(2): 1-15. (Persion)
14. Grafton, R.Q., Horne, J. and Wheeler, S.A. (2016). On the market isation of water: evidence from the Murray-Darling basin, Australia. *Water Resour Manag*, 30: 913-926.
15. Griffin, R. C., Peck, D. E. and Maestu, J. (2013). Myths, principles and issues in water trading. In: J. Maestu (ed.) Water trading and global water scarcity: international experiences. Routledge.
16. Hadjigeorgalis, E. (2009). A place for water markets: performance and challenges. *Review of Agricultural Economics*, 31: 50-67.
17. Howe, C.W., Dennis, R.S. and Shaw Jr, W.D. (1986). Innovative approaches to water allocation: the potential for water markets. *Water Resources Research*, 22: 439-445.
18. Huang, G.H. and Loucks, D.P. (2000). An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. *Civil Engineer Environmental Systems*, 17: 95-118.
19. Jofre, M. and Alizadeh, S. (2009). Investigating the role of the market in the optimal allocation of water resources. *Quarterly Journal of Financial Economics*, 3: 74-89. (Persion)
20. IWRMC (2003). The role of market institution and public sector in sustainable management and development of water sector. Report No. D-82-10-114. Tehran: Iran Water Resources Management Company (IWRMC). Available at http://www.wrm.ir. (Persion)

21. IWRMC (2013). Studies on updating the water balance of Hamoon-Jazmourian. Kerman: Iran Water Resources Management Company (IWRMC), Regional Water Company of Kerman. (Persion)
22. Kamranian Marenani, A.R. (2014). Creating a water market to optimize water resources and increase farmer's welfare, case study. Master Thesis of Civil Engineering. Faculty of Engineering, University of Yazd. (Persion)
23. Li, Y.P., Liu, J. and Huang, G.H. (2014). A hybrid fuzzy-stochastic programming method for water trading within an agricultural system. *Agricultural Systems*, 123: 71-83.
24. Lii, M. and Guo, P. (2014). A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. *Applied Mathematical Modeling*, 19: 4897-4911.
25. Lu, H.W., Huang, G.H., Lin, Y.P. and He, L. (2009). A two-step infinite a-cuts fuzzy linear programming method in agricultural irrigation systems. *Water Resources Management*, 23: 2249-2269.
26. Mahmoudi, A. and Parhizkari, A. (2016). Economic modelling of water resources management in Tehran province with emphasis on water market role. *Quarterly Journal of Economic Modelling*, 10: 121-139. (Persion)
27. Matthews, O.P. (2004). Fundamental questions about water rights and market reallocation. *Water Resources Research*, 40: 1-8.
28. Momeni, M. and Rezaei, N. (2009). Operation model of the Aras dam reservoir using dynamic programming. *Industrial Management*, 1: 139-152. (Persion)
29. Nourani, V., Abolvaset, N. and Salehi, K. (2012). A hybrid goal programming method and adaptive neural-fuzzy inference system for optimal operation of a multi-objective two-reservoir system. *Iran-Water Resources Research*, 2: 1-11. (Persion)
30. Olmstead, S.M. (2010). The economics of managing scarce water resources. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4: 179-198.
31. Reca, J., Roldan, J., Alcaide, M., Lopez, R. and Camacho, E. (2001). Optimization model for water allocation in deficit irrigation systems: description of the model. *Agric. Water Manage*, 48: 103-116.
32. Rosegrant, M.W. and Binswanger, H.P. (1994). Markets in tradable water rights: potential for efficiency gains in developing country water resource allocation. *World Development*, 22: 1613-1625.
33. Sabouhi, M. and Mojarad, A. (2010). Application of game theory in the management of groundwater resources: the upper watershed. *Agricultural Economics and Development*, 1: 1-12. (Persion)

34. Saffari, N., Zarghami, M., Behboudi, D. and Alami, M.T. (2016). Modeling welfare effects of the market-based regional allocation of water compared to the administrative allocation by developing cooperative game: a case study. *Iran-Water Resources Research*, 12(3): 22-34. (Persion)
35. South Kerman Agricultural Jahad Organization. (2019) Available at www. sjkj.ir. (Persion)
36. Wang, Y. (2012). A simulation of water markets with transaction costs. *Agricultural Water Management*, 103: 54-61.
37. Zilberman, D. and Schoengold, K. (2005). The use of pricing and markets for water allocation. *Canadian Water Resources Journal*, 30: 47-54.