

تحلیل اقتصادی بازار ثانویه آب و تعیین قیمت تعادلی (مطالعه موردی: استان قزوین)

چکیده

افزایش تقاضای آب و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین منجر به افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی شده است. از سال ۱۴۰۲، بازار سهم آب شامل بازارهای بهره‌وری (فروش آب از کشاورزی به صنعت) و ثانویه (فروش آب از کشاورزی به کشاورزی) به منظور افزایش بهره‌وری و حفاظت از منابع آب زیرزمینی در این استان راه‌اندازی شده است. این پژوهش به منظور شناسایی عوامل موثر بر میزان عرضه، تقاضا و تخمین تابع عرضه، تقاضا و برآورد قیمت تعادلی آب انجام شده است. با استفاده از داده‌های مربوط به حجم آب معامله شده، قیمت فروش، هزینه‌های تولید، مشخصات چاه، تکنولوژی‌های آبیاری، سهم آب سالیانه، سطح زیر کشت، ضریب ذخیره، درآمد کشاورزان و دما از تیر ۱۴۰۲ تا آذر ۱۴۰۳، توابع عرضه و تقاضا با روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی برآورد شدند. ضریب قیمت در تابع تقاضا معادل -0.663 و در تابع عرضه معادل 2.091 است. از برابر قرار دادن تابع عرضه و تقاضا، قیمت تعادلی آب در بازار ثانویه ۴۶۸۲ تومان برآورد شد و نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که قیمت تعادلی نسبت به دما حساسیت بالایی دارد و همچنین قیمت تعادلی برآورد شده در بازار آب بیشتر از خسارت اضافه برداشت آب در این دشت است و این موضوع می‌تواند موجب کاهش تمایل کشاورزان به خرید آب از بازار ثانویه و افزایش برداشت غیرمجاز منابع آب زیرزمینی شود. لذا توصیه می‌شود قوانین خسارت اضافه برداشت آب از چاه‌های مجاز بازنگری گردد.

کلمات کلیدی: بازار سهم آب، قیمت‌گذاری آب، مدیریت تقاضا، منابع آب زیرزمینی.

کشاورزی پایدار بر مبنای ابعاد اقتصادی، اجتماعی و بوم شناختی بنا شده و نیازمند یک محیط پایدار است. عوامل اصلی و اساسی کشاورزی عبارتند از خاک، آب و هوا و مواد مغذی که در آن میان حفاظت از منابع آب و خاک برای حفظ کارایی کشاورزی از مهم-ترین عوامل به شمار می‌روند (Rahmati et al., 2023).

با توجه به خشکسالی‌های پی در پی، استفاده پایدار از آب در جهان و به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند کشور ایران اهمیت زیادی دارد. رشد جمعیت و گسترش سطح زیر کشت در سه دهه اخیر، بهره‌برداری از منابع آب در سراسر جهان را افزایش داده و موجب فزونی گرفتن تقاضا بر عرضه و در نهایت، کمپایی منابع آب شده است (Biniaz et al., 2020). اختلاف بین توان عرضه و شدت تقاضای آب بحران آفرین بوده و یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر به شمار می‌رود که می‌تواند منشاء بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان باشد.

در حال حاضر در حدود ۵۵ درصد از تقاضای کل آب در ایران از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. بخش‌های کشاورزی، خانگی و صنعت به ترتیب در حدود ۹۰، هشت و دو درصد مصرف را به خود اختصاص داده‌اند (Mazandarani zadeh and Hoseini, 2023). برداشت بی‌رویه کشاورزان از منابع آب زیرزمینی، آسیب‌های شدیدی مانند آلودگی و کاهش کیفیت آبخوان و پیشروی آب شور را به همراه دارد که تخریب کیفی آبخوان و افزایش شوری آن را می‌توان یکی از جدی‌ترین آسیب‌های برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی دانست (Hosseini and Mazandarani Zadeh, 2022).

وجود بازدارنده‌ها و محدودیت‌های جدی در افزایش عرضه آب، کشورهای جهان را به این نتیجه رسانده است که راهکار حل این مسئله دشوار را در مدیریت تقاضا آب جستجو کنند. از این رو اقتصاددانان، سیاست‌های مدیریت تقاضای آب را روشی گریزناپذیر برای چیره آمدن بر حل مسئله بحران آب می‌دانند که از جمله روش مدیریت تقاضای آب می‌توان به باز تخصیص منابع آب و تشکیل بازار آب اشاره کرد (Shirzadi laskookalayeh et al., 2022). بازار آب یکی از ابزارهای موثر و کارآمد مدیریت آب در شرایط کم آبی است و از طریق قیمت‌گذاری واقعی آب امکان دستیابی به کارایی بیشتر در تخصیص آب را فراهم می‌کند. این تخصیص به نفع بهره‌بردارانی خواهد بود که ارزش‌های بالقوه بالاتری از آب ایجاد می‌کنند (Kiani, 2016). در زمینه **تشکیل بازار آب و قیمت‌گذاری آب** مطالعات متعددی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است.

(Sabuhi and Parhiakari 2014) در پژوهشی به بررسی اثرات اقتصادی و رفاهی تشکیل بازار آب در استان قزوین با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت^۱ (PMP) و توابع تولید منطقه‌ای محصولات کشاورزی^۲ (SWAP) پرداختند. نتایج نشان داد با تشکیل بازارهای آب در استان قزوین مجموع اراضی آبی ۱/۲ درصد، مجموع سود ناخالص کشاورزان ۱/۸۶ درصد و مجموع نیروی کار به کار گرفته شده ۱/۸۱ درصد افزایش می‌یابد.

Ahmadi et al (2019) در پژوهشی ضمن شناسایی قوانین مشوق و بازدارنده بازار آب به بررسی چالش‌ها و ملاحظات ضروری برای موفقیت بازار آب در دشت برخوار اصفهان پرداختند. نتایج بازدهی‌های میدانی صورت گرفته در منطقه نشان داد عموماً مبادلات بین بخشی آب مورد توجه است و برای تشکیل بازار آب کارآمد لازم است قوانین تشویقی تقویت و قوانین بازدارنده اصلاح گردد و مواردی همچون صدور سند جداگانه و مستقل از زمین برای برداشت‌ها، اصلاح و تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری، تجهیز چاه‌های منطقه به کتورهای هوشمند و ایجاد شکل‌های آبران زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد.

Abdolhassani et al. (2019) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت^۳ (PMP) به بررسی نقش تشکیل بازار آب در میزان استفاده از منابع آب و الگوی کشت در دشت مشهد پرداختند. نتایج نشان داد با تشکیل بازار آب، الگوی کشت به سمت محصولات با سوددهی بالا سوق پیدا می‌کند به نحوی که محصولات گندم و ذرت علوفه‌ای در شهرستان مشهد، ذرت علوفه‌ای در شهرستان چناران و جو در شهرستان طرقبه- شاندیز از الگوی کشت حذف و سطح زیر کشت محصولات گوجه و خیار در شهرستان مشهد، گندم، خیار و گوجه در شهرستان چناران و خیار و گوجه در شهرستان طرقبه- شاندیز افزایش می‌یابد. پس از تشکیل بازار آب و تغییر

الگوی کشت در شهرستان‌های مشهد، چناران و طرقبه- شان‌دیز میزان مصرف آب به ترتیب ۳۷، ۲۴ و ۲۹ درصد ~~در مقایسه با الگوی کشت فعلی بدون تشکیل بازار آب کاهش می‌یابد.~~

Amouzegari et al. (2020) پژوهشی را با هدف شناسایی بازارهای محلی آب زیرزمینی، تعیین قیمت بلاری آب‌های زیرزمینی و بررسی دیدگاه بهره‌برداران محلی نسبت به تقویت بازارها در حوضه آبریز الشتر انجام دادند. بر اساس نتایج حاصل از پیمایش میدانی، میانگین قیمت هر مترمکعب آب زیرزمینی ۱۷۴۹ ریال و ارزش اقتصادی کل آب زیرزمینی منطقه حدود ۵۵۵ میلیارد ریال برآورد کردند. همچنین نتایج نشان داد در حوضه آبریز الشتر در ۱۰۳ روستا بازار خرید و فروش آب زیرزمینی فعال است و ۷۶ درصد بهره‌برداران با ایجاد تشکلهای مردمی و شورای تنظیم آب و ۴۳ درصد بهره‌برداران با به‌کارگیری ابزارهایی نظیر تابلوی اعلانات برای ارتقاء کارایی بازار موافق هستند.

Zolfagharpour et al. (2020) با هدف ارتقای بازدهی اقتصادی مصرف آب زیرزمینی به طراحی چارچوبی برای بازار آب بین‌بخشی در دشت اصفهان- برخوار پرداختند. در این چارچوب، ابتدا مجوز برداشت آب کشاورزی با هدف حفاظت از منابع آب زیرزمینی با استفاده از دو رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا کاهش دادند نتایج نشان داد رویکرد پایین به بالا به دلیل لحاظ نمودن مطلوبیت‌های مزارع از طریق ایجاد فرآیند چانه زنی بین آنها، سیاست‌های قابل پذیرش‌تری را پیشنهاد می‌دهد. سپس با استفاده از مدلی ریاضی شرایطی فراهم کردند که در آن مزارع دارای آب مزاد بخشی از مجوز مصرف خود را به بخش صنعت منتقل کنند و در همین حال سود کل سیستم اقتصادی (کشاورزی- صنعت) افزایش یابد. نتایج برای سال زراعی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ نشان داد که مزارع با کاشت محصولات سودآور و فروش آب مزاد خود باعث افزایش تولید در بخش صنعت می‌شوند با این حال مزارع همچنان به دلیل کاهش مجوزها نسبت به شرایط اولیه خود دچار خسارت خواهند شد. برای جریان زیان احتمالی کشاورزان از این انتقال، از روش بازی شاپلی جهت بازتخصیص منصفانه سود بین طرفین استفاده کردند و نتایج نشان داد که این چارچوب می‌تواند ضمن بهبود کارایی اقتصادی، عدالت در توزیع منافع را نیز تقویت کند به‌طوری که سود کشاورزان و صنعت به ترتیب تا ۵۵ و ۱۹ درصد افزایش یابد، به طور کلی نتایج نشان داد چارچوب پیشنهادی این قابلیت را دارد که علاوه بر تسهیل در اجرای سیاست کاهش مجوزهای آب زیرزمینی، بازدهی اقتصادی استفاده از این مجوزها را نیز بهبود دهد.

Nourani et al. (2022) به بررسی اثرات تشکیل بازار آب بر الگوی کشت و بازده خالص کشاورزان با استفاده از روش PMP و با لحاظ قیمت تعادلی در شبکه آبیاری دشت رامجرد پرداختند. نتایج نشان داد با تشکیل بازار آب، سطح زیر کشت محصولات پربازده شامل گندم، برنج، گوجه‌فرنگی و چغندر قند به ترتیب ۲۳، ۴۱، ۲۳ و ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و جو از الگوی کشت حذف می‌شود و بازده برنامه‌ای کل اراضی دارای حقابه شبکه حدود نه درصد بهبود خواهد یافت.

Shahani rouchi et al. (2024) در پژوهشی به برآورد میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط تشکیل بازار آب و بررسی آثار رفاهی آن در دشت هشتگرد استان البرز با شبیه‌سازی بازار با استفاده از الگوی PMP با رویکرد SWAP و استخراج تابع تقاضا پرداختند. قیمت تعادلی آب در دشت هشتگرد ۳۳۹۴ ریال تخمین زده شد و نتایج نشان داد اجرای بازار آب با قیمت تعادلی موجب ۲۸ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود و با اجرای این سیاست، رفاه خریداران آب کاهش و رفاه فروشندگان آب افزایش خواهد یافت. بنابراین، چنانچه هم‌زمان با راه‌اندازی بازار آب، سیاست‌هایی مانند افزایش راندمان سامانه‌های آبیاری نیز اجرا شود، احتمال کاهش کمتر رفاه دور از انتظار نیست.

Parhizkari et al. (2024) با استفاده از رویکرد مدل SWAP به مدل‌سازی رفتار اقتصادی کشاورزان پس از ایجاد ساختار بازار آب محلی در استان تهران پرداختند. نتایج نشان داد با استقرار بازار آب محلی در استان تهران، افزون بر تعادل بخش پایدار آب، امکان توسعه سطح زیر کشت محصولات آب بر و پرسود در مناطق کم‌آب‌تر شامل ری و ورامین فراهم می‌شود و با متعادل شدن بازده باخالص کشاورزان، پیامدهای منفی خشکسالی هیدرولوژیکی تا حدود ۳۵/۳ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.

Fadaiet al. (2025) با استفاده از PMP و رهیافت پیشینه آتروپی به بررسی نقش بازار آب در بهینه‌سازی تخصیص منابع آب و افزایش ارزش اقتصادی آب کشاورزی در دشت اشتهارد پرداختند. نتایج نشان داد که قیمت سایه‌ای آب حدود ۱۸۷۶۰ ریال به ازای هر مترمکعب است و اختلاف آن با قیمت فروش آب باعث کاهش بهره‌وری می‌شود. همچنین، مقادیر کشت خود قیمتی تقاضا برای نهاده آب محصولات گندم، جو و یونجه نشان داد تقاضای آب در منطقه کشت‌پذیری بالایی دارد و اجرای بازار آب موجب تغییر الگوی کشت می‌شود؛ به گونه‌ای که سطح زیرکشت یونجه بیش از ۷۰ درصد کاهش و سطح زیرکشت گندم و جو به ترتیب ۸ و ۲۹ درصد افزایش می‌یابد. یافته‌ها تأکید داشتند که ایجاد زیرساخت‌های نهادی و قانونی می‌تواند کشاورزان را به سمت محصولات کم‌آبر و با ارزش اقتصادی بالاتر سوق دهد و به بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آبی منجر شود.

Grafton et al. (2018) در پژوهشی به تحلیل سازوکار تعیین قیمت تعادلی آب در بازار آب سطحی حوضه موری-دارلینگ استرالیا پرداختند. در این مطالعه، با بهره‌گیری از داده‌های واقعی معاملات آب عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضا شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفتند. اگرچه توابع عرضه و تقاضا به صورت صریح و ریاضی ارائه نشده‌اند اما نتایج حاصل از تحلیل‌های اقتصادی نشان داد که کاهش منابع آبی منجر به کاهش عرضه و افزایش قیمت تعادلی می‌شود. همچنین، مصرف‌کنندگان نسبت به تغییرات قیمت واکنش‌پذیر هستند.

Balali and Kasbian Lal (2022) با بهره‌گیری از الگوی برنامه‌ریزی پویا با استفاده از نرم افزار GAMS در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ به ارزش‌گذاری اقتصادی منابع آب زیرزمینی در دشت همدان بهار پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق، ارزش اقتصادی آب زیرزمینی به ازای هر متر مکعب آب در همدان ۳۵۴۳ ریال، لالچین ۴۵۳۸ ریال، بهار ۴۰۱۵ و صالح آباد ۳۶۹۰ ریال محاسبه گردید. همچنین بررسی و مقایسه ارزش اقتصادی برآورد شده با قیمت آب در نواحی مورد مطالعه نشان داد که ارزش اقتصادی محاسبه شده هر متر مکعب آب بیشتر از قیمت فعلی آب در منطقه است، به طوری که افزایش هزینه استفاده این نهاده از طریق ابرارهای مختلف سیاستی نظیر وضع قیمت آب می‌تواند نقش مؤثری در کنترل بهره‌برداری و تخلیه آبخوان داشته باشد.

Mazandarani Zadeh and Hosseini (2024) در پژوهشی به بررسی اثر افزایش قیمت آب بر مدیریت منابع آب در شبکه آبیاری دشت قزوین پرداختند. به این منظور در گام اول با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی، قیمت تمام شده آب را محاسبه کردند و سپس به بررسی اثر افزایش قیمت آب بر رفاه کشاورزان تحت دو سناریو عدم تغییر الگوی کشت و توزیع آب فعلی و بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب پرداختند. نتایج نشان داد در صورت عرضه آب به قیمت ۸۵۹۵ ریال و عدم تغییر الگوی کشت و توزیع آب، رفاه کشاورزان کاهش می‌یابد و افزایش قیمت آب بدون بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب نمی‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت منابع آب باشد. Sapino et al. (2020) در تحقیقی مجموعه‌ای از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی را برای ارزیابی اثرات اصلاح قیمت‌گذاری آب بر تخصیص زمین، مدیریت منابع آب، سودآوری و درآمد در منطقه پیمونت ایتالیا تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مدیریت شالیزارها مهم‌ترین چالش اصلاح قیمت‌گذاری آب است و کشت برنج در محدوده قیمتی ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۷۴ یورو به شدت کاهش می‌یابد و پیش از اینکه قیمت آب به حدی افزایش یابد که کشاورزان دیگر برنج نکارند افزایش قیمت آب باعث کمتر شدن مصرف آب، کمتر شدن سود کشاورزان و افزایش درآمد دولت می‌شود.

Qu et al. (2022) در پژوهشی به بررسی افزایش قیمت آب کشاورزی و سیاست حمایتی یارانه با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه* (CGE) در گانسو چین پرداختند. نشان داد که اصلاح قیمت‌گذاری آب موجب بهبود کارایی مصرف آب می‌شود.

Arellano-Gonzalez et al. (2021) به ارزیابی نقش بازار آب در کاهش آثار اقتصادی کم‌آبی در کالیفرنیا پرداختند. آنها با بهره‌گیری از داده‌هایی نظیر تقاضای آب و یلوت حقوق بهره‌برداری، گزارش‌های محلی، الگوی کشت و نیاز آبی محصولات، هزینه‌های ناشی از کمبود آب را تحت دو سناریو

الف) در چارچوب حقوقی موجود و ب) امکان تجارت آب بین بهره‌برداران بررسی کردند. نتایج نشان داد که تخصیص کارا منابع از طریق بازار می‌تواند هزینه‌های کم‌آبی را تا ۳۶۲ میلیون دلار در سال معادل ۴٪ درصد از درآمد خالص کشاورزی ایالت کاهش دهد. Razzaq et al. (2022) در پژوهشی به بررسی تاثیر بازار آب زیرزمینی بر سطح زیر کشت، نوع کشت، دسترسی به آب و درآمد مشارکت کنندگان در بازار آب در سه استان بزرگ پاکستان پرداختند. نتایج نشان داد بازار آب زیرزمینی باعث افزایش سطح زیر کشت، رشد درآمد کشاورزان و بهبود عدالت در دسترسی به منابع آب می‌شود و همچنین شاخص‌هایی مانند ضریب جینی و منحنی لورنز نشان دادند که مشارکت در بازار آب به کاهش نابرابری درآمدی میان کشاورزان، صرف‌نظر از اندازه زمین، کمک می‌کند. Cialenco and Ludkovski (2025) در پژوهشی به مدل‌سازی بازار آب زیرزمینی در کالیفرنیا پرداختند. در این مطالعه میزان سهم آب هر بهره‌بردار مشخص و امکان مبادله این سهم آب در یک بازار محلی فراهم شده است. چارچوب نظری پژوهش مبتنی بر تعادل نسبی بوده و تصمیم‌گیری بهره‌برداران بر مبنای بهینه‌سازی منافع اقتصادی در شرایط رقابتی صورت گرفته است. نتایج مدل نشان می‌دهد که در تعادل، قیمتی استخراج می‌شود که در آن هیچ‌یک از بهره‌برداران انگیزه‌ای برای تغییر تصمیم خود ندارند.

بخش بزرگی از ایجاد اشتغال در دشت قزوین بر عهده بخش کشاورزی است و عده زیادی در این بخش مشغول به کار هستند. دشت قزوین از جمله مناطقی از کشور است که با کمبود شدید آب مواجه است و وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در استان باعث افت مستمر سطح آب‌های زیرزمینی شده است که این موضوع آثار نامطلوبی از جمله کاهش شدید آبدهی چاه‌ها، خشک شدن قنات‌ها، شوری و کاهش کیفیت آب زیرزمینی و فرونشست زمین را در پی داشته است (Mazandarani zadeh and Hosseini, 2025). از سال ۱۴۰۲ به منظور افزایش بهره‌وری و حفظ منابع آب زیرزمینی، بازار سهم آب به طور رسمی در استان قزوین راه اندازی شده است. بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که تمرکز اصلی پژوهش‌ها بررسی موضوعاتی نظیر چالش‌ها و ملاحظات حقوقی بازار آب،

دروانی اثرات اقتصادی و رفاهی بازار آب، نقش بازار آب در تخصیص بهینه آب، اثر شکل‌گیری بازار آب بر میزان استفاده از منابع آب و الگوی کشت، طراحی چارچوب بازار آب و تعیین قیمت بازاری آب بوده است. با این حال در مطالعات داخلی مرتبط با تعیین قیمت بازاری آب، برآورد کمی تابع عرضه و تقاضا انجام نشده و قیمت‌های تعادلی عمدتاً بر اساس فرض‌هایی مانند برابری میان عرضه با حجم آب قابل دسترسی در بازارهای محلی برآورد شده‌اند. بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که در آن‌ها به درونی‌سازی آب در صورت شکل‌گیری و یا درونی‌سازی بازارهای آب غیررسمی پرداخته شده است و بازار آب رسمی مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین در قیمت‌گذاری آب به برآورد قیمت تعادلی آب در بازار غیررسمی آب سطحی و با فرض یکسان بودن میزان عرضه با حجم آب قابل دسترسی پرداخته شده است و در سایر مطالعات به برآورد قیمت تعادلی پرداخته نشده است. از این رو در این پژوهش

حاضر با هدف شناسایی عوامل موثر بر میزان عرضه، تقاضا و تخمین تابع عرضه، تقاضا و برآورد قیمت تعادلی آب در بازار رسمی سهم آب راه‌اندازی شده در استان قزوین **پرداخته انجام** شده است تا بتوان رفتارهای عرضه کننده و متقاضی را تحت تاثیر تغییرات اقتصادی و محیطی پیش‌بینی کرد و به مدیران در اخذ تصمیمات مناسب برای مدیریت منابع آب و مدیریت بازار سهم آب راه اندازی شده کمک کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخوان دشت قزوین در شمال غربی ایران و در استان قزوین واقع شده است و نقش حیاتی در تامین آب شرب، صنعت و کشاورزی ایفا می‌کند. در شکل (۱) موقعیت آبخوان دشت قزوین نشان داده شده است. مساحت آبخوان دشت قزوین بالغ بر ۴۵۰۰ کیلومتر مربع است. تغذیه این آبخوان عمدتاً از طریق بارش‌های جوی، جریان‌های سطحی و نفوذ آب از مناطق کوهستانی شمالی و جنوبی صورت می‌گیرد. مجموع تغذیه آبخوان دشت قزوین ۱۲۵۹/۴۶ میلیون متر مکعب و مجموع تخلیه آبخوان دشت قزوین ۱۴۵۸/۶۶ میلیون متر مکعب است و سهم تخلیه بخش کشاورزی حدود ۱۳۵۲/۹۲ میلیون متر مکعب است. در وضعیت موجود،

برداشت‌های بی‌رویه باعث افت سالیانه ۱/۵ متری سطح سفره‌های زیرزمینی و فرونشست در این منطقه تا حدود ۲۵ سانتی‌متر در سال شده است (Mirhashem et al., 2018). در جدول (۱)، تعداد چاه‌های مجاز عمیق و نیمه عمیق و میزان تخلیه آن بر اساس پروانه بهره‌برداری طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۱ و در شکل (۲) تغییرات سالانه هیدروگراف واحد سطح ایستابی آبخوان قزوین از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۱ نشان داده شده است (Moghaddam and Kholghi, 2025).

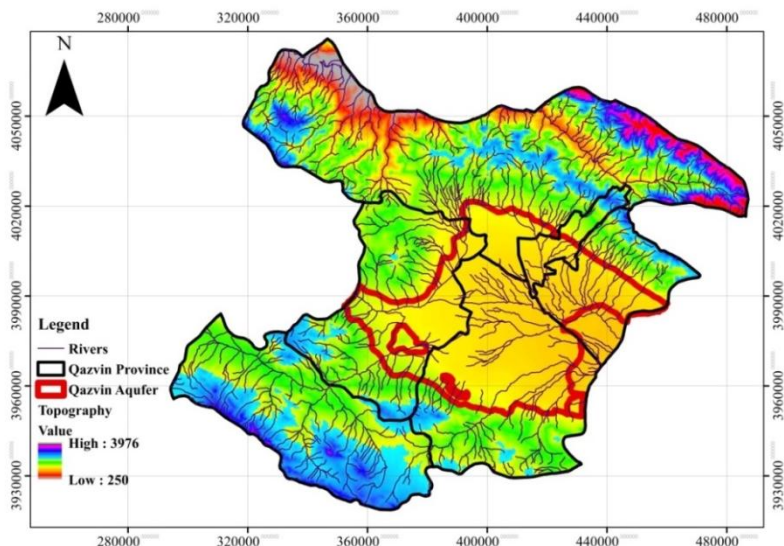


Figure 1. Area of study

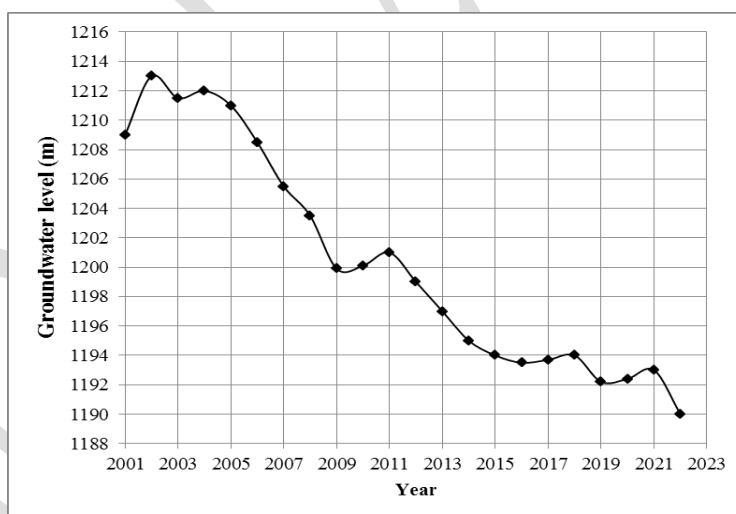


Figure 2. Changes in annual unit hydrograph of groundwater in Qazvin Aquifer

Table 1. Number and quantity of discharge of deep and semi-deep wells in the Qazvin Aquifer (Source: Statistical Center of Iran, 2001-2022)

Year	Semi-deep well		Deep well		Total discharge (MCM)
	Number	Discharge (MCM)	Number	Discharge (MCM)	
2001-2002	6956	89	3551	1570	1689
2002-2003	6956	89	3551	1570	1659
2003-2004	8080	66	4229	1697	1763
2004-2005	5309	43	3959	1617	1660
2005-2006	5259	22	3914	1608	1630
2006-2007	5316	24	4066	1613	1637
2007-2008	5316	24	4066	1613	1637
2008-2009	5316	24	4077	1614	1638
2009-2010	5412	26	3871	1605	1631
2010-2011	3981	57	4067	1478	1535
2011-2012	5972	71	4292	1528	1599
2012-2013	5972	77	4292	1009	1086

Year	Semi-deep well		Deep well		Total discharge (MCM)
	Number	Discharge (MCM)	Number	Discharge (MCM)	
2013-2014	5972	113	4291	898	1011
2014-2015	5948	102	4236	796	898
2015-2016	4240	148	4251	1664	1812
2016-2017	4240	148	4251	1664	1812
2017-2018	4947	54	5629	1361	1415
2018-2019	5696	58	5035	1294	1352
2019-2020	5696	58	5035	1294	1352
2020-2021	5721	59	5035	1294	1353
2021-2022	5669	58	4983	1244	1302

سازوکار ورود به بازار سهم آب

بازار سهم آب به سیستمی اطلاق می‌شود که در آن حقوق استفاده از منابع آبی به عنوان یک کالا خرید و فروش می‌شود (Grafton and Horne, 2014). در این بازار، دارندگان مجوز برداشت آب زیرزمینی، مزاد سهم آب سالیانه‌ای که به آنان تعلق می‌گیرد را می‌توانند به دیگران منتقل کنند. هدف اصلی این بازار بازتخصیص بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان، افزایش بهره‌وری و کمک به احیاء و تعادل بخشی آب زیرزمینی است.

بازار سهم آب بر اساس ابلاغیه شرکت مدیریت منابع آب ایران به صورت پایلوت در استان قزوین در حال اجرا است. بازار سهم آب راه‌اندازی شده در استان قزوین شامل دو بازار بهره‌وری و ثانویه است. بازار بهره‌وری یا بازار واگذاری آب بخش کشاورزی به بخش صنعت، بازاری است که در آن کشاورزان می‌توانند با احراز شرایط، حداکثر ۱۰ درصد سهم آب سالیانه خود را به بخش صنعت واگذار نمایند و بازار ثانویه بازاری است که واگذاران و متقاضیان آن کشاورزان هستند و حداکثر ۴۰ درصد سهم آب سالیانه قابل واگذاری است. به منظور کمک به احیاء و تعادل بخشی، آبخوان دشت قزوین بر اساس مقدار هدایت الکتریکی آب (شوری آب) مطابق جدول (۲) به ۱۱ کلاس طبقه‌بندی شده است و مطابق جدول (۳) ماتریسی تدوین شده است که در هر معامله بسته به میزان شوری آب، مجوز برداشت حداقل ۱۰ درصد و حداکثر ۶۰ درصد از حجم خریداری شده که به آن ضریب ذخیره گفته می‌شود به خریدار داده نمی‌شود و به نفع آبخوان ضبط و ذخیره خواهد شد (Qazvin Regional Water Company, 2023).

Table 2. Classification of Qazvin aquifer based on electrical conductivity

Class number	Electrical conductivity ($\mu\text{mho/cm}$)
1	$EC < 250$
2	$250 \leq EC < 750$
3	$750 \leq EC < 1500$
4	$1500 \leq EC < 2250$
5	$2250 \leq EC < 3000$
6	$3000 \leq EC < 4000$
7	$4000 \leq EC < 5000$
8	$5000 \leq EC < 7000$
9	$7000 \leq EC < 10000$
10	$10000 \leq EC < 13000$
11	$EC \geq 13000$

Table 3. Matrix of water withdrawal coefficients per transaction

Buyer→ Seller↓	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11
Class 1	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 2	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 3	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 4	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 5	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 6	0.70	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 7	0.65	0.70	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 8	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90
Class 9	0.53	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90	0.90
Class 10	0.47	0.53	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90	0.90

Buyer→ Seller↓	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11
Class 11	0.40	0.47	0.53	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90

بر اساس شیوه نامه‌های بازار سهم آب در دشت قزوین، فرآیند ورود واگذار کننده و متقاضی به بازار سهم آب شامل ۵ مرحله به شرح زیر است:

گام اول: مراجعه واگذار کننده و متقاضی به کارگزار و دریافت اطلاعات از بانک سهم آب

پس از مراجعه بهره‌بردار به کارگزاری برای ارائه درخواست واگذاری یا تقاضا، کارگزار اطلاعات مربوط به میزان شارژ سالیانه، میزان آب مصرف شده و آب باقی‌مانده را در حساب بانک سهم آب ایشان بررسی می‌کند. این درخواست صرفاً به معنای اظهار تمایل اولیه متقاضیان برای ورود به بازار سهم آب است.

گام دوم: دریافت مدارک تقاضا یا واگذاری شامل نامه تعهد متقاضیان (بهره‌برداران) و معرفی نامه نماینده

با توجه به اینکه هر چاه بهره‌برداران متعددی دارد که هر یک سهم مشخصی از سهم آب سالیانه چاه دارند (ساعت در مدار آبیاری)، نماینده بهره‌برداران چاه موظف است ابتدا نامه تعهد آب‌بران را به کارگزار ارائه دهد که شامل موافقت یا مخالفت همه بهره‌برداران چاه به همراه امضای ایشان است. همچنین نماینده باید تأییدیه نمایندگی خود از طرف بهره‌برداران را با یک معرفی نامه محرز کند. تأییدیه نمایندگی باید از سوی یک ارگان عمومی مانند شورای شهر یا روستا و تشکل آب‌بران تأیید شده باشد.

گام سوم: الزامات کنتور آب

استعلام وضعیت کنتور و بررسی الزامات آن برای ورود به بازار در این مرحله انجام می‌گیرد. اما برای ورود به بازار علاوه بر کالیبره بودن و صحت عملکرد کنتور، داشتن کنتور با قابلیت قطع ضروری است. در صورتی که کنتور فاقد قطع‌کن باشد نماینده بهره‌برداران ابتدا باید ملزومات مورد نیاز را نصب کند تا ادامه فرآیند در بازار امکان‌پذیر گردد.

گام چهارم: تطابق حجم تقاضا شده یا واگذار شده با حجم مجاز

در این مرحله حجم درخواستی متقاضی با سقف حجم خرید مجاز که بر اساس شرایط فیزیکی چاه و یا شرایط شرکت آب منطقه‌ای تعیین خواهد گردید و حجم درخواستی برای واگذاری با سقف سهم آب قابل واگذاری که در بازار بهره‌وری ۱۰٪ سهم آب سالیانه و در بازار ثانویه حداکثر ۴۰٪ سهم آب سالیانه است، مقایسه می‌گردد و باید کمتر و یا برابر با سقف مجاز باشد. لازم به ذکر است سهم آب سالیانه هر بهره‌بردار مطابق رابطه (۱) توسط کارگزار محاسبه می‌شود و کارگزار با مقایسه حجم مندرج در پروانه بهره‌برداری معتبر و حجم واقعی که از طریق رابطه (۱) محاسبه شده است، حجم کمتر را مبنای محاسبات قرار می‌دهد.

$$V_r = (A + WH) \times Q_r \quad (1)$$

در رابطه (۱)، V_r سهم آب واقعی سالیانه (متر مکعب)، WH ساعت کارکرد سالیانه چاه، Q_r دبی واقعی چاه (متر مکعب بر ساعت) و A میزان ساعتی است که کارگزاری بازار آب جهت جبران ضعف سیستم آبدهی چاه (توان پمپ و...) به ساعت کارکرد پروانه بهره‌برداری معتبر اضافه می‌کند. در شرایط فعلی عدد A ، ۵۰۰ ساعت تعیین شده است.

گام پنجم: صدور مجوز

پس از طی مراحل فوق جلسه‌ای با حضور نمایندگان دفتر حقوقی، آب زیرزمینی، امور مشترکین، کارگزاری، تعادل بخشی، دفتر کیفیت و محیط‌زیست و دفتر مطالعات تشکیل می‌گردد. در صورت تایید، مجوز تقاضا یا واگذاری صادر می‌گردد. مجوزهای عرضه صادر شده شامل حجم آب قابل واگذاری در بازارهای اولیه و ثانویه، هدایت الکتریکی نقطه برداشت و مدت زمان اعتبار مجوز و

مجوزهای تقاضا شامل حجم تقاضا شده، هدایت الکتریکی نقطه برداشت و مدت زمان اعتبار مجوز است. لازم به ذکر است تمامی مجوزهای صادر شده شش ماه اعتبار دارند و متقاضیان آب از زمان معامله، یک سال فرصت برای برداشت حجم خریداری شده دارند.

قیمت تعادلی^۴ تعادلی^۵

قیمت تعادلی آب به قیمتی اطلاق می‌شود که در آن مقدار عرضه (Q_s) و تقاضا (Q_d) برای آب برابر باشد. به طوری که بازار آب در تعادل قرار گیرد. این قیمت نشان دهنده نقطه‌ای است که در آن هیچ کدام از خریداران یا فروشندگان تمایلی به تغییر قیمت ندارند، زیرا بازار در وضعیت تعادل قرار دارد (Tahamipour, 2019). در این نقطه تخصیص منابع آب به صورت بهینه انجام می‌پذیرد و کارایی اقتصادی حاصل می‌شود (Kiani, 2016).

الف- تابع تقاضا^۶ تقاضا^۷

تابع تقاضای آب نشان دهنده ارتباط بین مقدار تقاضای آب و قیمت آن با فرض ثبات سایر عوامل است. به طور کلی، تابع تقاضای آب برای بیان رابطه‌ای است که نشان می‌دهد چگونه مصرف‌کنندگان مقدار آب مورد نیاز خود را با توجه به عوامل مختلف مانند قیمت آب، درآمد و عوامل دیگر انتخاب می‌کنند (Dinar and Tsur, 2021). این تابع به سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب کمک می‌کند تا رفتار مصرف‌کنندگان را در مواجهه با تغییرات اقتصادی و محیطی پیش‌بینی کرده و تصمیمات مناسب برای مدیریت منابع آب اتخاذ کنند. تابع تقاضا معمولاً به صورت رابطه (۲) نمایش داده می‌شود:

$$Q_d = f(P, I, T, P_s, \dots) \quad (2)$$

که در آن Q_d مقدار تقاضا، P قیمت کالا، P_s قیمت سایر کالاها، T شرایط آب و هوایی و I درآمد مصرف‌کننده است. در این پژوهش منظور از تابع تقاضا، تابع تقاضا برای سهم آب است، نه برای خود کالای آب به صورت فیزیکی. به عبارت دیگر، هزینه‌های استخراج و تولید این کالا بر عهده خریدار است، نه فروشنده. فروشنده صرفاً اعتبار و سهم آب را می‌فروشد و خریدار موظف به

تأمین تجهیزات برداشت، استخراج و انتقال است. نکته قابل توجه این است هزینه‌های استخراج مانند کف‌شکنی، لایروبی و جابجایی چاه عمده‌تر مربوط به نگهداری و حفظ امکان برداشت آب هستند و تأثیر مستقیمی بر میزان تقاضای سهم آب در بازار ندارند. این هزینه‌ها عموماً سرمایه‌گذاری‌های دورمدی برای احیای زیرساخت‌ها محسوب می‌شوند و تصمیم کشاورز برای خرید سهم آب را در بازه‌های زمانی کوتاه تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. در مقابل، نوع تکنولوژی و تجهیزات مورد استفاده مانند نوع پمپ نقش مهمی در بهره‌وری برداشت آب دارد. راندمان پایین تجهیزات به افزایش تلفات و کاهش کارایی منجر می‌شود و باعث می‌شود برای تأمین نیاز آبی مشخص، حجم بیشتری از سهم آب خریداری شود. در نتیجه، نوع پمپ می‌تواند موجب افزایش یا کاهش مقدار تقاضا شود. همچنین، هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر رفتار تقاضا است. در شرایطی که کمبود آب منجر به از بین رفتن محصول شود، ریسک اقتصادی بالایی متوجه کشاورز خواهد بود و در چنین شرایطی کشاورز ممکن است علی‌رغم افزایش قیمت آب، حاضر به خرید سهم آب شود تا از خسارت ناشی از بی‌آبی و نابودی محصول جلوگیری کند. از دیگر عوامل مؤثر بر تقاضا می‌توان به دما، درآمد، سطح زیرکشت، قیمت فروش آب و ضریب ذخیره اشاره کرد. دما و سطح زیرکشت ارتباط مستقیمی با میزان تقاضا آب دارد به طوری که هر چه دما و سطح زیرکشت بیشتر باشد، تقاضا برای سهم آب افزایش خواهد یافت. در کنار سایر موارد، درآمد کشاورز و ضریب ذخیره نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تقاضا دارد. کشاورزانی که درآمد بیشتری دارند و یا محصول با ارزش اقتصادی بالایی تولید می‌کنند تمایل بیشتری به خرید سهم آب دارند زیرا احتمال بازگشت سرمایه و سودآوری برای آنها بیشتر است و در مقابل هر چه ضریب ذخیره به نفع آبخوان بیشتر باشد کشاورز تمایل کمتری برای خرید سهم آب دارد چرا که

اختلاف میان حجم خریداری شده و حجم قابل برداشت افزایش می‌یابد و در نتیجه قیمت واقعی هر متر مکعب آب برای کشاورز بیشتر می‌شود و با افزایش قیمت تقاضا کاهش می‌یابد. بنابراین، علاوه بر عوامل پیش گفته، هزینه تولید نیز بر میزان تقاضای سهم آب تأثیرگذار است.

ب- تابع عرضه^۶

تابع عرضه آب رابطه‌ای است که مقدار آبی را که عرضه‌کنندگان در قیمت‌های مختلف حاضر به ارائه آن هستند، نشان می‌دهد. این تابع به عوامل مختلفی مانند قیمت آب، هزینه‌های تولید، دسترسی به منابع آب، زیرساخت‌ها و سیاست‌های دولت بستگی دارد (Dinar and Tsur, 2021). به طور کلی تابع عرضه به صورت رابطه (۳) ارائه می‌شود.

$$Q_s = f(P_x, C, T, R, \dots) \quad (3)$$

که در آن Q_s مقدار عرضه، P_x قیمت کالا، C هزینه‌های تولید، T فناوری و زیرساخت‌ها و R منابع آب موجود است. لازم به ذکر است در این پژوهش منظور از تابع عرضه، تابع عرضه سهم آب است. در واقع فروشنده در این بازار بخشی از سهم آب خود را به خریدار منتقل می‌کند. بنابراین، آنچه در بازار معامله می‌شود، اعتبار و سهم دسترسی به آب است، نه خود آب به صورت فیزیکی. برداشت فیزیکی آب پس از معامله به عهده خریدار است که باید با استفاده از تجهیزات و منابع خود، عملیات استحصال را انجام دهد.

میزان عرضه سهم آب در بازار تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اقتصادی، فنی و محیطی قرار دارد. از جمله مهم‌ترین این عوامل می‌توان به قیمت فروش آب، حق چاه، نوع سیستم آبیاری، هزینه‌های تولید، سهم آب سالیانه و دما اشاره کرد. حق چاه یکی از عوامل فنی مهم در تعیین رفتار عرضه‌کننده است. با افزایش حق، معمولاً کیفیت آب کاهش می‌یابد و دبی خروجی نیز افت می‌کند. این موضوع موجب افزایش هزینه‌های استحصال و کاهش صرفه اقتصادی استفاده مستقیم از آب می‌شود. بنابراین، کشاورزان در چنین شرایطی تمایل بیشتری به فروش سهم آب پیدا می‌کنند. نوع سیستم آبیاری نیز نقش مهمی در عرضه آب ایفا می‌کند. استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری (مانند آبیاری قطره‌ای یا بارانی) باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. در نتیجه، کشاورزان می‌توانند از صرفه‌جویی ایجاد شده، بخشی از سهم آب خود را به بازار عرضه کنند. هزینه‌های تولید نقش مهمی در تصمیم کشاورزان برای عرضه سهم آب ایفا می‌کند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های مربوط به نگهداری و بهره‌برداری از منابع آب مانند جابجایی، لایروبی، کف‌شکنی، جابه‌جایی و هزینه‌های جاری مرتبط با تولید محصولات کشاورزی است. افزایش این هزینه‌ها ممکن است موجب شود کشاورزان برای جبران مخارج خود، بخشی از سهم آب خود را در بازار عرضه کنند. قیمت فروش آب در بازار نیز محرک اصلی عرضه است. با افزایش قیمت، درآمد بالقوه از فروش آب افزایش یافته و انگیزه عرضه‌کنندگان برای مشارکت در بازار تقویت می‌شود. علاوه بر عوامل اقتصادی، فنی و محیطی، عرضه سهم آب در بازار تابع قوانین و مقررات مشخصی نیز هست. بر اساس قوانین بازار هر کشور حداکثر ۱۰ درصد سهم آب سالیانه‌ی خود را می‌تواند در بازار عرضه نماید. بنابراین میزان سهم آب سالیانه در مقدار عرضه مؤثر است. در کنار این موارد، دما نیز بر تصمیم عرضه تأثیر دارد. در سال‌هایی که دما بالا و نیاز آبی محصولات بیشتر است، کشاورز ممکن است ترجیح دهد سهم بیشتری از آب را برای تولید نگه دارد و از عرضه صرف‌نظر کند. اما در شرایط دمایی معتدل‌تر، مازاد مصرفی بالقوه ایجاد شده و امکان عرضه فراهم می‌شود.

روش رگرسیونی حداقل مربعات معمولی^۷

روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی، یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها برای تخمین ضرایب مدل‌های رگرسیونی است. در این روش، هدف کمینه کردن مجموع مربعات تفاوت‌ها (خطاها) بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده است. روش OLS در حالت چند متغیره به شکل زیر است:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

که y_i متغیر وابسته (برآورد شده)، x_i متغیر مستقل برآورد کننده، β_0 عرض از مبدأ، β_i ضریب مستقل متغیر i و ε_i بیانگر خطا یا باقی مانده‌های مدل است.

برای اینکه ضرایب متغیرهای توضیحی و باقی‌مانده‌های تخمین در یک مدل رگرسیون قابل اتکا و صحیح باشند، باید فرض‌های کلاسیک رگرسیون حداقل مربعات معمولی رعایت شوند. این فرض‌ها ویژگی‌هایی را بیان می‌کنند که داده‌ها و مدل باید داشته باشند و به شرح زیر است:

- مدل رگرسیون باید خطی باشد.
- میانگین خطاها باید صفر باشد.
- خطاهای مدل نباید با متغیرهای توضیحی همبستگی داشته باشند.
- واریانس جملات خطا باید همسان باشد. نقض این فرض ممکن است منجر به تخمین‌های ناکارا شود. برای بررسی این موضوع می‌توان از آزمون‌هایی مانند آزمون بروش - **پاگان*** یا **پاگان*** یا **وایت*** ^۹ استفاده کرد.
- جملات خطا باید خودهمبستگی نداشته باشند. یعنی خطای مربوط به یک مشاهده نباید به خطای مشاهده دیگر وابسته باشد. از آزمون‌های دورین - **واتسون*** یا **واتسون*** یا آزمون بروش - **گادفری*** یا **گادفری*** ^{۱۱} برای بررسی خودهمبستگی استفاده می‌شود.
- باقی‌مانده‌ها باید توزیع نرمال داشته باشند. نقض این فرض به تخمین ضرایب تأثیر نمی‌گذارد، اما ممکن است نتایج آزمون‌های معناداری دچار مشکل شود. می‌توان از آزمون‌های نرمالیت مانند آزمون جاک - **بر*** یا **بر*** ^{۱۲} یا بررسی هیستوگرام باقی‌مانده‌ها استفاده کرد.
- برای ارزیابی قدرت پیش‌بینی مدل رگرسیون از ضریب تعیین (R^2) و برای بررسی معنی‌داری رگرسیون از آماره F استفاده شده است.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت تکنیکی برای ارزیابی تأثیر تغییر متغیرهای ورودی بر متغیر خروجی است (Abbasi et al., 2022). در این مطالعه به بررسی تغییر پنج، ۱۰ و ۱۵ درصدی متوسط قیمت فروش آب، متوسط دما، متوسط سطح زیر کشت، متوسط ضریب ذخیره و متوسط عمق چاه بر روی قیمت تعادلی پرداخته شده است. برای این منظور میزان حساسیت قیمت تعادلی نسبت به هر یک از متغیرهای ذکر شده با ثابت نگه داشتن سایر عوامل و با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شده است.

$$S = \left| \frac{P - P^*}{P^*} \right| \times 100 \quad (5)$$

که در آن، S میزان حساسیت (درصد)، P قیمت تعادلی برآورد شده به ازای تغییر پارامتر مورد نظر، P^* قیمت تعادلی در شرایط فعلی بازار است.

داده‌ها و اطلاعات

در این پژوهش بر اساس مبانی اقتصاد خرد و قوانین بازار برای تخمین تابع تقاضا و عرضه از داده‌های مقطعی حجم آب معامله شده در بازار، قیمت فروش، هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی، هزینه‌های نگهداری چاه (لایروبی، کف-شکنی و جابه جایی) و هزینه سالیانه برق، عمق چاه، تکنولوژی‌های مورد استفاده شامل نوع پمپ و نوع سیستم آبیاری، میزان سهم آب سالیانه، سطح زیر کشت، ضریب ذخیره، درآمد کشاورزان و دما بهره گرفته شده است. هزینه تولید محصولات زراعی سال ۱۴۰۲ از سازمان جهاد کشاورزی قزوین، دما از سازمان هواشناسی استان قزوین و سایر اطلاعات ذکر شده از کارگزاری بازار سهم آب از زمان راه‌اندازی بازار، تیر ۱۴۰۲ تا آذر ۱۴۰۳ اخذ شده است. تاکنون ۱۹۸۸۳۶۰ متر مکعب آب در بازار ثانویه معامله شده است و حداقل قیمت فروش آب در بازار ۲۰۰۰ تومان و حداکثر قیمت فروش ۶۰۰۰ تومان بوده است حجم و قیمت فروش آب مطابق جدول (۴) است.

Table 4. Trading volume and selling price of water in the market

Number	Transaction volume (CM)	Sale price (Rial)	Number	Transaction volume (CM)	Sale price (Rial)
1	67376	50000	21	37931	43000
2	44001	20000	22	11905	54000
3	88900	50000	23	57472	48500
4	22230	47500	24	1111	60000
5	65990	20000	25	4100	60000
6	60588	50000	26	9000	50000
7	33334	50000	27	2223	60000
8	11112	50000	28	11494	56500
9	61112	50000	29	45977	50000
10	100000	50000	30	276031	32500
11	66666	45000	31	90446	50000
12	66666	55000	32	90720	40000
13	17050	58000	33	16666	55000
14	39286	40000	34	11000	50000
15	57472	48500	35	61068	50000
16	70763	42400	36	123490	45000
17	90000	43000	37	22223	60000
18	39617	56000	38	1667	50000
19	12000	50000	39	89674	50000
20	10000	50000			

نتایج و بحث

الف-تابع تقاضا

تابع تقاضا در بازار سهم آب با استفاده از اطلاعات حجم آب معامله شده بر حسب متر مکعب (Q_d)، قیمت فروش بر حسب ریال (P)، هزینه تولید محصولات کشاورزی بر حسب ریال (CO)، درآمد بر حسب ریال (I)، سطح زیر کشت بر حسب متر مربع (A)، دما بر حسب درجه سانتی‌گراد (TE)، ضریب ذخیره بر حسب درصد (S) و نوع پمپ (PU) در نرم افزار آماری Eviews به صورت رابطه (۶) برآورد شده است.

$$Q_d = 17552.687 - 0.663P - 3.640 \times 10^{-9}I + 1.020 \times 10^{-7}CO - 7088.784S - 10259.696PU + 0.002A + 8096.732TE + 0.291 \quad (6)$$

نتایج مدل رگرسیونی تخمین زده شده مطابق جدول (۵) است. با توجه به احتمال متناظر با آماره F ، معنی داری کل رگرسیون در سطح پنج درصد پذیرفته می شود. مقدار ضریب تعیین حدود $۰/۷۵$ است که بیانگر آن است که ۷۵ درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توضیح داده می شود که حاکی از قدرت توضیح دهنده گوی مناسب مدل است. همچنین آماره دوربین-واتسون $۲/۰۶$ است که نشان دهنده عدم خودهمبستگی در باقی مانده های مدل است. نتایج بررسی ناهمسانی واریانس باقی مانده ها با آزمون بروش-پاگان در جدول (۶) حاکی از عدم رد فرض صفر در سطح پنج درصد مبنی بر همسانی واریانس جملات خطا است و مطابق شکل (۳) و بر اساس آزمون جارک - برا باقی مانده ها دارای توزیع نرمال هستند. بنابراین فروض کلاسیک در خصوص مدل برآورد شده صدق می کند.

ضریب قیمت در مدل تخمین زده منفی، معنی دار و معادل $-۰/۶۶۳$ است که نشان می دهد بین قیمت و میزان تقاضا رابطه معکوس وجود دارد. بر اساس اصول اقتصادی انتظار می رود با افزایش قیمت میزان تقاضا کاهش یابد و علامت ضریب تخمین زده شده متناسب با انتظارات تئوریک است و بیانگر این است اگر قیمت آب یک واحد افزایش یابد، تقاضای آن $۰/۶۶۳$ برابر کاهش می یابد. از دیگر متغیرهای موثر بر میزان تقاضا می توان به هزینه تولید محصولات کشاورزی (CO)، ضریب ذخیره (S) و سطح زیر کشت (A) اشاره کرد. همانطور که در جدول (۵) نشان داده شده است با افزایش ضریب ذخیره، میزان تقاضا به طور چشمگیری کاهش خواهد یافت. زیرا کشاورزان اجازه برداشت حجم خریداری شده را به طور کامل ندارند و بسته به ضریب ذخیره از حجم خریداری شده آنان کاسته می شود. در واقع قیمت هر متر مکعب آب قابل برداشت با افزایش ضریب ذخیره افزایش خواهد یافت و این موضوع سبب کاهش تقاضا می گردد. ضریب مثبت تخمین زده شده برای سطح زیر کشت و هزینه تولید بیانگر افزایش تقاضای آب با افزایش سطح زیر کشت و هزینه های تولید است. با افزایش هزینه های تولید، تقاضای آب از سوی کشاورزان به منظور جبران هزینه های تولید و جلوگیری از ضرر مالی افزایش می یابد. دلیل این موضوع این است که کشاورزان هزینه زیادی را برای تولید محصولات کشاورزی صرف می کنند. این هزینه ها تنها زمانی جبران می شود که مقدار تولید محصول به اندازه کافی باشد و کشاورزان بتوانند با فروش محصول، هزینه های خود را دریافت کنند. زمانی که به گیاه تنش آبی وارد شود، گیاه بخش زیادی از محصول خود را از دست می دهد. در نتیجه، کشاورزان متحمل خسارت می شوند. به همین دلیل، کشاورزان برای جبران هزینه های تولید و جلوگیری از ضرر، اقدام به خرید آب می نمایند.

Table 5. Results of the demand function estimate

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	17552.69	76202.55	0.230343	0.8193
P	-0.662975	0.324099	-2.045591	0.0494
I	-3.64E-09	9.93E-09	-0.366660	0.7164
CO	1.02E-07	1.68E-08	6.071819	0.0000
S	-7088.785	1306.157	-5.427208	0.0000
PU	-10259.70	12007.13	-0.854467	0.3994
A	0.008357	0.002442	3.422170	0.0018
TE	8096.732	5300.079	1.527663	0.1367
AR(1)	0.291922	0.176505	1.653903	0.1082
SIGMASQ	5.67E+08	1.55E+08	3.655347	0.0009
R-squared	0.751544	Mean dependent var		50115.14
Adjusted R-squared	0.679412	S.D. dependent var		48385.91
S.E. of regression	27396.36	Akaike info criterion		23.48460
Sum squared resid	2.33E+10	Schwarz criterion		23.90254
Log likelihood	-471.4343	Hannan-Quinn criter.		23.63679
F-statistic	10.41895	Durbin-Watson stat		2.062723
Prob (F-statistic)	0.000000			
Inverted AR Roots		0.29		

Table 6. Results of Breusch-Pagan test

F-statistic	1.158519	Prob. F(7,33)	0.3525
Obs*R-squared	8.088008	Prob. Chi-Square(7)	0.3249
Scaled explained SS	3.972584	Prob. Chi-Square(7)	0.7829

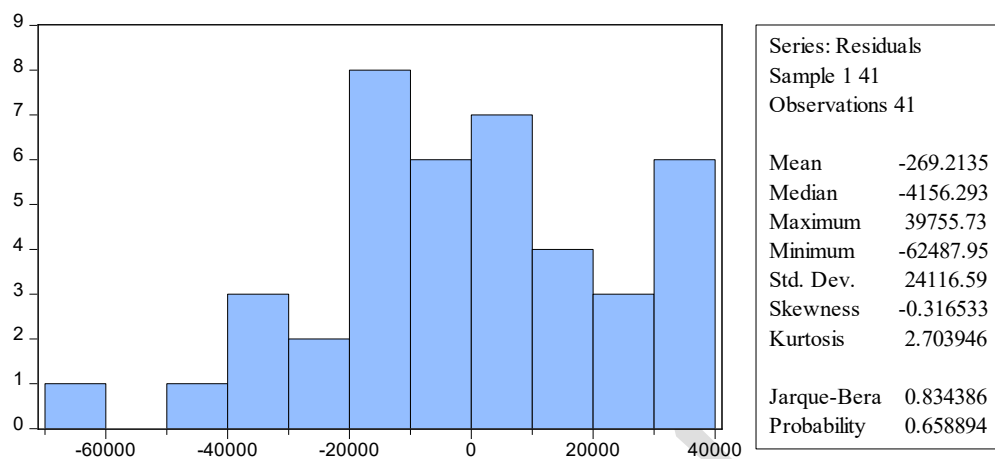


Figure 3. The results of the normality test of the residuals

ب- تابع عرضه

قیمت فروش، عمق چاه، سیستم آبیاری، هزینه‌های تولید، سهم آب سالیانه و دما از عوامل موثر بر میزان عرضه سهم آب هستند. عمق چاه از این جهت بر روی میزان عرضه تاثیرگذار است که افزایش آن سبب کاهش کیفیت آب و دبی چاه می‌شود بنابراین هزینه استحصال افزایش می‌یابد و کشاورزان تمایل بیشتری به عرضه سهم آب دارند. همچنین آب عرضه شده در بازار ماحصل صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری است و انتظار می‌رود با بهبود سیستم آبیاری، میزان عرضه آب افزایش یابد بنابراین نوع سیستم آبیاری در میزان عرضه آب تاثیرگذار است. علاوه بر این، هزینه‌های تولید که شامل هزینه‌های جابجایی، لایروبی، کف‌شکنی و هزینه تولید محصولات کشاورزی است، یکی از دلایل مهم فروش آب توسط کشاورزان است، به طوری که کشاورزان برای تامین هزینه‌ها، اقدام به فروش بخشی از آب خود می‌نمایند. تابع عرضه با استفاده از حجم آب معامله شده در بازار بر حسب متر مکعب (Q_s)، هزینه تولید بر حسب ریال (CO)، میزان سهم آب سالیانه بر حسب متر مکعب (WR)، نوع سیستم آبیاری (WI)، دما بر حسب درجه سانتی‌گراد (TE) و عمق چاه بر حسب متر (D) در نرم افزار آماری Eviews به صورت رابطه (V) برآورد شده است.

$$Q_s = 165804.010 - 2.091P - 9.131 \times 10^{-9}CO - 4866.731WI + 0.005WR + 1252.239D - 12435.087TE \quad (V)$$

نتایج حاصل از مدل رگرسیونی تخمین زده شده مطابق جدول (V) است. آماره F ، $536/6$ و احتمال متناظر آن $0/0001$ گزارش شده است که نشان از معنی‌داری کل رگرسیون است. مقدار ضریب تعیین $0/551$ برآورد شده است که نشان می‌دهد حدود ۵۵ درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شود و بر اساس سه مقدار $0/19$ ، $0/33$ و $0/67$ که Chin (1998) به عنوان ملاک برای ضعیف، متوسط و قوی بودن ضریب تعیین تعریف کرده است، نتایج حاکی از قدرت خوب توضیح‌دهندگی مدل است. آماره دوربین-واتسون $2/352$ برآورد شده است که به معنای عدم خودهمبستگی میان باقی‌مانده‌ها است و بررسی نرمال بودن باقی‌مانده‌ها در شکل (۴) بیانگر توضیح نرمال باقی‌مانده‌ها و نتایج بررسی ناهمسانی باقی‌مانده‌ها با آزمون بروش - پاگان در جدول (۸) حاکی از عدم وجود واریانس ناهمسانی بین باقی‌مانده‌ها است. بنابراین فروض کلاسیک در رگرسیون تخمین زده برقرار است.

ضریب قیمت در تابع عرضه منفی، معنی‌دار و معادل $-2/091$ است. در واقع میان قیمت آب و حجم عرضه در بازار ثانویه رابطه معکوس وجود دارد. بر اساس مبانی اقتصادی انتظار می‌رود میزان عرضه با افزایش قیمت افزایش یابد اما در بازار ثانویه به دلیل قوانین حاکم رابطه معکوس وجود دارد. عرضه‌کنندگان محدودیت زمانی شش ماهه برای واگذاری آب دارند و در صورت عدم واگذاری در مدت تعیین شده مجوز عرضه آنان باطل می‌گردد. به عبارت دیگر از زمان صدور مجوز عرضه آب، میزان سهم آب اعلام شده برای واگذاری در بازار از سهم آب سالیانه کشاورزان کسر می‌گردد و پس از گذشت شش ماه در صورت عدم واگذاری به

حساب بانک سهم آب عرضه کننده بر نمی‌گردد و عرضه‌کنندگان درآمدی از آب کسب نمی‌کنند به همین خاطر آنان تمایل به واگذاری آب به قیمت پایین‌تر دارند. همانطور که ضریب قیمت در تابع عرضه نشان می‌دهد ۱ واحد کاهش قیمت باعث ۲/۰۹۱ برابر شدن عرضه آب می‌گردد.

ضریب مثبت و معنی‌دار عمق چاه به این مفهوم است که با افزایش یک واحدی عمق چاه میزان عرضه آب ۱۲۵۲ برابر می‌شود که این امر دور از انتظار نبوده است چرا که افزایش عمق چاه سبب کاهش دبی چاه و افزایش هزینه‌های استحصال آب می‌گردد.

Table 7. Results of the supply function estimate

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	165804.0	114431.9	1.448932	0.1571
P	-2.091071	0.781327	-2.676307	0.0116
CO	-9.13E-09	7.34E-08	-0.124321	0.9018
WI	-4866.731	12584.07	-0.386737	0.7015
WR	0.004962	0.021615	0.229554	0.8199
D	1252.239	289.8745	4.319935	0.0001
TE	-12435.09	7818.992	-1.590370	0.1216
R-squared	0.550658		Mean dependent var	50983.59
Adjusted R-squared	0.466406		S.D. dependent var	49522.40
S.E. of regression	36174.88		Akaike info criterion	23.99127
Sum squared resid	4.19E+10		Schwarz criterion	24.28985
Log likelihood	-460.8297		Hannan-Quinn criter.	24.09840
F-statistic	6.535869		Durbin-Watson stat	2.351799
Prob(F-statistic)	0.000141			

Table 8. Results of Breusch-Pagan test

F-statistic	2.156992	Prob. F(8,30)	0.0737
Obs*R-squared	11.23085	Prob. Chi-Square(8)	0.0815
Scaled explained SS	10.22182	Prob. Chi-Square(8)	0.1156

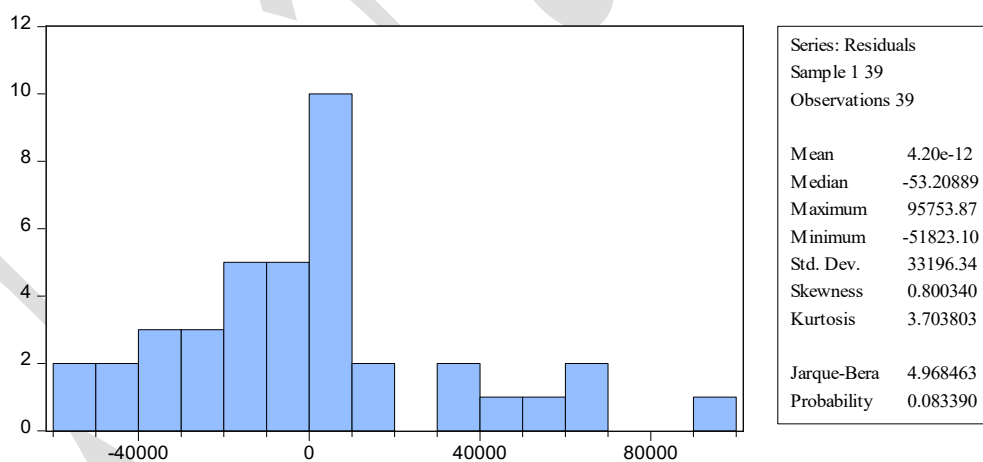


Figure 4. The results of the normality test of the residuals

قیمت تعادلی

قیمت تعادلی آب در بازار ثانویه با برابر قرار دادن تابع عرضه و تقاضا مطابق رابطه (۸) تا (۱۰)، ۴۶۸۱۶ ریال برآورد گردید.

$$Q_d = Q_s \quad (۸)$$

$$83211.440 - 0.663P = 150068.551 - 2.091P \quad (۹)$$

$$1.507P = 69979.939 \rightarrow P = 46816 \quad (۱۰)$$

مقایسه قیمت تعادلی آب با خسارت اضافه برداشت از چاه‌ها در استان قزوین، که حدود ۲۸۰۰ تومان است، نشان می‌دهد خسارت اضافه برداشت از چاه کمتر از قیمت فروش آب در بازار سهم آب است. این موضوع می‌تواند سبب عدم تمایل کشاورزان برای خرید آب در بازار ثانویه و تمایل آن‌ها به برداشت غیرمجاز گردد. این در حالی است که مقایسه قیمت تعادلی آب با متوسط قیمت فروش آب در بازار که ۴۴۵۵ تومان است نشان می‌دهد قیمت تعادلی بیشتر از متوسط قیمت فروش آب در بازار است. با توجه به اینکه قیمت تعادلی قیمتی است که در آن مجموع اضافه رفاه و به تبع آن رفاه اقتصادی حداکثر است دلیل اصلی عدم تمایل کشاورزان برای خرید از بازار پایین بودن هزینه خسارت اضافه برداشت است.

تحلیل حساسیت

نتایج تحلیل حساسیت قیمت تعادلی نسبت به تغییر پنج تا ۱۵ درصدی متوسط ضریب ذخیره، متوسط قیمت فروش، متوسط دما، متوسط عمق چاه و متوسط سطح زیر کشت مطابق شکل (۵) است. همانگونه که مشاهده می‌شود قیمت تعادلی بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات دما دارد.

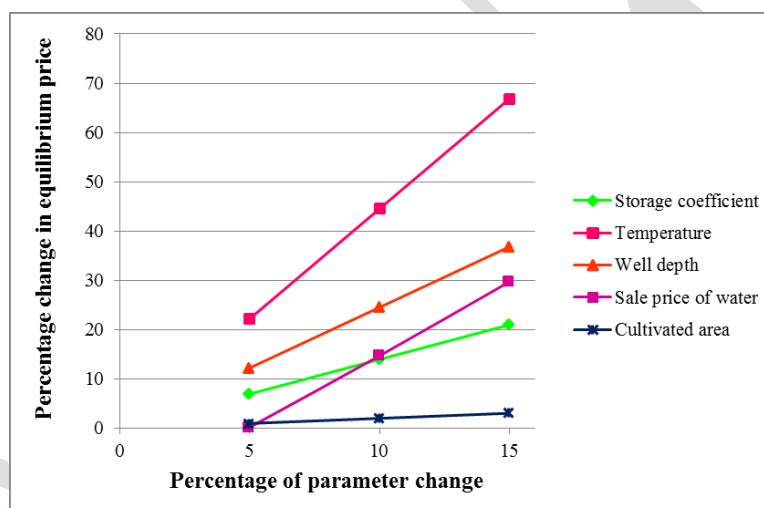


Figure 5. Sensitivity of the equilibrium water price to a five to 15 percent change in the parameters considered

نتایج این پژوهش قابل مقایسه با پژوهش Donoso et al. (2014) است در هر دو مطالعه به برآورد تابع عرضه و تقاضا آب در بازار آب پرداختند و بر این باور هستند که میزان عرضه و تقاضا تعیین کننده قیمت آب در بازار است اما بازار آب بررسی شده در این مطالعه، بازار آب زیرزمینی و بازار آب بررسی شده توسط Donoso et al. (2014) بازار آب سطحی است به همین دلیل فاکتورهای موثر بر میزان عرضه و تقاضا با یکدیگر تفاوت دارند. تابع تقاضای آب زیرزمینی توسط Bonviller et al. (2020) در بازار موقت آب زیرزمینی حوضه مورامیجی در استرالیا با استفاده از یک رویکرد اقتصادسنجی و با داده‌های ماهانه مربوط به قیمت و حجم معاملات برآورد شده است (Bonviller et al. (2020) از مدل رگرسیون لگاریتمی برای برآورد تابع تقاضا استفاده کردند و ضریب قیمت در مدل رگرسیون لگاریتمی بیانگر کشش قیمتی تقاضا در بازار است اما در این پژوهش از مدل خطی برای برآورد تابع تقاضا استفاده شده است و ضریب قیمت بیانگر کشش قیمتی تقاضا نیست و کشش در هر نقطه باید با در نظر گرفتن قیمت و مقدار فروش در آن نقطه برآورد شود و مقایسه کشش قیمتی در بازار آب زیرزمینی حوضه مورامیجی با ضریب قیمت در تابع تقاضای آب در بازار سهم آب قزوین نشان می‌دهد در هر دو مطالعه با افزایش قیمت میزان تقاضا کاهش می‌یابد.

تابع عرضه آب زیرزمینی توسط Hasanshahi (2012) در شهرستان ارسنجان برآورد شده است (Hasanshahi (2012) به برآورد تابع عرضه فیزیکی آب زیرزمینی پرداخته است و برای برآورد تابع عرضه از روش هزینه نهایی استفاده کرده است و ضریب قیمت در

تابع عرضه تخمین زده مثبت است در حالی که در این مطالعه به تخمین تابع عرضه سهم آب پرداخته شده است و از روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی برای برآورد تابع عرضه استفاده شده است و ضریب قیمت به دلیل ماهیت بازار منفی است.

مقایسه تابع عرضه و تقاضا تخمین زده شده توسط Shabani rouchi et al. (2024) در بازار فرضی دشت هشتگرد با این پژوهش نشان می‌دهد که تابع تقاضا را با داشتن ارزش سایه‌ای در هر سطح آب قابل دسترس برآورد کرده‌اند و مقدار عرضه هم به دلیل فرضی بودن بازار، سهم آب قابل دسترسی در نظر گرفتند و قیمت تعادلی ۳۳۹۴ ریال به ازای هر متر مکعب بدست آوردند در حالی که در این پژوهش تابع عرضه و تقاضا بر اساس قوانین بازار سهم آب و با شناسایی عوامل موثر بر میزان عرضه و تقاضا تخمین زده شده است.

مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش Keramatzadeh et al. (2011) نشان می‌دهد در هر دو مطالعه به برآورد قیمت تعادلی پرداختند اما در مطالعه Keramatzadeh et al. (2011) تابع تقاضای آب پس از تخمین الگوی بهینه کشت تحت قیمت‌های مختلف برآورد و مقدار عرضه تحت شرایط نرمال و خشکسالی تخمین زده شده است و قیمت تعادلی هر متر مکعب آب به ترتیب در شرایط نرمال و خشکسالی ۴۱۶ و ۵۷۱ ریال برآورد شده است در حالی که در این مطالعه از اطلاعات واقعی برای برآورد تابع عرضه و تقاضا استفاده شده است و بازار آب مورد بررسی بازار آب زیرزمینی است و برای تخمین تابع عرضه و تقاضا علاوه بر قیمت عوامل دیگری که بر روی عرضه و تقاضا موثر است بررسی شده است.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به دلیل برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت قزوین به شدت کاهش پیدا کرده است. با هدف کمک به حفظ منابع آب زیرزمینی و افزایش بهره‌وری، بازار سهم آب در استان قزوین راه‌اندازی شده است. شناسایی عوامل موثر بر میزان عرضه، تقاضا و تخمین تابع عرضه، تقاضا و قیمت‌گذاری صحیح آب می‌تواند به تحقق اهداف بازار کمک نماید. از این رو در این پژوهش به تخمین تابع عرضه، تقاضا و برآورد قیمت تعادلی آب در بازار ثانویه سهم آب پرداخته شده است. ضریب قیمت فروش آب در تابع تقاضا عددی منفی، معنی‌دار و معادل $-0/663$ است که سازگار با انتظارات تئوریک است و ضریب قیمت در تابع عرضه نیز عددی منفی، معنی‌دار و معادل $-2/091$ است که سازگار با انتظارات تئوریک نیست. علت این مسئله را می‌توان محدودیت زمانی شش ماهه برای فروش آب در بازار دانست. بر اساس تعادل تقاضا و عرضه آب در بازار ثانویه، قیمت تعادلی آب در بازار سهم آب ثانویه ۴۶۸۱۶ ریال برآورد گردید. تحلیل حساسیت قیمت تعادلی نسبت به پارامترهای موثر بر میزان عرضه و تقاضا نشان داد که قیمت تعادلی بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات دما دارد. همانطور که نتایج پژوهش Balali and Kasbian Lal (2022) و Seyedan and Ghadami Firozabadi (2018) نشان داده است، میان قیمت واقعی آب زیرزمینی و قیمت پرداختی از سوی کشاورزان تفاوت زیادی وجود دارد لذا قیمت تعادلی حاصل از سازوکار بازار می‌تواند نقش موثری در افزایش بهره‌وری و مدیریت منابع آب داشته باشد. همچنین مقایسه خسارت اضافه برداشت آب در آبخوان دشت قزوین با قیمت تعادلی آب در بازار سهم آب، بیانگر بیشتر بودن قیمت تعادلی از خسارت اضافه برداشت از چاه‌ها است. این مسئله می‌تواند سبب کاهش تمایل متقاضیان برای ورود به بازار سهم آب گردد. شایان ذکر است بنابر بند ب تبصره ۷ قانون بودجه سال ۱۴۰۳ کل کشور بابت بهره‌برداری از چاه غیرمجاز یا مجاز دارای اضافه برداشت در محدوده‌های ممنوعه، علاوه بر خسارت به آبخوان، جریمه نیز در نظر گرفته شده است که درآمد مربوطه نیز به خزانه داری کل کشور واریز می‌گردد بنظر می‌رسد با افزودن هزینه‌های جریمه به خسارت برداشت‌های غیرمجاز مجموع هزینه‌ها به مقدار قابل توجهی افزایش یابد و استقبال از بازار آب از سوی کشاورزان افزایش یابد.

همچنین با توجه به محدودیت‌های مدل‌های ساده عرضه و تقاضا که تنها روابط خطی بین عرضه و تقاضا را در نظر می‌گیرند و پیچیدگی‌های واقعی بازار آب را پوشش نمی‌دهند پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی تعیین قیمت تعادلی آب از مدل‌های پیشرفته‌تر بهره گرفته شود. استفاده از مدل‌های چندمعیاره که قابلیت تلفیق معیارهای منوع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با

وزن‌های متفاوت را دارند می‌تواند تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و جامع‌تری را فراهم کند. علاوه بر این توصیه می‌شود از مدل‌های دینامیکی برای شبیه‌سازی تغییرات زمانی بازار و رفتار متغیر ذی‌نفعان استفاده شود. این مدل‌ها قادرند نوسانات قیمت و عرضه را در بازه‌های زمانی مختلف پیش‌بینی کرده و اثرات بلندمدت سیاست‌ها و شرایط محیطی را بهتر نشان دهند. همچنین با توجه به نوبت بودن بازار سهم آب در استان قزوین پیشنهاد می‌شود که به منظور ارتقاء کارایی و پایداری این بازار، برنامه‌های آموزشی منظم و کارگاه‌های مشارکتی برای کشاورزان، صنایع و سایر ذی‌نفعان طراحی و اجرا گردد. این آموزش‌ها باید شامل مباحثی همچون اصول بازار آب، اهمیت قیمت‌گذاری بهینه، شیوه‌های بهینه‌سازی مصرف و مدیریت پایدار منابع آب باشد. افزایش آگاهی و مشارکت فعال ذی‌نفعان در فرایندهای تصمیم‌گیری و عملکرد بازار، نقش بسزایی در پذیرش سیاست‌ها، بهبود تعاملات و کاهش تعارضات احتمالی دارد که در نهایت منجر به توسعه پایدار و موفقیت بازار آب خواهد شد.

پی‌نوشت

1. Positive Mathematical Programming
2. State Wide Agricultural Production
2. Computable General Equilibrium
3. Nash Equilibrium
34. Equilibrium Price
45. Demand Function
56. Supply Function
67. Ordinary Least Squares
78. Breusch-Pagan
89. White
910. Durbin-Watson
1011. Breusch-Godfrey
1112. Jarque-Bera

منابع

1. Balali, H., & Kasbian Lal, F. (2022). Economic valuation of groundwater in agriculture sector (case study: Hamedan Bahar Plain). *Journal of Agricultural Economics and Development*, 36(1), 37-48. (In persian).
2. Mazandarani Zadeh, H., & Hosseini, S. M. (2024). Simultaneous increase in farmers' welfare and water distribution efficiency taking into account the cost of water case study: Qazvin Plain irrigation. *Iran Water Resources Research*, 19(5), 1-13. doi: 10.22034/iwrr.2023.181576. (In persian).
3. Qu, Y., Kang, J., Lin, X., Ni, H., Jiang, Y., & Chen, G. (2022). Analysis of agriculture water pricing reform in a water deficit area of Northwest China. *Water Policy*, 24(10), 1570-1589.
4. Sapino, F., Pérez Blanco, C. D., Gutiérrez Martín, C., & Frontuto, V. (2020). An ensemble experiment of mathematical programming models to assess socio-economic effects of agricultural water pricing reform in the Piedmont Region, Italy. *Journal of Environmental Management*, 267, 110645.
5. Abbasi, R., Sedaghati, H. R., & Shafiei, S. (2022). Proposing an Economic Order Quantity (EOQ) model for imperfect quality growing goods with stochastic demand. *Research in Production and Operations Management*, 13(1), 105-127. doi: 10.22108/jpom.2022.127914.1356. (In persian).
- 6-2. Abolhassani, L., Shahnoushi, N., Rahnama, A., Azam Rahmati, E., & Heiran, F. (2019). The role of water market formation in using the water resources in agricultural sector: a case study of Mashhad Plain in Iran. *Agricultural Economics and Development*, 27(2), 1-29. doi: 10.30490/aead.2019.95367. (In persian).
- 7-3. Ahmadi, A., Zolfgharipoor, M. A., & Ebrahimi, B. (2019). Challenges and considerations of regional water market rights: a case study: Isfahan-Borkhar Plain. *Iran Water Resources Research*, 14(5), 146-159. (In persian).
4. Amouzegari, P., Panahi, M., & Mirnia, M. K. (2020). Local market analysis of groundwater resource exchange in Alashdar Watershed, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 12(2), 454-466. (In persian).
5. Arellano-Gonzalez, J., AghaKouchak, A., Levy, M. C., Qin, Y., Burney, J., Davis, S. J., & Moore, F. C. (2021). The adaptive benefits of agricultural water markets in California. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034016.
- 8-6. Bayat, M., Javadi, S., Hashemy Shahdany, S. M., Hassani, Y., & Banihabib, M. (2020). Aquifer remediation using nonlinear programming and positive mathematical programming in Qazvin Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1336-1347. (In persian).

- 9-7. Biniiaz, A., Ahmadpur Barazjani, M., Ziaie, S., & Mohammadi, H. (2020). The impact of agricultural water pricing on sustainability of its resources (case study: Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province). *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(1), 195-207. (In Persian).
8. Bonviller, S., Wheeler, S. A., & Zuo, A. (2020). The dynamics of groundwater markets: Price leadership and groundwater demand elasticity in the Murrumbidgee, Australia. *Agricultural water management*, 239, 106204.
- 10-9. Calenco, L., & Ludkovski, M. (2023). A groundwater market model. *arXiv preprint arXiv:2301.14071*.
- 11-10. Chin, W. W. (1998). Commentary: Issues and opinion on structural equation modeling. *MIS quarterly*, vii-xvi.
- 13-11. Dinar, A., & Tsur, Y. (2021). *The economics of water resources: A comprehensive approach*. Cambridge University Press.
- 14-12. Donoso, G., Melo, Ó., & Jordán, C. (2014). Estimating water rights demand and supply: Are non-market factors important?. *Water resources management*, 28, 4201-4218.
13. Ebadati Farid, M. N., Ebrahimi, K., & Behzadpour, M. (2023). The role of water market in improving the economic value of agricultural water resources. *Water and Irrigation Management*, 15(1), 55-73. (In Persian).
- 15-14. Grafton, R. Q., & Horne, J. (2014). Water markets in the Murray-Darling basin. *Agricultural Water Management*, 145(2), 61-71.
- 16-13. Grafton, R. Q., Chu, H., & Wheeler, S. A. (2018). Economics of water recovery in the Murray-Darling Basin, Australia. *Annual Review of Resource Economics*, 10, 487-510.
- 17-16. Hasanshahi, M. (2012). Estimation of the economic supply function of water in the agricultural sector A case study of Arsanjan-Fars city. *Journal of English Studies*, 2(3):81-94. (In Persian).
- 18-17. Hosseini, S. M., & Mazandarani Zadeh, H. (2022). Optimal Water Allocation among Agricultural Consumers Using Crop Pattern Change Approach to Improve Farmers' Livelihood. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(3), 47-61. doi: 10.22055/jise.2021.32941.1915. (In Persian).
- 19-18. Keramatzadeh, A., Chizari, A., & Sharzehi, G. (2011). The Role of Water Market in Determining the Economic Value of Irrigation Water through Positive Mathematical Programming (PMP). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 42(1), 29-44. (In Persian).
- 20-19. Kiani, G. (2016). The role of market in optimal water resources allocation and efficacious factors influencing the efficiency of water markets. *Journal of Water and Sustainable Development*, 3(1), 93-102. doi: 10.22067/jwsd.v3i1.59447. (In Persian).
- 21-20. Mazandarani zadeh, H. & Hosseini, S. M. (2025). Assessing the Economic Efficiency of Water Distribution in the Agricultural Sector through Crop Pattern Modification (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network). *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(1), 39-57. (In Persian).
- 22-21. Mazandarani zadeh, H., & Hoseini, M. (2023). Investigating the effect of agricultural product price forecasting on groundwater level using systems dynamics, in order to simultaneously maintain the welfare of farmers and groundwater resources. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(11), 2565-2582. doi: 10.22059/ijswr.2022.345131.669305. (In Persian).
- 23-22. Mirhashemi, S., Haghighatjou, P., Mirzaei, F., & Panahi, M. (2018). Evaluation of data mining algorithms in studying and predicting the Qazvin Plain Aquifer conditions. *Hydrogeology*, 2(2), 54-66. (In Persian).
- 24-23. Moghaddam, N., & Kholghi, M., (2025). Simultaneous assessment of groundwater level changes and salinity (Case study: Qazvin Plain). *Professional Promoting Scientific Journal of Aquifer*, 16(1). (In Persian).
- 25-24. Nourani, L., Mousavi, N., & Shirvanian, A. (2022). Economic impact assessment of agricultural water market formation in irrigation network of Ramjerd Plain in Iran. *Agricultural Economics and Development*, 29(4), 177-204. doi: 10.30490/aead.2022.353656.1309. (In Persian).
- 26-23. Parhizkari, A., Yavari, G., Mahmoodi, A., & Bakhshi khandaki, G. (2024). Establishment of a structural institution of the local water market in the irrigation network of Tehran Province with statewide agricultural production model approach. *Agricultural Economics Research*, 15(4), 28-51. (In Persian).
- 27-26. Qazvin Regional Water Company. (2023). *Definitions, guidelines, and processes of the water right bank and market in the Qazvin Plain*. (In Persian).
- 28-27. Rahmati, D., Mortazavi, S. A., Najafi Alamdarloo, H., & Vakilpoor, M. H. (2023). Determining the economic value of agricultural water: a case study of karkheh dam transfer water in the Dasht-e-Abbas Plain Aquifer of Ilam Province in Iran. *Agricultural Economics and Development*, 30(4), 217-244. (In Persian).
28. Razaq, A., Xiao, M., Zhou, Y., Liu, H., Abbas, A., Liang, W., & Naseer, M. A. u. R. (2022). Impact of participation in groundwater market on farmland, income, and water access: evidence from Pakistan. *Water*, 14(12), 1832.
29. Salehi, M., & Parhizkari, A. (2014). Analysis of the economic and welfare impacts of establishing irrigation water market in Qazvin Province. *Journal of Agricultural Economics & Development*, 27(4), 338-350. (In Persian).
- 29-30. Seyedan, S.M., & Ghadami Firozabadi, A. (2018). Pricing of groundwater resources of Hamadan-Bahar Plain using spatial econometric approach. *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 258-268. (In Persian).

- 30-31. Shabani rouchi, Z., Yazdani, S., & Moghaddasi, R. (2024). Estimating the Amount of Saving in Water Consumption under the Condition of Forming a Water Market and Examining Its Welfare Effects: A Case Study of Hashtgerd Plain in Alborz Province of Iran. *Agricultural Economics and Development*, 31(4), 73-101. (In persian).
- 31-32. Shirzadi laskookalayeh, S., Ghaderi nejad, P., & Nematolahi, Z. (2022). The effect of water pricing on water consumption of Iranian crops. *Agricultural Economics*, 16(2), 1-25. doi: 10.22034/iaes.2022.538929.1872. (In persian).
- 32-33. Statistical Center of Iran. (2001-2023). *Iran statistical yearbook: Chapter 9 - Water and electricity*. (In persian).
34. Tahamipour, M. (2019). Water pricing system. *Encyclopedia of Economics*, 2(2), 1-3. (In persian).
35. Zolfagharpoor, M. A., Ahmadi, A., & Nikouei, A. (2010). Development of inter-sectional water market framework for improving economic efficiency of groundwater consumption. *Iran-Water Resources Research*, 76(1), 332-346. (In persian).

Economic Analysis of the Secondary Water Market and Estimating the Equilibrium Price (Case Study: Qazvin Province)

ABSTRACT

The increase in water demand and the uncontrolled harvesting of groundwater resources in the Qazvin Plain has led to a sharp drop in groundwater levels and adverse environmental consequences. Since 2023, the right market has been established, including productivity markets (selling water from agriculture to industry) and secondary markets (selling water from agriculture to agriculture) in order to increase productivity and protect groundwater resources in the province. The study was conducted to identify factors affecting supply, demand and supply function estimation, demand function and water equilibrium price estimation. Using data on traded water volume, selling price, production costs, well specifications, irrigation technologies, annual water share, cultivated area, storage coefficient, farmer income, and temperature from July 2023 to December 2024, supply and demand functions were estimated using the ordinary least squares regression method. The price coefficient in the estimated demand function is equivalent to -0.663 and in the supply function it is equivalent to -2.091. The equilibrium price of water in the secondary market was estimated at 4682 tomans and the results of the sensitivity analysis showed that the equilibrium price is highly sensitive to temperature, as well as the estimated equilibrium price in the water market is higher than the penalty for excessive water withdrawal in

this plain. This can lead to a decrease in farmers' willingness to purchase water from the secondary market and an increase in unauthorized groundwater extraction. Therefore, it is recommended to revise the regulations regarding penalties for excessive water withdrawal from authorized wells.

Keywords: Water rights market, Water pricing,, Demand management, Groundwater resources.

آماده انتشار