فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال پنجم، شماره‌ی ۱۸، تابستان ۱۳۹۵
صفحات: ۵۳-۸۰

استفاده از نظریه بازی‌ها در تخصیص بهینه آب در زاینده‌رود

سیدپرویز جلیلی‌کامجو[1*]
رحمان خوش‌اخلاق[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۰

چکیده

هدف این پژوهش استفاده از نظریه بازی‌ها تحت سناریوهای مختلف در ارزیابی رابطه بین پنج متقاضی آب شامل مسکونی، کشاورزی، صنعت، گردشگری و محیط‌زیست و عرضه بلندمدت اقتصادی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود است. به‌منظور برآورد توابع عرضه و تقاضا از یک سیستم معادلات همزمان در دوره ۱۳۹۱-۱۳۸۰ استفاده شد. تابع تقاضای بخش صنعت و کشاورزی با استفاده از تابع تولید ترانسلوگ و تابع هزینه متناظر از بسط دوم سری تیلور و استخراج معادله سهم هزینه آب و لم شپارد برای نهاده آب، تصریح شد. قیمت حدی آب در بخش صنعت و کشاورزی۱۲۰۷۲/۲ و ۱۶۹۸/۴۴۲ ریال برآورد شد. تابع تقاضای مسکونی آب به‌صورت تابع غیرخطی با استفاده از حداکثر نمودن تابع مطلوبیت کلین- روبین مقید به بودجه خانوار و حداقل نیاز آب تابعی از دمای هوا، استخراج و سرانه حداقل معاش آب برای نیازهای شرب و مسکونی، عمومی، تولیدی و تجاری و فضای سبز ۱۰۱/۹۱ لیتر در روز برآورد شد. نتایج حاصل از مجموع برآوردها تحت دو بازی انسان- انسان و بازی انسان- طبیعت در سه حالت تحلیل شد. ابتدا نقطه تعادل مشابه دنیای واقعی بدون در نظر گرفتن تقاضای گردشگری و محیط‌زیست تحت بازی (HH) به‌صورت قیمت اسمی تعادلی ۱۹۳۲/۳۷ ریال و مقدار تعادلی ۲۶۹۶/۷۴ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. در یک بازی گسترده‌تر، با لحاظ تمایل نهایی به پرداخت آب و نیاز مصرفی در بخش گردشگری به‌صورت جمع افقی، نقطه تعادل بازار آب در بازی (HN) به‌صورت قیمت اسمی تعادلی ۱۹۷۳/۶۴ ریال و مقدار تعادلی ۲۷۴۳/۵۸ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. در نهایت در حالت سوم در بازار آب، با لحاظ تمایل نهایی به پرداخت آب و نیاز مصرفی در بخش گردشگری و تمایل به پرداخت و نیاز مصرفی در بخش زیست‌محیطی به‌صورت جمع افقی نقطه تعادل بازار آب در بازی بین انسان و طبیعت به‌صورت قیمت اسمی تعادلی ۲۰۰۴/۷۱۵ ریال و مقدار تعادلی ۲۷۷۷/۸۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد.

کلیدواژه‌ها: عرضه بلندمدت اقتصادی آب، تقاضای کلی آب، نظریه بازی‌ها، تقاضای زیست‌محیطی و گردشگری آب

طبقه‌بندی JEL: L95 ,Q25 ,C71 ,Q11 ,Q21 ,Q56

۱. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه آیت ا... بروجردی (ره) (*نویسنده مسئول) **Email:** parvizjalili@abru.ac.ir
۲. استاد گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان **Email:** rahmankh44@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه با کاهش ریزش‌های جوی و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و خشک شدن آب‌های سطحی رقابت بر سر استفاده از منابع آب شدیدتر و تخصیص بهینه آب بین متقاضیان متنوع بسیار پیچیده شده است. خاورمیانه با داشتن بیش از ۵ درصد جمعیت جهان، فقط یک درصد از آب‌های جاری دنیا را دارد (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). این امر تقابل آب و اهمیت تخصیص بهینه آب در این منطقه جغرافیایی را تشدید خواهد نمود. مسئله کم‌آبی و تخصیص بهینه آن در جمهوری اسلامی ایران و مخصوصاً در فلات مرکزی ایران بسیار شدیدتر و پیچیده‌تر است. میانگین بارش سالانه در ایران با یک توزیع غیریکنواخت گسترده، ۲۵۰ میلی‌متر است که یک‌سوم میانگین جهانی است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲: ۲). در ایران سالانه بیش از ۸۰ میلیارد مترمکعب آب از منابع آب زیرزمینی به‌صورت ۱۳۵۷۶۰ چشمه، ۳۷۲۴۰ رشته قنات و ۶۴۰۹۰۰ حلقه چاه استخراج می‌گردد. متوسط ریزش‌های جوی سالانه در سطح کشور ۴۱۱ میلیارد مترمکعب است که تنها ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آن (معادل ۳۱/۶ درصد) جزء منابع تجدید پذیر است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). در تخصیص کنونی آب در ایران ترجیحات دو طرف عرضه و تقاضای به‌درستی آشکار نمی‌گردد که این امر منجر به تخصیص‌های ناپایدار در ارتباط با این منبع نسبتاً کمیاب شده است. راه‌حلی که علم اقتصاد پیشنهاد می‌نماید اصلاح فرایند عرضه و تقاضا و تخصیص بهینه آب با استفاده از ابزارهای نوین نظیر نظریه بازی‌ها است. یکی از اصول بسیار مهم در مورد منابع آبی که در بیشتر کشورها به مرحله اجرا گذارده شده است، استفاده از مکانیسم بازار و نظریه بازی‌ها به‌منظور تخصیص منابع آبی است. برای نیل به هدف فوق نیاز به در نظر گرفتن آب به‌عنوان یک کالای اقتصادی و استخراج عرضه و تقاضای کل آب است.

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی سیستم عرضه و تقاضای آب تحت سناریوهای مختلف با بازیگران مختلف بازار آب است. در این پژوهش برای اولین مرتبه در ایران هر پنج بخش تقاضای آب در یک‌طرف بازار و عرضه بلندمدت اقتصادی آب در طرف دیگر بازار تحت سناریوهای مختلف مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

ساختار این مقاله به این شکل است که بخش دوم به پیشینه پژوهش، بخش سوم به مبانی نظری و بخش چهارم به تجزیه‌وتحلیل اختصاص دارد. در نهایت نتیجه‌گیری در بخش پنجم ارائه می‌گردد.

۲. ادبیات نظری و پیشینه پژوهش

نخستین کاربرد تئوری بازی‌ها در زمینه منابع آب مربوط به راجرز (۱۹۶۹) می‌باشد. در این مطالعه با کاربرد تئوری بازی‌ها مشکل موجود بر سر رودخانه‌های گنگ و براهماپوترا که بین کشورهای پاکستان و هندوستان مشترک هستند، مدل‌سازی شد و تخصیص‌های مختلف آب در حالت همکاری بین دو

کشور مدنظر قرار گرفت و نشان داده شد هر دو کشور سود بالایی را از طریق همکاری به دست خواهند آورد. نکاس و همکاران[۱] (۲۰۰۲) تعادل ناش، راه‌حل چانه‌زنی ناش و راه‌حل کلی همکارانه را به‌منظور کسب نرخ پمپاژ و استحصال رضایت‌بخش بین ال‌پاسو، تگزاس و جاوورز، محاسبه نمودند. سوپالا و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از تئوری بازی‌ها به تخصیص بهینه آب بین کلرادو، نبرسکا و وایومینگ پرداختند. این بازی مبتنی بر قید کمبود آب برای تقاضاهای مختلف بود و از حراج پی‌درپی با تکرار پیشنهادها به حل مسئله تخصیص پرداختند. هوگو[۲] (۲۰۰۴) به ارائه یک بازی مشارکتی با استفاده از یک مسئله برنامه‌ریزی درجه دو برای استخراج منابع آب زیرزمینی پرداخت. تعادل مشارکتی زمانی رخ می‌دهد که مصرف‌کنندگان منابع زیرزمینی با توجه به قید سطح معین منابع زیرزمینی و در نظر گرفتن اثرات متقابل استخراج که به آنها اجازه کسب منفعت مشخص از منابع زیرزمینی را می‌دهد. مبتنی بر تناقض عمومی کردن هزینه‌ها- خصوصی کردن منافع، یک تمایل طبیعی به سمت بازی‌های غیر مشارکتی و استخراج ناپایدار حوضه‌های آب زیرزمینی وجود دارد. لوایسیگا[۳] (۲۰۰۴) استخراج آب زیرزمینی را با در نظر گرفتن دو حالت همکاری و عدم همکاری مابین دو مصرف‌کننده در نظر گرفت. در این مقاله نشان داده شد که در حالت همکاری علاوه بر افزایش سود بلندمدت دو مصرف‌کننده، زمان قابل‌برداشت بودن چاه نیز افزایش خواهد یافت. کارول و همکاران[۴] (۲۰۰۵) یک مدل چانه‌زنی غیرهمکارانه به‌منظور حل مسئله تخصیص آب ارائه دادند و از سیستم پشتیبانی مذاکرات[۵] (NSS) به‌منظور حمایت از فرآیند مذاکرات به‌وسیله تعیین استراتژی‌هایی که ممکن است یک همکاری با وجود یک برآیند را پایدار نمایند و در نظر گرفتن رفتار استراتژیک و امکان سیاسی و اجتماعی عملیاتی شدن برنامه تخصیص پیشنهادشده، استفاده نمودند. وانگ[۶] (۲۰۰۷) به تخصیص منابع آبی بین مصرف-کنندگان رقیب با استفاده از بازی‌های مشارکتی (CWAM[۷]) می‌پردازد و نشان داد که حل تخصیص آب با استفاده از بازی‌های مشارکتی دارای دو مرحله است: اول اینکه حقوق مالکیت اولیه آب به‌صورت قانونی یا توافقی بین مصرف‌کنندگان توزیع‌شده است و سپس تخصیص بهینه با انتقال بین بخش‌های دارای حق مالکیت آب منجر به افزایش کارایی می‌گردد. این سود خالص صاحبان آب از طریق یک ائتلاف در بازی مشارکتی ایجاد می‌شود. شوکی‌وی[۸] (۲۰۰۸) با استفاده از تعمیم بازی معمای زندانی به مالکیت آب در یک رودخانه در چین نشان داد که در بازی‌های غیر مشارکتی بخش‌های کشاورزی،

1. Nakas and *et al.*
2. Hugo A. Loa´iciga
3. Loaiciaga, H.
4. Carraro and *et al.*
5. Negotiation Support Systems (NSS)
6. Wang
7. Cooperative Water Allocation Model (CWAM)
8. Shoukewei

صنعت و شرب آب مورد نیاز خود را به دست می‌آورند و بخش زیست‌محیطی شدیداً مورد آسیب قرار می‌گیرد؛ اما در بازی‌های مشارکتی در حالت بهینه سه بخش فوق به ترتیب صنعت، شرب و کشاورزی با کسری آب مواجه هستند و بخش محیط‌زیست سهم آب بیشتری را نسبت به قبل دریافت می‌نماید. همچنین نتایج حاصل از بازی نشان داد که بازی‌های غیر مشارکتی قادر به کاهش آلودگی آب و افزایش کیفیت آب نیست. در مقابل بازی‌های مشارکتی قادر به افزایش کیفیت آب و کنترل آلودگی آب است اما هزینه‌های فراوانی به بازیگران تحمیل می‌نماید.

مدنی (۲۰۱۰) به ارزیابی توانایی تئوری بازی‌ها در مدیریت منابع آبی و حل مسائل تقابل از طریق بازی‌های غیر مشارکتی پرداخت و نشان داد که نتایج حاصل از تئوری بازی‌ها متفاوت از روش‌های بهینه‌یابی خواهد بود؛ زیرا روش‌های بهینه‌یابی فرض می‌نمایند که همه بخش‌ها تمایل برای حرکت به سمت بهترین سیستم با نتایج بهینه دارند. سیالو[1] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از رویکرد حداکثرسازی پی‌درپی رفاه و یک بازی مشارکتی به تخصیص آب رودخانه سنکو در افریقای جنوبی بین تقاضاهای شهری، صنعتی و کشاورزی پرداختند. در تئوری بازی مشارکتی از ارزش هسته شپلی[2] به‌منظور ارزیابی ساختار انگیزه در حالت‌های مختلف مشارکت در حوضه آبریز پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که یک ائتلاف، مجموع رفاه را تا ۵ درصد نسبت به حالتی که تمام متقاضیان آب عملکرد انفرادی داشته باشند، افزایش می‌دهد.

1. Siehlow, M. and *et al.*
2. Core Shapley value and nucleolus

جدول ۲: تخصیص آب بر اساس تئوری بازی‌ها

نویسندگان	مکان مناقشه آب	روش حل مسئله	نوع تحلیل	نوع بازی
Rogers (۱۹۶۹)	هند و پاکستان	انتخاب استراتژی‌های ترکیبی و غالب	کمی	غیر مشارکتی
Dufournaud (۱۹۸۲)	کانادا و امریکا –لائوس، تایلند و ویتنام	تئوری ابربازی	کمی	غیر مشارکتی
Becker and Easter (۱۹۹۵)	امریکا و کانادا	انتخاب استراتژی‌های غالب	کمی	غیر مشارکتی
Fisvold and (۲۰۰۰) Caswell	امریکا و مکزیک	مفاهیم راه‌حل مشارکتی	کمی	مشارکتی
Kilgour and Dinar (۲۰۰۱)	بنگلادش و هند	مفاهیم راه‌حل مشارکتی	کمی	مشارکتی
Fernandez (۲۰۰۲ ، ۲۰۰۹)	امریکا و مکزیک	مدل بازی تفاضلی	بحث و تحلیل	غیر مشارکتی و مشارکتی
Supalla and et al. (۲۰۰۲)	امریکا (کلرادو، نبرسکا و وایومینگ)	قیمت دوم حراج پی‌درپی[1]	کمی	غیر مشارکتی
Kucukmehmetoglu and Guldmen (۲۰۰۴)	عراق، سوریه و ترکیه	مفاهیم راه‌حل مشارکتی	کمی	مشارکتی
Wu and (۲۰۰۶) Whittington	کنگو، مصر، اریتره، اتیوپی، روآندا، کنیا، تانزانیا، سودان و اوگاندا	مفاهیم راه‌حل مشارکتی	کمی	مشارکتی
Madani and Hipel (۲۰۰۷)	اسرائیل، اردن، لبنان، فلسطین و سوریه	راه‌حل غیر مشارکتی، مدل گراف و حل تقابل	کیفی	غیر مشارکتی
sheikhmohammady and (a,b,c۲۰۰۸ , ۲۰۱۰) Madani	آذربایجان، ایران، قزاقستان، روسیه و ترکمنستان، ایران و افغانستان	چانه‌زنی اندوخته، قوانین انتخاب عمومی، رویکرد ورشکستگی، مدل توصیفی	کمی و کیفی	غیر مشارکتی و مشارکتی
Elimam et al.(۲۰۰۸)	کنیا، روآندا، سودان، تانزانیا و اوگاندا	راه‌حل غیر مشارکتی، مدل گراف و حل تقابل	کمی	غیر مشارکتی
Abrishamchi, Danesh-Yazdi, and Tajrishy,(۲۰۱۱).	حوضه آبریز ارومیه	مرحله اول تخصیص اولیه آب و مرحله دوم تخصیص مجدد آب و منافع خالص می‌باشد.	کمی	مشارکتی

۳. مبانی نظری

علاقه به تجزیه‌وتحلیل منابع آبی با استفاده از تئوری بازی‌ها در دهه گذشته افزایش چشمگیری داشته است (داینر، ۲۰۰۴). از ویژگی‌های مهم تئوری بازی‌ها نسبت به روش‌های بهینه‌یابی و شبیه‌سازی سنتی مقداری، توانایی تئوری بازی‌ها در شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف تقابل تقاضاکنندگان، متحدالشکل کردن ویژگی‌های متنوع مسئله و پیش‌بینی نتایج و تحلیل در عدم حضور اطلاعات مقداری پیامدهای

1. Second price sequential auction

بازی است. اغلب بازی‌های غیر مشارکتی می‌تواند تقابل مبتنی بر پیامدهای کیفی را حل نماید (بازیگران چگونه می‌توانند پیامدهای مختلف را رتبه یا درجه‌بندی نمایند). این توانایی‌ها اجازه می‌دهد که جنبه‌های اجتماعی- اقتصادی تقابل و مسئله برنامه‌ریزی، طراحی و سیاست‌گذاری را زمانی که اطلاعات کمی در دسترس نیست مدیریت نمود. تقاضای آب بر حسب کاربردهای وسیع آن، مانند استفاده آب شرب؛ کشاورزی؛ صنعت و معدن؛ گردشگری و محیطزیست، متمایز شده است. در سمت مقابل بازار یعنی عرضه، آب به شکل‌های مختلف در طبیعت وجود دارد و بشر نیز به قوت تکنولوژی آب‌های با کیفیت مختلفی را عرضه می‌دارد. آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب انبارها، سیل آب‌ها، شیرین کردن آب (نمک‌زدایی)، تصفیه آب و آب‌های برگشتی که برحسب مورد برای بخش‌های مختلف عرضه می‌گردد (داینار و همکاران، ۱۹۹۷: ۳). عرضه آب یا به‌صورت عرضه آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی یا به‌صورت عرضه فیزیکی و عرضه اقتصادی قابل‌تقسیم است. عرضه فیزیکی در طول زمان به سمت کشش صفر حرکت می‌نماید و همین امر منجر به شکل‌گیری عرضه اقتصادی آب می‌گردد. عرضه اقتصادی آب، عرضه‌ای است که تابعی از تکنولوژی و نهاده‌های تولید آب است (صادقی، ۲۰۱۰).

آب شرب شهری یک کالای نهایی است که به چهار دسته خانگی، مصارف عمومی (بیمارستان‌ها، مساجد و مدارس)، تولیدی و تجاری و فضای سبز شهری قابل‌تقسیم است. عوامل مؤثر بر مقدار تقاضای آب شرب شهری به شرح زیر است (آربوس[1]،۲۰۰۳): قیمت آب، درآمد خانوار یا ارزش واحد مسکونی یا سایر دارایی‌ها مانند خودرو (کیفیت سبک زندگی)، عوامل جوی و فصلی (درجه حرارت، میزان تبخیر، شدت تابش آفتاب، رطوبت هوا، سرعت باد، تفاضل میزان ریزش باران از میزان تبخیر)، جمعیت (بعُد خانوار، ترکیب سنی و جنسی)، زیربنای ساختمان (تعداد شیرهای نصب‌شده در ساختمان شامل لباسشویی و ظرف‌شویی)، ماهیت اسکان (دائمی و ییلاقی)، نوع ساختمان (ویلایی و آپارتمانی)، عوامل فرهنگی (سطح تحصیلات اعضای خانوار، سرمایه اجتماعی)، شاخص قیمت (برای تعیین کشش متقاطع قیمتی آب) و دوره دریافت صورتحساب. آب مهم‌ترین نهاده تولید کشاورزی است زیرا از حدود ۳۷ میلیون هکتار اراضی دارای توان تولید در کشور، به دلیل محدودیت منابع آب، فقط ۷/۸ میلیون هکتار به‌صورت آبی کشت می‌شود (شاهنوشی و همکاران، ۱۳۹۰) در حالی کل مصرف آب در کشور بالغ بر ۹۳ میلیارد مترمکعب است. بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب تجدیدشونده است. تقریباً ۹۲/۲ درصد آب مصرفی، مربوط به این بخش است (شفیعی، ۱۳۹۰). تا سال ۱۳۸۵ اراضی تحت کشاورزی در حوضه آبریز زاینده‌رود ۲۵۰ هزار هکتار بود که تحت ۸ شبکه آبیاری قرار داشت. مصرف آب در بخش کشاورزی در این حوضه تقریباً ۴ هزار میلیون مترمکعب است که در سال‌ها اخیر به ۲۵۰۰ میلیون مترمکعب کاهش‌یافته است (یزدی و همکاران، ۱۳۹۳). عوامل مؤثر بر تقاضای آب کشاورزی به‌صورت

1. Arbués

زیر است (خوش‌اخلاق، ۱۹۷۷): قیمت آب (هزینه مبادله)، ویژگی‌های زمین (قیمت زمین، نسبت مالکیت آب به زمین)، قیمت محصول، قیمت نهاده‌های مکمل، تکنولوژی و بهره‌وری تولید، سهم نهاده آب در ستاده و الگوی کشت. همچنین عوامل مؤثر بر تقاضای آب صنعت و معدن شامل: قیمت نسبی آب نسبت به سایر نهاده‌ها، تولید بخش صنعت، تکنولوژی، سهم نهاده آب در ستاده، نهاده‌های جایگزین آب، آب‌بر بودن محصول نهایی. تقاضای آب در بخش گردشگری آن مقدار آب مورد نیاز به‌منظور حمایت از فعالیت‌های گردشگری و تفریحی مبتنی بر آب (آب محور) است (مؤسسه اقتصاد هاروی[1]، ۲۰۱۲: ۱۰). عوامل مؤثر بر تقاضای آب در بخش گردشگری شامل: تعداد گردشگران، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی گردشگران (تحصیلات، جنسیت، تأهل، بُعد خانوار، سن، بومی بودن)، درآمد ملی سرانه یا مخارج خانوار، تنوع جنگلی و زیست‌محیطی تفرجگاه، تجهیزات، امکانات و تسهیلات مبتنی بر آب، موجود در تفرجگاه، مساحت تفرجگاه (طول و عرض)، بهداشت تفرجگاه و کیفیت و بهداشت آب تفرجگاه و تمایل به پرداخت مردم یا هزینه ورود به تفرجگاه (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳).

به دلیل کمبود آب در بیشتر مناطق ایران و به‌طور خاص در زاینده‌رود تولیدات کالاهای کشاورزی و کالاهای صنعتی در این منطقه باید با ایجاد اثرات منفی زیست‌محیطی متوازن گردد. این امر با در نظر گرفتن تابع تقاضای زیست‌محیطی در کنار سایر توابع تقاضا برای آب تا حدودی امکان‌پذیر است. عوامل مؤثر بر تقاضای آب در بخش محیط‌زیست شامل: ویژگی‌های جمعیت‌شناختی افرادی که ارتباط مستقیم با سایت زیست‌محیطی مورد نظر دارند (تحصیلات، جنسیت، تأهل، بُعد خانوار، سن، بومی بودن)، درآمد ملی سرانه یا مخارج خانوار به‌عنوان شاخصی از رفاه اجتماعی، تنوع و پوشش گیاهی و جنگلی، وجود حیوانات، آبزیان و پرندگان در سایت زیست‌محیطی مورد نظر، مساحت سایت زیست‌محیطی، عوامل جوی، حجم ورود پساب‌ها و فاضلاب به سایت زیست‌محیطی موردنظر و تمایل به پرداخت مردم برای حفظ محیط‌زیست و سایت زیست‌محیطی مورد نظر (جلیلی، ۱۳۹۳).

تولید کالای عمومی مانند تولید هر کالای دیگر دارای هزینه است. هزینه عوامل تولید و تکنولوژی تولید، هزینه تولید و تابع عرضه کالای عمومی را تعیین می‌نماید؛ اما طرف تقاضا به آن‌گونه که بازار برای کالاهای خصوصی ایجاد کرده است، در مورد کالای عمومی وجود ندارد. تقاضا برای یک کالا در واقع منعکس‌کننده تمایل و توانایی پرداخت برای یک کالا است، افراد حاضرند برای به دست آوردن مطلوبیت حاصل از مصرف کالا، در رقابت با یکدیگر، بهای آن را بپردازند؛ اما در مورد کالای عمومی افراد تمایلی به پرداخت بهایی برای عرضه آن ندارند، چرا که از یک‌طرف کالای عمومی، استثناپذیر نیست و نمی‌توان افراد را از بهره بردن از آن منع کرد و دوم اینکه کالای عمومی رقابت‌پذیر نیست و افراد برای مصرف آن ناچار به رقابت با دیگر مصرف‌کنندگان نیستند. آب در بخش گردشگری و

1. Harvey Economic

محیط‌زیست این‌گونه است. در این دو بخش، قیمت بازاری که توسط بازار تعیین شود، وجود ندارد (شکست بازار) (راث[1]، ۲۰۱۲). تابع عرضه آب در این دو بخش با توجه به تابع هزینه مشخص است؛ اما تابع تقاضا به‌وسیله بازار مشخص نمی‌گردد. تابع تقاضا در بخش گردشگری و محیط‌زیست برای آب که دچار شکست بازار است با استفاده از برآورد نیاز زیست‌محیطی و روش آزمون انتخاب با داده‌های حاصل از پرسشنامه برآورد می‌گردد (شرزه‌ای و جلیلی، ۱۳۹۲). در حوضه آبریز زاینده‌رود آب در بخش گردشگری و محیط‌زیست هم غیرمصرفی (جریان آب در کف رودخانه) و هم مصرفی (مصرف آب توسط تالاب و بستر رودخانه) است. همچنین مدل برآورد تمایل به پرداخت آب در بخش گردشگری، مسئله برآورد توابع تقاضای کلی و عرضه آب در یک سیستم معادلات همزمان را با مشکل مواجه می‌نماید؛ زیرا نوع متغیرهای وابسته و مستقل و نوع مدل اقتصادسنجی در بخش‌های شرب شهری، صنعت و معدن، کشاورزی و عرضه اقتصادی با بخش‌های محیط‌زیست و گردشگری متفاوت است و نمی‌توان آنها را به‌صورت همزمان برآورد نمود. به همین دلیل در دو بخش گردشگری و محیط‌زیست ارزش آب را با استفاده از مدل‌های غیرخطی با متغیر وابسته موهومی برآورد می‌گردد و به ارزش آب برآورده شده در سه بخش مسکونی، کشاورزی و صنعت و معدن اضافه می‌گردد.

عوامل مؤثر بر تابع عرضه اقتصادی آب نیز شامل: قیمت آب، دستمزد نیروی کار، اجاره سرمایه، قیمت انرژی، تکنولوژی (مانند استفاده از تکنولوژی هسته‌ای در کشف منابع آب زیرزمینی، هدایت و جمع‌آوری آب‌های سطحی، آب باران و سیل)، مالیات و عوارض، هزینه‌های انتقال و طول شبکه انتقال، متغیر دامی برای تجزیه بخش خصوصی و دولتی، حجم سدهای تنظیمی و ذخیره‌ای، امکانات و تجهیزات به‌منظور هدایت و جمع‌آوری آب‌های برگشتی و سیستم دفع فاضلاب و پساب‌های صنعتی و کشاورزی.

٤. تجزیه‌وتحلیل

٤-١. مدل اقتصادسنجی تقاضای آب در بخش شهری

در این مطالعه تابع تقاضای آب شرب شهری با استفاده از حداکثر نمودن تابع مطلوبیت استون- گیری (کلین- روبین) با توجه به قید بودجه خانوار و این نکته که مقدار حداقل آب مورد نیاز تابعی از متغیر عامل جوی است که منجر به برآورد یک تابع استون- گیری غیرخطی خواهد شد، استخراج می‌گردد:

$$\begin{aligned} &MAX \quad U^* = \beta_1 \log(X_1 - \gamma_1) + \beta_2 \log(X_2 - \gamma_2) \\ &\text{St: } M = P_1 \mathrm{X}_1 + P_2 \mathrm{X}_2 \ , \ \mathrm{X}_i > \gamma_i \ (i = 1,2), \ \beta_1 + \beta_2 = 1, \\ &0 \le \beta_1 \le 1, \qquad 0 \le \beta_2 \le 1 \end{aligned} \tag{۱}$$

1. Roth

در تابع فوق γ_i حداقل مورد نیاز از کالای iام جهت ادامه زندگی (مصرف حیاتی) است. M میزان درآمد مصرف‌کننده، β_i سهم هر کالا در سبد مصرفی فرد است. با توجه به اینکه آب یک کالای ضروری (البته یک سطح مشخصی از آب برای فرد ضروری است) و به‌عنوان یک حق برای افراد جامعه باید تلقی شود، کسب مطلوبیت پس از تأمین مقدار نیاز اولیه اتفاق می‌افتد یعنی سبد (γ_1, γ_2) که تابع استون گری این قابلیت را دارد که حداقل مورد نیاز را در نظر بگیرد. در این حالت مصرف‌کننده با سبدی از دو کالا شامل آب (X_1) و سایر کالاها و خدمات (X_2) مواجه است. ی با قیمت‌های p_1 (قیمت آب) و p_2 (قیمت سایر کالاها و خدمات) مطلوبیت خود را با توجه به محدودیت بودجه‌اش حداکثر می‌کند. با حل رابطه (۳-۱) برای تقاضای آب سرانه در بخش شهری خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} X_1 &= \beta_2\gamma_1 + \beta_1\left(\frac{M}{P_1}\right) - \beta_1\gamma_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \\ &= \gamma_1(1-\beta_1) + \beta_1\left(\frac{M}{P_1}\right) - \beta_1\gamma_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \\ &= \pi_0 + \pi_1\left(\frac{M}{P_1}\right) + \pi_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \end{aligned} \qquad (۲)$$

از جمله ویژگی‌های تابع استون-گری این است که می‌توان γ_1 را تابعی از متغیرهای جوی و مجازی یا هر متغیری که روی حداقل نیاز آب (جز قیمت) مؤثر است، در نظر گرفت (خوش‌اخلاق و دیگران، ۱۳۹۲). اگر مقدار حداقل آب مورد نیاز تابعی از متغیر عامل جوی در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

$$\gamma_1 = \bar{\gamma}_1 + k_1 T \qquad (۳)$$

که در آن γ_1 حداقل آب مورد نیاز بر اساس شرایط جوی و T متغیر جوی است. در مورد علامت k_1 نمی‌توان اظهارنظر کرد؛ چون برحسب نوع متغیرهای جوی می‌تواند مثبت یا منفی باشد. با قرار دادن این مقدار در (۲) معادله زیر حاصل می‌شود:

$$X_1 = \gamma_1(1-\beta_1) + \beta_1\left(\frac{M}{P_1}\right) - \beta_1\gamma_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = (\bar{\gamma}_1 + k_1 T)(1-\beta_1) + \beta_1\left(\frac{M}{P_1}\right) - \beta_1\gamma_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$
$$= \bar{\gamma}_1(1-\beta_1) + \beta_1\left(\frac{M}{P_1}\right) - \beta_1\gamma_2\left(\frac{P_2}{P_1}\right) + k_1(1-\beta_1)T \quad (۴)$$
$$= \pi_{00} + \pi_{11}\left(\frac{M}{P_1}\right) + \pi_{22}\left(\frac{P_2}{P_1}\right) + \pi_{33}(T), \quad \pi_{33} = k_1(1-\beta_1)$$

با تخمین رابطه (۴) و دانستن $\pi_{33} = k_1(1-\beta_1)$ ، می‌توان مقدار k_1 را تخمین زد (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲):

$$q_w^{DR} = \pi_{00} + \pi_{11}\left(\frac{M_R}{P_{1,R}}\right) + \pi_{22}\left(\frac{P_{2,R}}{P_{1,R}}\right) + \pi_{33}(T_R) \quad (۵)$$

نهایتاً تابع تقاضای بخش مسکونی با توجه به مطالعات مختلف، مدل پیشنهادی (۵) و متغیرهای تأثیرگذار به‌صورت زیر تصریح می‌گردد:

$$q_{tw}^{DR} = \alpha_0 + \alpha_1(M_t/\ P_t^{wR}) + \alpha_2(P_t/\ P_t^{wR}) + \alpha_3 T_t + U_{tR} \quad (۶)$$

با توجه به اینکه تابع تصریح‌شده فوق با توجه به تابع مطلوبیت فرد و قید بودجه فرد است باید تابع تقاضای تصریح‌شده را برای کل جمعیت در حوضه آبریز زاینده‌رود تجمیع نمود. به این منظور دو طرف معادله (۳-۵) در جمعیت POP حوضه آبریز ضرب می‌شود.

$$Q_{tw}^{DR} = \gamma_0 + \alpha_1(I_t/\ P_t^{wR}) + \alpha_2(PPOP_t/\ P_t^{wR}) + \alpha_3 TPOP_t + U_{tRe} \quad (۷)$$

دمای هوای حوضه آبریز ضرب در جمعیت $TPOP_t$ ، شاخص قیمت در استان اصفهان ضرب در جمعیت $PPOP_t$، مقدار تقاضای یک فرد برای آب q_{tw}^{DR} ضرب در جمعیت تقاضای کل حوضه آبریز برای آب را نشان می‌دهد Q_{tw}^{DR}، درآمد یک فرد M_t ضرب در جمعیت نیز درآمد کل حوضه آبریز I_t را نشان می‌دهد.

۲-٤. تقاضای آب در بخش کشاورزی

مدل اقتصادی مورداستفاده به‌منظور استخراج تابع تقاضای آب به‌عنوان یک نهاده تولید در بخش کشاورزی، استفاده از تابع تولید ترانسلوگ و به دست آوردن تابع هزینه متناظر با این تابع تولید با استفاده از بسط دوم سری تیلور است.

$$Y = \alpha_0 \prod_{i=1}^{n} x_i^{\alpha_1} \cdot e^{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_{ij} \ln x_i \ln x_j} \quad (۸)$$

در بخش کشاورزی، کشاورز با انتخاب ترکیب خاصی از نهاده‌های تولید (X) روبرو است که هزینه تولید Y (مقدار ستانده) را حداقل کند، تابع هزینه به‌صورت زیر تعریف می‌شود (صادقی، ۲۰۱۰).

$$C(Y,P) = \min PX \quad st: F(X) = Y \quad (۹)$$

که در آن P بردار قیمت نهاده‌های تولید، X بردار مقدار نهاده‌های تولید، C هزینه کل تولید، F تابع تولید است. معادله سهم هزینه آب با مشتق‌گیری از تابع هزینه نسبت به قیمت آب و استفاده از لم شپارد برای نهاده آب به دست می‌آید (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲). برای به دست آوردن تابع هزینه متناظر با این تابع تولید از بسط دوم سری تیلور استفاده می‌شود. نهایتاً تابع هزینه به شکل زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \ln c = a_i + \sum_{i=1}^{n} a_i \ln P_i + a_Q \ln Q \\ + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_{ij} \ln P_i \ln P_j + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} b_{iQ} \ln P_i \ln Q + \frac{1}{2} b_{QQ} (\ln Q)^2 \end{aligned} \quad (۱۰)$$

معادلات سهم هزینه با استفاده از لم شپارد به شکل زیر به دست می‌آید (البته توجه نمایید که معادله تابع هزینه به‌صورت لگاریتمی است):

$$\begin{aligned} \frac{\partial lnc}{\partial \ln P_i} = \frac{\frac{\partial c}{c}}{\frac{\partial P_i}{P_i}} = \frac{\partial c}{\partial P_i} * \frac{P_i}{c} = x_i * \frac{P_i}{c} = \frac{x_i P_i}{c} = \frac{x_i P_i}{\sum x_i P_i} = S_i \\ = a_i + \sum_{j=1}^{n} b_{ij} \ln P_j + b_{iQ} \ln Q \end{aligned} \quad (۱۱)$$

با تعمیم معادله (۱۱) در بخش کشاورزی و لحاظ متغیرهای بخش کشاورزی مبتنی بر رابطه آن، معادله سهم هزینه‌ها استخراج خواهد شد.

$$\begin{aligned} S_i = a_i + b_{iw} \ln P_w + b_{il} \ln P_l + b_{ie} \ln P_e + b_{im} \ln P_m + b_{is} \ln P_s \\ + b_{io} \ln P_0 + b_{iQ} \ln Q \end{aligned} \quad (۱۲)$$

که در آن P_j قیمت در بخش کشاورزی است به‌طوری‌که نهاده‌های نیروی کار (l)، زمین (e)، ماشین‌آلات (m)، آب (w)، بذر (s)، سایر نهاده‌ها (o) و Q مقدار محصول می‌باشد. با فرض برون‌زا بودن سهم عوامل تولید (به غیر از آب) و با توجه به رابطه (۱۰) و جایگزینی رابطه (۱۱) در آن تابع تقاضای آب در بخش کشاورزی x_w^{ag} به شکل زیر تصریح می‌گردد:

$$\begin{aligned}
\frac{x_w P_w}{\sum x_i P_i} = \frac{x_w P_w}{C} = S_w \\
= a_i + b_{iw}\ln P_w + b_{il}\ln P_l + b_{ie}\ln P_e + b_{im}\ln P_m \\
+ b_{is}\ln P_s + b_{io}\ln P_0 + b_{iQ} \\
x_w^{ag} = \frac{c}{P_w}a_i + cb_{iw}\frac{\ln P_w}{P_w} + cb_{il}\frac{\ln P_l}{P_w} + cb_{ie}\frac{\ln P_e}{P_w} + cb_{im}\frac{\ln P_m}{P_w} \\
+ cb_{is}\frac{\ln P_s}{P_w} + cb_{io}\frac{\ln P_0}{P_w} + cb_{iQ}\frac{\ln Q}{P_w} \\
x_w^{ag} = \frac{\beta_w}{P_w} + \beta_{ww}\frac{\ln P_w}{P_w} + \beta_{wl}\frac{\ln P_l}{P_w} + \beta_{we}\frac{\ln P_e}{P_w} + \beta_{wm}\frac{\ln P_m}{P_w} + \beta_{ws}\frac{\ln P_s}{P_w} \\
+ \beta_{wo}\frac{\ln P_0}{P_w} + \beta_{wQ}\frac{\ln Q}{P_w}
\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

نهایتاً تابع تقاضای بخش کشاورزی به‌صورت زیر تصریح می‌گردد:

$$\begin{aligned}
Q_{tw}^{DAg} = {}^{\alpha_5}/_{P_{tWAg}} + \alpha_6 PWW_{tAg} + \alpha_7 PLAW_{tAg} + \alpha_8 PEAW_{tAg} \\
+ \alpha_9 PMAW_{tAg} + \alpha_{10} PSAW_{tAg} + \alpha_{11} POAW_{tAg} \\
+ \alpha_{12} PPAW_{tAg} + U_{tAg}
\end{aligned} \qquad (۱۴)$$

با توجه به اینکه تئوری استخراج تابع تقاضا از تابع تولید بنگاه برای یک بنگاه تصریح‌شده است باید تابع تقاضای فوق برای کل بخش کشاورزی در حوضه آبریز تعمیم داده شود تا تابع تقاضای کل بخش کشاورزی در حوضه آبریز زاینده‌رود استخراج گردد. به این منظور دو طرف تابع تقاضای بنگاه را در تعداد بنگاه‌های کشاورزی ضرب می‌گردد (جمع افقی) تا تابع تقاضای کل بخش کشاورزی در حوضه آبریز زاینده‌رود به دست آید.

۳-٤. تقاضا در بخش صنعت و معدن

مدل اقتصادی مورد استفاده در بخش صنعت و معدن در به دست آوردن کشش قیمتی آب، استفاده از تابع تولید ترانسلوگ و به دست آوردن تابع هزینه متناظر با این تابع تولید با استفاده از بسط دوم سری تیلور است. مشابه روش تابع تقاضای آب برای بخش کشاورزی معادله سهم هزینه آب با مشتق‌گیری

از تابع هزینه نسبت به قیمت آب و استفاده از لم شپارد برای نهاده آب به دست می‌آید (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲). در بخش صنعت در به دست آوردن تابع هزینه از قیمت نهاده‌های تولید صنعتی (همانند قیمت انرژی، قیمت نیروی کار صنعتی و قیمت سرمایه) استفاده می‌شود.

$$Y = \alpha_0 \prod_{i=1}^{n} x_i^{\alpha_1} e^{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_{ij} lnx_i lnx_j} \qquad (۱۵)$$

X نهاده و Y تولید است، مشابه بخش کشاورزی خواهیم داشت (رنزتی، ۱۹۹۲):

$$\begin{aligned} x_w^{In} &= \frac{c}{P_w}a_i + cb_{iw}\frac{\ln P_w}{P_w} + cb_{iK}\frac{\ln P_K}{P_w} + cb_{iE}\frac{\ln P_E}{P_w} + cb_{iL}\frac{\ln P_L}{P_w} \\ &\quad + cb_{iQ}\frac{\ln Q}{P_w} \\ x_w^{In} &= \frac{\beta_w}{P_w} + \beta_{ww}\frac{\ln P_w}{P_w} + \beta_{wK}\frac{\ln P_K}{P_w} + \beta_{wE}\frac{\ln P_E}{P_w} + \beta_{wL}\frac{\ln P_L}{P_w} \\ &\quad + \beta_{wQ}\frac{\ln Q}{P_w} \end{aligned} \qquad (۱۶)$$

که در آن P_w قیمت آب، P_l قیمت نیروی کار، P_k قیمت سرمایه، P_e قیمت انرژی، Q ارزش تولید در بخش صنعت است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس داده‌های در دسترس یک مدل قابل برآورد در بخش صنعت و معدن به‌صورت زیر تصریح می‌گردد.

$$\begin{aligned} Q_{tw}^{DIn} &= {}^{\alpha_{13}}/_{P_{tWIn}} + \alpha_{14}PWW_{tIn} + \alpha_{15}PKSW_{tIn} + \alpha_{16}PESW_{tIn} \\ &\quad + \alpha_{17}PLSW_{tIn} + \alpha_{18}PPSW_{tIn} + U_{tIn} \end{aligned} \qquad (۱۷)$$

با توجه به اینکه تئوری استخراج تابع تقاضا از تابع تولید بنگاه برای یک بنگاه تصریح‌شده است باید تابع تقاضای فوق برای کل بخش صنعت و معدن در حوضه آبریز تعمیم داده شود تا تابع تقاضای کل بخش صنعت و معدن در حوضه آبریز زاینده‌رود استخراج گردد. به این منظور دو طرف تابع تقاضای بنگاه را در تعداد بنگاه‌های فعال در بخش صنعت و معدن ضرب می‌گردد (جمع افقی) تا تابع تقاضای کل بخش صنعت و معدن در حوضه آبریز زاینده‌رود به دست آید.

٤-٤. تابع عرضه بلندمدت و اقتصادی آب

تابع هزینه درجه ۳ برای بخش تولید آب به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود (نور علیزاده، ۱۳۷۸).

$$TC = \lambda_0 + \lambda_1 Q + \lambda_2 Q^2 + \lambda_3 Q^3 + \lambda_4 PL + \lambda_5 PK + \lambda_6 RS + \lambda_7 PE + U_6 \quad (۱۸)$$

که در آن TC هزینه عرضه آب، Q^s مقدار عرضه آب، PL قیمت نیروی کار، PK قیمت سرمایه، PE قیمت انرژی، RS مقدار بارندگی، P_W قیمت آب در بخش عرضه است. بر طبق تئوری‌های اقتصادی در بازار رقابتی قیمت برابر هزینه نهایی است و همچنین آن قسمت از منحنی هزینه نهایی بلندمدت که بالای نقطه حداقل هزینه متوسط بلندمدت قرار دارد منحنی عرضه است. با توجه به نکات ذکرشده و مشتق‌گیری از تابع هزینه نسبت به مقدار آب تابع هزینه نهایی به دست می‌آید. اگر تابع هزینه نهایی به‌صورت معکوس نوشته شود، متغیر وابسته تابع، مقدار عرضه خواهد بود که از قیمت آب (هزینه نهایی)، قیمت عوامل، بارندگی و غیره تأثیر می‌پذیرد. نهایتاً تابع عرضه به شکل زیر معرفی می‌شود (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲).

$$Q_{tw}^s = \lambda_0 + \lambda_1 PW_t + \lambda_2 PL_t + \lambda_3 PK_t + \lambda_4 RS_t + \lambda_5 PE + U_s \quad (۱۹)$$

به‌منظور برآورد تابع تقاضای تجمیعی و عرضه بلندمدت آب ابتدا تابع تقاضای هر یک از بخش‌ها و تابع عرضه آب در یک سیستم معادلات همزمان در دوره۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ برآورد و سپس اقدام به جمعی‌سازی توابع تقاضای آب می‌گردد. به دلیل متفاوت بودن متغیر وابسته در برآورد ارزش آب یا تمایل نهایی به پرداخت برای آب در بخش گردشگری و محیطزیست امکان برآورد سیستمی تقاضای زیست‌محیطی و گردشگری در سیستم ذیل وجود ندارد. زیرا متغیر وابسته در بخش گردشگری و محیطزیست گسسته موهومی و چندجمله‌ای است. به این منظور تحت سناریوهای مختلف با بازیگران مختلف سیستم معادلات همزمان با تقاضای زیست‌محیطی و گردشگری آب جمع عمودی و افقی می‌گردند و نتایج تحت هر سناریو تحلیل خواهد شد.

$$\begin{gathered}
Q_{w1}^D = \alpha_0 + \alpha_1 (I/P_{w1}) + \alpha_2 (P/P_{w1}) + \alpha_3 T + U_1 \\
Q_{w2}^D = \alpha_5 + \alpha_6 P_{W2} + \alpha_7 PMA + \alpha_8 PEA + \alpha_9 PPA + \alpha_{10} PLA + \alpha_{11} PSA + U_2 \\
Q_{w3}^D = \alpha_{13} + \alpha_{14} P_{W3} + \alpha_{15} PKIS + \alpha_{16} PENI + \alpha_{17} PPI + \alpha_{18} PLIS + U_3 \quad (۲۰) \\
Q^S = \lambda_0 + \lambda_1 P_{W_4} + \lambda_2 PL + \lambda_3 PK + \lambda_4 RS + \lambda_5 PE + U_6 \\
Q_{w1}^D + Q_{w2}^D + Q_{w3}^D = Q_w^s
\end{gathered}$$

نتایج حاصل از شرط درجه‌ای و رتبه‌ای نشان داد که هر چهار معادله بیش از حد مشخص هستند و برای برآورد باید از روش‌های متغیر ابزاری بهره گرفته شود. در این پژوهش از روش حداقل مربعات معمولی دومرحله‌ای استفاده‌شده است.

٤-٥. استخراج تابع تقاضای آب در بخش شرب مسکونی حوضه آبریز زاینده‌رود مبتنی بر سیستم معادلات

$$\hat{Q}_{w1}^{D} = -770.601 + 0.107567\left(\frac{I_t}{P_t^{w1}}\right) - 0.036250\left(\frac{PPOP_t}{P_t^{w1}}\right) + 0.13604\,TPOP_t + \hat{u}_1 \qquad (۲۱)$$

$$[0.6826] \quad [0.0000] \quad [0.01188] \quad [0.0974] \quad R^2 = 0.9041$$

مقدار γ_1 برابر است با حداقل نیاز به آب برای زنده ماندن در چهار بخش زیرمجموعه آب شرب شهری (خانگی، عمومی، تولیدی و تجاری و فضای سبز) که با محاسبه k_1، K_2 و $\bar{\gamma}_1$ به دست می‌آید که برای سال‌های مختلف در جدول زیر نمایش داده شده است و به‌صورت میانگین برابر است با ۱۳۶/۶۱۹ میلیون مترمکعب در سال برای استان اصفهان با میانگین دمای ۱۶ و نیم درجه سانتی‌گراد در طول ۱۲ سال. تابع تقاضای شرب در میانگین متغیرهای مستقل:

$$\hat{Q}_{tw}^{DRe} = 154.2281687 + {}^{549205.099}/_{\hat{P}_{tWRe}} + \hat{u}_{tRe}, Q_w^{DRe} \geq 0 \qquad (۱۵)$$

$$, \quad P_{WRe} \geq 0$$

بدین ترتیب متوسط مصرف هر اصفهانی بر اساس تابع تقاضای فوق در روز تقریباً ۱۰۱/۹ لیتر برآورد می‌گردد. این در حالی است که سازمان ملل حداقل آب مصرفی هر شهروند را برای حفظ بهداشت و سلامت جامعه ۹۹ لیتر در روز تعیین کرده است که با توجه به دمای مناطق مختلف قابل‌تغییر است (جفره و علیزاده، ۱۳۸۹). وزارت نیرو نیز میانگین مصرف روزانه در ایران را تقریباً ۸۰ لیتر پیش‌بینی نموده است. بر طبق برنامه سوم توسعه الگوی مصرف آب هر ایرانی ۱۵۰ لیتر در روز بوده است. میزان نیاز آبی در پیک مصرف در استان اصفهان بیش از ۱۴/۵ مترمکعب در ثانیه است. اما منابع آبی موجود حدود ۱۱/۷ مترمکعب در ثانیه است؛ بنابراین کمبود حدود ۲/۸ مترمکعب آب در ثانیه در بخش آب شرب با شرایط کنونی وجود دارد (شرکت آب و فاضلاب اصفهان، ۱۳۹۳).

٦-٤. استخراج تابع تقاضای آب در بخش کشاورزی

در ایران تقریباً ۹۲/۲ درصد از آب قابل استحصال در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد (بانک جهانی، ۲۰۱۴). به‌طوری‌که بازدهی نهاده آب در بخش کشاورزی تقریباً ۳۷ درصد است (جفره و علیزاده، ۱۳۸۹). برآورد تابع تقاضای آب فوق در بخش کشاورزی به‌صورت زیر است:

$$\widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{\mathrm{DAg}} = 9511.01 + 9.0463\left(1/\mathrm{P}_{\mathrm{tWAg}}\right) - 2.78305\left(\mathrm{PWW}_{tAg}\right) - 0.19327\left(\mathrm{PLA}W_{tAg}\right)$$

$$[0.11320]\quad [0.08823]\qquad [0.00008]\qquad [0.01197] \qquad (۲۳)$$

$$-0.2336\left(\mathrm{PEAW}_{tAg}\right) - 0.1231\left(\mathrm{PMAW}_{tAg}\right) - 0.09794\ \left(\mathrm{PSAW}_{tAg}\right) + 3.7824\ \left(\mathrm{PPAW}_{tAg}\right) + \mathrm{U}_{\mathrm{t}Ag}$$

$$[0.15189]\quad [0.06001]\qquad [0.0779]\qquad [0.0000]\ \mathrm{R}^2 = 0.79401$$

به‌طوری‌که با ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرهای تأثیرگذار بر مقدار تقاضای آب در بخش کشاورزی یا محاسبه میانگین سال‌های فوق، تابع تقاضای آب (به‌صورت تابه تقاضای کوتاه‌مدت) به‌صورت یک تابع بین مقدار آب و قیمت آب به‌صورت زیر برآورد می‌گردد:

$$\widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{\mathrm{DAg}} = -6497.836 + 6346914.89/\widehat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWAg}} + \hat{u}_{tAg} \qquad (۲۴)$$

$$,\mathrm{Q}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{DAg}} \geq 0\ ,\mathrm{P}_{\mathrm{WAg}} \geq 0$$

٧-٤. استخراج تابع تقاضای بخش صنعت و معدن

برآورد مدل (۱۶) و سیستم معادلات همزمان (۱۹) تابع تقاضای آب در بخش صنعت و معدن در حوضه آبریز زاینده‌رود استخراج می‌گردد:

$$\widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{\mathrm{DIn}} = 38986.06 - 5.5451\left(1/\widehat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWIn}}\right) + 9.5243\left(\widehat{\mathrm{P}}\mathrm{WW}_{t\mathrm{In}}\right) - 1.0858\left(\mathrm{PKS}W_{t\mathrm{In}}\right)$$

$$[0.2552]\quad [0.01192]\qquad [0.0000]\qquad [0.03680] \qquad (۲۵)$$

$$-0.75734\left(\mathrm{PESW}_{t\mathrm{In}}\right) - 1.02244\ \left(\mathrm{PLSW}_{t\mathrm{In}}\right) + 5.7383\left(\mathrm{PPSW}_{t\mathrm{In}}\right) + \mathrm{U}_{\mathrm{tIn}}$$

$$[0.08376]\qquad [0.3835]\qquad [0.04730]\qquad R^2 = 0.84560$$

به‌طوری‌که با ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرهای تأثیرگذار بر مقدار تقاضای آب در بخش صنعت و معدن یا در نظر گرفتن متغیرهای مستقل در مقدار میانگین، تابع تقاضای آب به‌صورت یک تابع بین مقدار آب و قیمت آب به‌صورت زیر برآورد می‌گردد:

$$\widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{\mathrm{DIn}} = -473.693 + {}^{3093302.65}/_{\widehat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWIn}}} + \hat{u}_{tIn} \qquad (۲۶)$$
$$, \mathrm{Q}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{DAg}} \geq 0 \ , \quad \mathrm{P}_{\mathrm{WAg}} \geq 0$$

٤-۸. استخراج تابع عرضه آب حوضه آبریز زاینده‌رود

تابع عرضه مدل (۱۹) در قالب سیستم معادلات همزمان (۲۰) به‌صورت معادله (۲۷) برآورد می‌گردد:

$$\mathrm{Q}_{tw}^{s} = 15.76{+}0.\,02(\mathrm{PW}_t) - 0.000002(\mathrm{PL}_t) - 0.03(\mathrm{PK}_t) + 0.0039(\mathrm{RS}_t) - 4559915(PES_t) + \mathrm{U}_s$$

[0.5421] [0.0974] [0.0550] [0.0344] [0.0000] [0.6129] $R^2 = 0.99$

به‌طوری‌که با ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرهای تأثیرگذار بر مقدار عرضه آب یا در نظر گرفتن میانگین توابع برآورد شده، تابع عرضه آب به‌صورت یک تابع بین مقدار آب و قیمت آب به‌صورت زیر برآورد می‌گردد:

$$\widehat{\mathrm{Q}}_{tw}^{s} = 493.349 + 2.0998\,(\widehat{\mathrm{PW}}_{ts}) + \hat{u}_{ts} \quad , \mathrm{Q}_{\mathrm{w}}^{s} \geq 0 \quad , \quad \mathrm{P}_{\mathrm{Ws}} \geq 0 \qquad (۲۷)$$

معادله (۲۷) نشان می‌دهد که در صورت صفر شدن قیمت محصول (آب) فقط ۴۹۳ میلیون مترمکعب آب مهارشده وجود دارد، که تقریباً همان برآورد طبیعی آب در حوضه زاینده‌رود در بلندمدت است که البته برای استفاده باید به آب قابل اتکاء تبدیل گردد.

٤-۹. استخراج تابع تقاضای آب در بخش گردشگری در حوضه آبریز زاینده‌رود

با توجه به اینکه مصرف آب در بخش گردشگری در زاینده‌رود یک نیاز غیرمصرفی و صرفاً خدماتی است، همچنین به دلیل نبود بازار امکان برآورد تابع تقاضا از تابع استون-گیری یا ترانسلوگ وجود ندارد، زیرا قیمت آب در بخش گردشگری مشخص نیست. از ترکیب تمایل به پرداخت‌های نهایی بازدیدکنندگان از زاینده‌رود (جلیلی، ۱۳۹۴) و نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود به آب، میزان تقاضای آب و قیمت آب در بخش گردشگری استخراج می‌گردد. ارزش آب در بخش گردشگری در حوضه آبریز زاینده‌رود دچار شکست بازار است. زیرا اجزاء سمت عرضه آب در بخش گردشگری مشخص است، اما سمت تقاضای اقتصاد آب گردشگری، یعنی تقاضای وجود آب در سطح رودخانه مشخص نیست و به

همین دلیل بازار شکل نگرفته و قیمت آب در بخش گردشگری آشکار نمی‌گردد (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۲: قیمت ضمنی یا تمایل به پرداخت برای هر سطح یک ویژگی

نوع مدل	مدل لاجیت شرطی		مدل لاجیت آشیانه‌ای	
ویژگی	قیمت ضمنی- تمایل به پرداخت	شاخص	قیمت ضمنی- تمایل به پرداخت	شاخص
حفظ تنوع جنگلی و چشم‌انداز طبیعی تفرجگاه	*۶۸۳۲/۱۳۸	۷۰/۳۸	*۱۲۶۵۰/۰۰۰	۷۴/۴۳
حفظ آثار باستانی و تاریخی موجود در تفرجگاه	۶۷۴۴/۸۹۴	۶۹/۴۸	۱۱۴۳۳/۳۳۳	۶۷/۲۷
حفظ بهداشت محیط و آب رودخانه تفرجگاه	۴۵۵۱/۸۳۹	۴۶/۸۹	۳۹۸۸/۸۸۸	۲۳/۴۷
وجود آب در جریان در سطح رودخانه	۹۷۰۷/۰۴۵	۱۰۰	۱۶۹۹۴/۴۴۴	۱۰۰

منبع: جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳ * قیمت‌ها به ریال می‌باشند.

در این قسمت از نتایج مطالعه جلیلی (۱۳۹۴) به‌منظور برآورد تابع ترجیحات افراد در ارتباط با آب در حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده‌شده است.

۱۰-٤. نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود

نیاز مفهومی گسترده‌تر از تقاضا است و هر نیازی توانایی تبدیل‌شدن به تقاضا را ندارد. میزان جریانی که در یک رودخانه رها می‌شود تا شرایط و سلامت زیست‌محیطی اکوسیستم رودخانه یا تالاب در سطح قابل قبولی حفظ شود، جریان زیست‌محیطی نامیده می‌شود (تارمه و کینگ[1]، ۱۹۹۸). اما آنچه به‌عنوان نیاز زیست‌محیطی در این پژوهش شناخته می‌شود مقدار حداقل نیاز ثابتی است که تابعی از تمایل به پرداخت‌های افراد نیست. در برآورد تابع تقاضای آب شرب با استفاده از تابع مطلوبیت کلین- روبین نیز مقداری از تقاضای آب را به‌عنوان نیاز زیست‌محیطی انسان قائل می‌شود که این مقدار تابعی از درآمد و قیمت‌های نسبی آب نیست. در برآورد تابع تقاضای آب در بخش گردشگری و زیست‌محیطی نیز مقدار آبی که مستقل از درآمد جامعه و قیمت‌های نسبی (تمایل به پرداخت نهایی) است را نیاز زیست‌محیطی می‌نامیم.

به‌منظور برآورد نیاز زیست‌محیطی آب از سه روش مختلف بهره گرفته می‌گردد: ۱- روش مونتانا، ۲- روش کارولینای جنوبی و ۳- روش تبخیر از سطح محیط‌زیست استفاده می‌گردد. در این پژوهش به نقطه تعادل اقتصادی برای تخصیص آب به اکوسیستم را عمر اقتصادی یا سطح زیست اقتصادی

1. Tharme, R.E. and King, J.M

اکوسیستم می‌نامیم. در مقابل دانشمنـدان محیطزیست از برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی استفاده می‌نمایند، یعنی حداقل مقدار آبی برای زنده ماندن و ادامه چرخه حیات اکوسیستم لازم است. در این پژوهش این نقطه تعادل و مقدار آب مورد نیاز را نقطه تعادل زیست‌محیطی یا نقطه تعادل بیولوژیکی می‌نامیم. روش مونتانا یا نتانت (۱۹۷۶) بر پایه مطالعات گسترده و متداوم رودخانه‌های بزرگ و دائمی ایالت مرکزی- غربی آمریکا با برقراری رابطه بین جریان رودخانه و حفظ محیطزیست و حفظ طبیعت ریپارین رودخانه توسعه داده شد. در این روش حداقل میزان رهاسازی به‌صورت درصد مشخصی از میانگین سالیانه دبی رودخانه بر اساس کیفیت مورد نظر محیطزیست رودخانه محاسبه می‌گردد.

جدول ۳: جریان حداقل آب مورد نیاز برای محیطزیست رودخانه زاینده‌رود

نیم سال	روش هیدرولوژیکی	روش تنانت	روش کارولینای جنوبی
	ماه		
نیم سال اول آبی	مهر	۲/۷	۵/۵
	آبان	۲/۷	۵/۵
	آذر	۲/۷	۱۱/۰
	دی	۲/۷	۱۶/۵
	بهمن	۲/۷	۱۶/۵
	اسفند	۲/۷	۱۶/۵
نیاز نیم سال اول	مترمکعب در ۱۷۹ روز	۴۱۷۵۷۱۲۰	۱۸۳۹۰۲۴۰۰
نیم سال دوم آبی	فروردین	۲/۷	۱۶/۵
	اردیبهشت	۸/۲	۱۱/۰
	خرداد	۸/۲	۱۱/۳
	تیر	۸/۲	۵/۵
	مرداد	۸/۲	۵/۵
	شهریور	۸/۲	۵/۵
نیاز نیم سال دوم	مترمکعب در ۱۸۶ روز	۱۱۷۰۴۶۰۸۰	۱۴۸۱۱۵۵۲۰
نیاز کل	مترمکعب در سال	۱۵۸۸۰۳۲۰۰	۳۳۲۰۱۷۹۲۰
	مترمکعب در ثانیه		

منبع: یافته‌های پژوهش[1]

با توجه به اینکه حداقل نیاز زیست‌محیطی برای ادامه حیات زاینده‌رود در روش مونتانا برابر با میانگین ۱۵۸ میلیون مترمکعب در سال است و با توجه به تمایل به پرداخت نهایی برای بهبود یا تنزل (افزایش یا کاهش یک‌فصل) جریان آب در روش آزمون انتخاب در مطالعه جلیلی و همکاران (۱۳۹۳) بر اساس مدل لاجیت شرطی و آشیانه‌ای، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در بخش گردشگری در حوضه آبریز زاینده‌رود ۱۱۴۶/۳۸۵ ریال برآورد می‌گردد.

۱. برای انجام این محاسبات از اطلاعات مقاله آقای دکتر حاجیان استفاده شده است.

۱۱-٤. استخراج تابع تقاضای آب در بخش محیط‌زیست در حوضه آبریز زاینده‌رود و تالاب گاوخونی

همان روشی را که برای برآورد تابع تقاضای گردشگری در حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده شد؛ برای تالاب گاوخونی نیز به کار گرفته می‌گردد. در بخش نیز از برآورد تابع ترجیحات افراد نسبت به آب در بخش محیط‌زیست از مطالعه دیگر جلیلی و همکاران (۱۳۹۳) در ارتباط با تالاب گاوخونی استفاده خواهد شد.

جدول ٤: قیمت ضمنی یا تمایل به پرداخت برای هر سطح یک ویژگی تالاب گاوخونی با استفاده مدل CL و NL

نوع مدل	لاجیت شرطی CLM		لاجیت آشیانه‌ای NLM	
ویژگی	قیمت ضمنی تمایل به پرداخت	شاخص	قیمت ضمنی تمایل به پرداخت	شاخص
حفظ تنوع گیاهی و جنگلی تالاب	۱۰۷۹۷/۳	۶۴/۶۵	۸۶۳۶/۱	۶۸/۶۳
حفظ زیستگاه و حیات موجودات تالاب	۱۶۶۹۸/۷	۱۰۰	۱۲۵۸۴/۲	۱۰۰
حفظ بهداشت محیط و آب تالاب	۱۴۶۱۷/۶	۸۷/۵۳	۱۱۵۵۳	۹۱/۸۱
افزایش سطح آب تالاب	۵۵۸۷/۸۴	۳۳/۴۶	۴۷۴۰/۱	۳۷/۶۷

منبع: جلیلی و همکاران، ۱۳۹۳. * قیمت‌ها به ریال می‌باشند.

۱۲-٤. نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی

تئوری حداقل نیاز زیست‌محیطی بیان می‌دارد که حداقل آب مورد نیاز برای زاینده‌رود و تالاب گاوخونی وجود دارد که مستقل از درآمد افراد جامعه، بودجه‌های جاری و عمرانی دولت، قیمت‌های نسبی آب با سایر کالاها و خدمات یا تمایل به پرداخت نهایی شهروندان و بازدیدکنندگان است. حداقل سطح باتلاق در سال ۸۰-۷۹ (پایان دوره خشکسالی) برابر ۸۰ کیلومترمربع و حداکثر آن حدود ۴۸۰ کیلومترمربع ذکر شده است. در سال آبی ۱۳۹۰- ۱۳۹۱ تقریباً ۴/۹۵ میلیون مترمکعب آب در ایستگاه ورزنه، خروجی حوضه آبریز زاینده‌رود، یعنی تالاب گاوخونی اندازه‌گیری شده است، به‌طوری‌که این اکوسیستم در معرض خسارات غیرقابل‌برگشت قرار گرفته است. داده‌های سالیانه نشان می‌دهد که در دوره ۹۱-۱۳۲۸ حداکثر، حداقل و میانگین آب ورودی به تالاب در طول یک سال ۹۴۲، ۰/۱۳۸ و ۱۵۹ میلیون مترمکعب بوده است.

برای محاسبه آب مصرف‌شده و مورد نیاز در باتلاق گاوخونی می‌توان از رویکرد تبخیر از سطح آزاد آب طشت استفاده نمود. بر اساس آمار تبخیر از ایستگاه‌های تبخیر سنجی همجوار باتلاق گاوخونی، مقدار تبخیر از طشت تبخیر در این منطقه به‌صورت میانگین حدود سه هزار میلی‌متر در سال است که با اعمال ضریب تعدیل برای طشت، میزان تبخیر از سطح آزاد آب به حدود ۷ میلی‌متر در روز خواهد

رسید که حجم تبخیر سالانه آن بر اساس میانگین سطح تالاب در دوره مورد مطالعه (۷۰ کیلومترمربع) معادل ۱۷۹ میلیون مترمکعب در سال خواهد شد؛ که ۱۰ درصد با میانگین آب ورودی به تالاب در ۶۳ سال اخیر متفاوت است.

با توجه به حداکثر تمایل به پرداخت افراد برای افزایش یک سطح (۵۰ سانتیمتر افزایش سطح آب تالاب) آب ورودی به تالاب در مدل آزمون انتخاب مبتنی بر مطالعه جلیلی و همکاران (۱۳۹۳) و همچنین نیاز زیست‌محیطی ۱۵۹ میلیون مترمکعبی تالاب در روش تبخیر از سطح طشت (۷ میلی‌متر روزانه و ۷۰ کیلومترمربع سطح تالاب)، ارزش اقتصادی یا تمایل به پرداخت نهایی افراد برای هر مترمکعب آب در بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی) در حوضه آبریز زاینده‌رود ۵۹۶/۷۳۹ ریال برآورد می‌گردد.

۱۳-٤. تحلیل استراتژی‌های تعادل در بازار آب مبتنی بر تئوری بازی‌ها

می‌توان بیشتر رفتارهای اقتصادی توأم با همکاری و تقابل را به منزله موارد خاصی از تئوری بازی در نظر گرفت. به‌طوری‌که تئوری بازی مطالعه عکس‌العمل تصمیم‌گیرندگان است. یک بازی ارائه فنی موقعیتی است که در آن تعدادی افراد در مجموعه‌ای از وابستگی‌های متقابل با هم تعامل می‌کنند. نتایج نمودار (۹) نشان می‌دهد که در طول ۷ دهه اخیر در بازی بین انسان و طبیعت، بخش گردشگری و محیط‌زیست در صورت وجود آب مازاد صاحب حق مالکیت و سهم آب در حوضه زاینده‌رود بوده‌اند و در صورت کمبود آب اولویت سلب مالکیت با دو بخش گردشگری و محیط‌زیست بوده است. به این ترتیب تخصیص آب در زاینده‌رود تکرار یک بازی با استراتژی خالص است، نه یک بازی تکراری حتی با استراتژی خالص، زیرا همیشه اعتقادات بازیکنان (مسکونی، کشاورزی و صنعت و معدن) در مورد استراتژی بازیکن دیگر (محیط‌زیست و گردشگری) ثابت است. اساساً وقتی یک بازیکن اعتقاد دارد که رقبایش عقلانی و در چارچوب قانون و قواعد پذیرفته شده عمل می‌کنند، برای حداکثر کردن بهره‌مندی خود از بازی، باید در زمان تصمیم‌گیری، به‌طور دقیق رفتار آنها را در فرآیند بهینه‌سازی خود در نظر بگیرد؛ اما زمانی که یک بازیکن عقلانی رفتار نمی‌کند یا در چارچوب قانون قرار نمی‌گیرد و از رانت استفاده می‌نماید، فرد مجبور به بروز رفتار و ترجیحات استراتژیک می‌گردد و ترجیحاتی را بروز می‌دهد که گاه دچار تناقض است و گاه در راستای حداکثر نمودن سود قرار ندارد.

اگر مجموعه‌ای از استراتژی‌ها، در تعادل ناش نباشد، دست کم یک بازیکن تفکر سازگاری با رفتار بازیکنان دیگر ندارد؛ یعنی یکی از بازیکنان باید انتظار داشته باشد بازیکن دیگری برای نفع شخصی خودش (در چارچوب عقلانیت و قانون) فعالیت نمی‌کند و این نوع استراتژی خالص تکراری، فرض اولیه تجزیه‌وتحلیل را نقض می‌کند؛ اما با حفظ فروض اولیه بازی (عقلانیت و دانش عمومی) هیچ بازیکنی علاقه ندارد به‌طور یک‌جانبه از استراتژی تعادل ناش منحرف شود. تعادل ناش مجموعه‌ای از اعتقادات و استراتژی‌هایی است که در آن اعتقادات هر بازیکن درباره آنچه که بازیکن دیگر انجام خواهد داد، با

انتخاب واقعی بازیکن دیگر سازگار است. در تخصیص بهینه آب در زاینده‌رود استراتژی مسلط بهینه برای بازیگران در حالت اول با در نظر نگرفتن سهم محیط‌زیست و گردشگری وجود ندارد، زیرا تمایل به پرداخت برای آب و نیاز زیست‌محیطی آب در بخش گردشگری و محیط‌زیست منجر به حرکت از نقطه تعادل غیربهینه e_1 به نقاط تعادل بهینه e_2 و e_3 می‌گردد. در این بخش به تحلیل نقاط تعادل بازار آب در حوضه زاینده‌رود با و بدون در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی و اقتصادی دو بخش گردشگری (زاینده‌رود) و زیست‌محیطی (تالاب گاوخونی) خواهیم پرداخت. به‌طورکلی برای شناخت مکانیسم بین منابع آبی، استفاده‌کنندگان آب و محیط‌زیست سه نوع بازی برحسب بازیگران مختلف می‌توان تعریف نمود (شوکی‌وی، ۲۰۰۸: ۱۲۵).

۱- بازی انسان- انسان HH: بازی که در اجتماع بشری اتفاق می‌افتد و هر دو طرف بازی بشر است و طبیعت در آن بازی انجام نمی‌دهد.

۲- بازی انسان- طبیعت HN : بازی که بین بشر و طبیعت اتفاق می‌افتد. یک‌طرف بازی انسان‌ها و طرف مقابل بازی ابعاد مختلف طبیعت خواهد بود. در این بازی تعداد بازیگران انسان و طبیعت می‌تواند بیش از یک بازیگر باشد.

۳- بازی طبیعت- طبیعت NN : بازی که در طبیعت اتفاق می‌افتد و هر دو طرف بازی طبیعت است و انسان در آن بازی انجام نمی‌دهد.

در این پژوهش بازی طراحی‌شده بازی HH و بازی HN خواهد بود، به‌طوری‌که سه استراتژی در تحلیل نقطه تعادل پیشنهاد می‌گردد:

۱- نقطه تعادل عرضه و تقاضای کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود بدون در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود) و بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی).

۲- نقطه تعادل عرضه و تقاضای کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود با در نظر گرفتن جمع افقی حداقل نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود) و بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی).

۳- نقطه تعادل عرضه و تقاضای کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود با در نظر گرفتن جمع عمودی تمایل به پرداخت نهایی برای خدمات زیست‌محیطی زاینده‌رود (بخش گردشگری) و تالاب گاوخونی (بخش محیط‌زیست).

۱۴-٤. نقطه تعادل عرضه و تقاضای کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود بدون در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود) و بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی)

با در نظر نگرفتن نیاز زیست‌محیطی تالاب و رودخانه که تقریباً در دنیای واقعی چنین است، زیرا حجم آب ورودی به تالاب در سال آبی ۱۳۹۱-۹۲، تقریباً ۴/۹۵ میلیون مترمکعب بوده است و آب در زاینده‌رود نیز بر اساس نیاز کشاورزان پائین دست جاری می‌گردد نه الزامات زیست‌محیطی و حتی گردشگری و اکوتوریستی، بدین ترتیب این قسمت یک بازی انسان- انسان HH خواهد بود.

$$\begin{aligned}
\hat{Q}_{w1}^{DRe} &= 154.2281687 + {}^{54905.099}/_{\hat{P}_{tWRe}} + \hat{u}_{tRe} \quad , Q_w^{DRe} \geq 0 \ , \ P_{WRe} \geq 0 \\
\hat{Q}_{tw}^{DAg} &= -6497.836 + {}^{6346914.89}/_{\hat{P}_{tWAg}} + \hat{u}_{tAg} \quad , Q_w^{DAg} \geq 0 \ , P_{WAg} \geq 0 \\
\hat{Q}_{tw}^{DIn} &= -473.693 + {}^{3093302.65}/_{\hat{P}_{tWIn}} + \hat{u}_{tIn} \quad , Q_w^{DAg} \geq 0 \ , \quad P_{WAg} \geq 0
\end{aligned} \tag{۲۸}$$

تابع تقاضای کلی آب بدون در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود) و بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی)

$$\hat{Q}_{tw}^{Ad} = -6817.300 + {}^{9989422.6431}/_{\hat{P}_{tWAD}} \quad , \tag{۲۹}$$
$$Q_w^{Ad} \geq 0 \quad , \ P_{WAd} \geq 0$$

تابع عرضه کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود

$$\hat{Q}_{tw}^{s} = 493.349 + 2.0998\ (\hat{P}W_{ts}) + \hat{u}_{ts}, Q_w^s \geq 0 \ , P_{Ws} \geq 0 \tag{۳۰}$$

نقطه تعادل چهاربخشی

$$D_{1w}^{AD} = Q_{w1}^{D} + Q_{w2}^{D} + Q_{w3}^{D} = Q_w^s \tag{۳۱}$$

در این حالت نقطه بهینه e_1 به این صورت خواهد بود:

$$Q^* = 2696.74211 \ \ Mm^3 \quad \hat{P}_R^* = 1049.3152 \quad \text{Rials}$$

برای دوره مورد مطالعه به‌صورت میانگین قیمت حقیقی تعادلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود ۱۰۴۹/۳۱۵۲ ریال و قیمت اسمی نیز ۱۹۳۲/۳۷۲ ریال برای هر مترمکعب برآورد گردید. در این بازی که بازی بین انسان– انسان است، نقش محیط‌زیست و گردشگری به‌عنوان دو بازیگر مهم بازار آب در حوضه آبریز زاینده‌رود حضور ندارند. این حالت تقریباً شبیه دنیای واقعی است که زاینده‌رود و تالاب هیچ حق‌آبه‌ای ندارند. در نقطه تعادل با این شرایط میزان تعادلی عرضه و تقاضای آب با قیمت ۹۹۳/۹ ریال ۱۲۱۵/۴۷۷ میلیون مترمکعب است. البته این نقطه تعادل نقطه بهینه (بهینه دوم) نیست زیرا در این بازی نقش محیط‌زیست و گردشگری به‌عنوان متقاضیان آب هنوز وارد تحلیل‌ها نشده است.

۱۵-٤. نقطه تعادل عرضه و تقاضای کلی آب در حوضه آب‌ریز زاینده‌رود با در نظر گرفتن جمع افقی حداقل نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود)

بر اساس روش کارولینای جنوبی، نیاز آبی محیط‌زیست منطقه مورد مطالعه از ماه تیر تا آخر آبان ماه ۵/۵ مترمکعب بر ثانیه، دی تا آخر فروردین‌ماه، ۱۶/۵ مترمکعب بر ثانیه و در ماه‌های آذر، اردیبهشت و خردادماه ۱۱/۰ مترمکعب بر ثانیه (۳۳۲ میلیون مترمکعب در سال) برآورد گردید. در روش مونتانا حداقل دبی رودخانه بعد از سد زاینده‌رود با در نظر گرفتن شرایط طبیعی آن به ترتیب از نیمه فروردین تا شهریورماه ۸/۲ و از مهرماه تا نیمه فروردین‌ماه ۲/۷ مترمکعب در ثانیه (معادل با ۱۵۸ میلیون مترمکعب در سال) برآورد گردید. میانگین این دو روش یعنی ۲۴۵ میلیون مترمکعب به‌عنوان نیاز زیست‌محیطی با توابع تقاضای سه‌گانه به‌صورت جمع افقی به‌عنوان تقاضای کل در نظر گرفته خواهد شد.

$$\begin{aligned}
&\hat{Q}_{w1}^{DRe} = 154.2281687 + {}^{549205.099}/_{\hat{P}_{tWRe}} + \hat{u}_{tRe} \quad , Q_w^{DRe} \geq 0 \ , \\
&P_{WRe} \geq 0 \\
&\hat{Q}_{tw}^{DAg} = -6497.836 + {}^{6346914.89}/_{\hat{P}_{tWAg}} + \hat{u}_{tAg} \quad , Q_w^{DAg} \geq \\
&0 \ , \quad P_{WAg} \geq 0 \\
&\hat{Q}_{tw}^{DIn} = -473.693 + {}^{3093302.65}/_{\hat{P}_{tWIn}} + \hat{u}_{tIn} \qquad Q_w^{DAg} \geq \\
&0 \ , \ P_{WAg} \geq 0 \ \hat{Q}_{tw}^{DRE} = 245
\end{aligned} \tag{۳۲}$$

تابع تقاضای آب در بخش محیط‌زیست و گردشگری دارای کشش صفر است زیرا حداقل نیاز است و امکان جانشینی برای آن وجود ندارد. بدین ترتیب تابع تقاضای کلی آب با در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود) و بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی) به‌عنوان مصرف‌کننده آب و به‌صورت جمع افقی حداقل نیاز زیست‌محیطی برابر است با:

$$\hat{Q}_{2tw}^{AD} = -6572.3009 + {}^{9989422.643}/_{\hat{P}_{tWAD}} \tag{۳۳}$$

تابع عرضه کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود

$$\hat{Q}_{tw}^{S} = 493.349 + 2.0998\,(\hat{P}W_{ts}) + \hat{u}_{ts},\ Q_w^S \geq 0\ , P_{Ws} \geq 0 \tag{۳۴}$$

نقطه تعادل ۵ بخشی با جمع افقی نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود (تقاضای بخش گردشگری):

$$D_{2w}^{AD} = Q_{w1}^{D} + Q_{w2}^{D} + Q_{w3}^{D} + Q_{w5}^{DRE} = Q_w^S \tag{۳۵}$$

در این حالت نقطه بهینه e_2 به این صورت خواهد بود:

$$\hat{Q}_2^* = 2743.5848 \quad \text{Mm}^3 \qquad \hat{P}_{2R}^* = 1071.623 \quad \text{Rials}$$

۱۶-٤. نقطه تعادل عرضه و تقاضای کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود با در نظر گرفتن جمع افقی میانگین نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود (گردشگری) و نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی (بخش محیط‌زیست)

علاوه بر نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود، حداقل آب مورد نیاز برای تالاب به روش تبخیر از سطح آزاد طشت با اعمال ضریب تعدیل، تبخیر ۷ میلی‌متر در روز و سطح ۷۰ کیلومتر برای تالاب گاوخونی ۱۷۹ میلیون مترمکعب در سال محاسبه گردید. دوره مورد مطالعه برآورد نیاز زیست‌محیطی در این پژوهش ۱۳۲۸- ۱۳۹۱ است.

$$\begin{aligned}
&\hat{Q}_{w1}^{DRe} = 154.2281687 + {}^{549205.099}/_{\hat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWRe}}} + \hat{u}_{\mathrm{tRe}}\,, \\
&\mathrm{Q}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{DRe}} \geq 0\ ,\ \mathrm{P}_{\mathrm{WRe}} \geq 0 \\
&\hat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{\mathrm{DAg}} = -6497.836 + {}^{6346914.89}/_{\hat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWAg}}} + \hat{u}_{tAg} \quad , \\
&\mathrm{Q}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{DAg}} \geq 0\ ,\quad \mathrm{P}_{\mathrm{WAg}} \geq 0 \\
&\hat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{\mathrm{DIn}} = -473.693 + {}^{3093302.65}/_{\hat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWIn}}} + \hat{u}_{tIn} \quad , \\
&\mathrm{Q}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{DAg}} \geq 0\ ,\quad \mathrm{P}_{\mathrm{WAg}} \geq 0 \\
&\hat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{DRE} = 245 \qquad\qquad \hat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{DEN} = 179
\end{aligned} \tag{۳۶}$$

تابع تقاضای آب در بخش محیط‌زیست و گردشگری دارای کشش صفر است. زیرا حداقل نیاز است و امکان جانشینی برای آن وجود ندارد. بدین ترتیب تابع تقاضای کلی آب با در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی بخش گردشگری (زاینده‌رود) و بخش محیط‌زیست (تالاب گاوخونی) به‌عنوان مصرف‌کننده آب و به‌صورت جمع افقی حداقل نیاز زیست‌محیطی برابر است با:

$$\hat{\mathrm{Q}}_{3\mathrm{tw}}^{\mathrm{AD}} = -6393.3009 + {}^{9989422.643}/_{\hat{\mathrm{P}}_{\mathrm{tWAD}}} \tag{۳۷}$$

تابع عرضه کلی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود

$$\hat{Q}_{tw}^{s} = 493.349 + 2.0998\,(\hat{P}W_{ts}) + \hat{u}_{ts},\ Q_w^s \geq 0\,, P_{Ws} \geq 0 \tag{۳۸}$$

نقطه تعادل ۵ بخشی با جمع افقی نیاز زیست‌محیطی زاینده‌رود

$$D_{3\mathrm{w}}^{AD} = Q_{w1}^{D} + Q_{w2}^{D} + Q_{w3}^{D} + \mathrm{Q}_{\mathrm{w5}}^{DRE} + \widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{tw}}^{DEN} = Q_{w}^{s} \qquad (۳۹)$$

در این حالت نقطه بهینه e_2 به این صورت خواهد بود:

$$\hat{Q}_3^* = 2778.8331 \ \ \mathrm{Mm}^3 \qquad \hat{P}_{3R}^* = 1088.4091 \text{ Rials}$$

نتیجه‌گیری

این پژوهش منظور برآورد توابع عرضه و تقاضا از یک سیستم معادلات همزمان در دوره ۱۳۹۱-۱۳۸۰ با استفاده از روش سیستم معادلات همزمان بهره برده است، به‌طوری‌که توابع تقاضای بخش صنعت و معدن با استفاده از تابع تولید ترانسلوگ و تابع هزینه متناظر با این تابع تولید با بهره‌گیری از بسط دوم سری تیلور و سپس استخراج معادله سهم هزینه آب با مشتق‌گیری از آن نسبت به قیمت آب و استفاده از لم شفارد برای نهاده آب، برآورد گردید به‌طوری‌که در این دوره میانگین قیمت حدی اسمی آب در بخش صنعت و معدن در حوضه آبریز زاینده‌رود ۱۲۰۷۲/۲ ریال برآورد گردید. تابع تقاضای آب در بخش کشاورزی زاینده‌رود نیز با استفاده از یک تابع تولید ترانسلوگ برآورد گردید و قیمت حدی اسمی آب در بخش کشاورزی زاینده‌رود نیز ۱۶۹۸/۴۴۲ ریال برآورد گردید. تابع تقاضای آب شرب مسکونی به‌صورت یک تابع غیرخطی با استفاده از حداکثر نمودن تابع مطلوبیت استون- گیری (کلین- روبین) با توجه به قید بودجه خانوار و در نظر گرفتن حداقل نیاز آب تابعی از دمای هوا برآورد گردید و حداقل معاش آب برای نیازهای شرب و مسکونی، عمومی، تولیدی و تجاری و فضای سبز برای هر فرد در طول روز ۱۰۱/۹۱ لیتر و برای کل حوضه آبریز ۱۵۴/۲۲۸ میلیون مترمکعب برآورد گردید. برآورد تابع عرضه بلندمدت اقتصادی آب با استفاده از یک تابع هزینه درجه سه برای بخش تولید اقتصادی آب نشان داد که در صورت صفر شدن قیمت محصول (آب) به‌صورت میانگین ۱۲ ساله فقط ۴۹۳/۳۴۹ میلیون مترمکعب آب مهار شده برای ارائه وجود دارد که تقریباً همان برآورد طبیعی آب در حوضه زاینده‌رود در بلندمدت است که هنوز به آب قابل‌اتکا تبدیل نشده است. نیاز زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از دو روش‌های هیدرولوژیکی مونتانا و کارولینای جنوبی محاسبه شد. بر اساس روش کارولینای جنوبی، نیاز آبی محیط‌زیست منطقه موردمطالعه ۳۳۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید. در روش مونتانا حداقل دبی رودخانه بعد از سد زاینده‌رود با در نظر گرفتن شرایط طبیعی آن معادل با ۱۵۸ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید. بدین ترتیب ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در بخش گردشگری در حوضه آبریز زاینده‌رود ۱۱۴۶/۳۸۵ ریال برآورد شد. در بخش محیط‌زیست برای محاسبه آب مصرف‌شده و مورد نیاز در باتلاق گاوخونی می‌توان از رویکرد تبخیر از سطح آزاد آب طشت استفاده نمود. بر اساس آمار تبخیر از ایستگاه‌های تبخیر سنجی همجوار باتلاق گاوخونی، مقدار تبخیر از طشت تبخیر با اعمال ضریب تعدیل، معادل ۱۷۹ میلیون مترمکعب در سال خواهد شد. ارزش اقتصادی یا تمایل به پرداخت

نهایی افراد برای هر مترمکعب آب در بخش محیطزیست (تالاب گاوخونی) در حوضه آبریز زاینده‌رود ۵۹۶/۷۳۹ ریال برآورد گردید.

نتایج حاصل از مجموع برآوردهای فوق تحت دو بازی انسان و انسان (HH) و بازی انسان و طبیعت (HN) در سه حالت مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا نقطه تعادل بدون در نظر گرفتن تقاضای گردشگری و محیطزیست (Q_1^*, P_{N1}^*) = (۲۶۹۶/۷۴، ۱۹۳۲/۳۷) به دست آمد. در یک بازی گسترده‌تر در بازار آب، با در نظر گرفتن تمایل نهایی به پرداخت آب (WTP) و نیاز مصرفی (Use) در بخش گردشگری (رودخانه زاینده‌رود) به‌صورت جمع افقی نقطه تعادل بازار آب در بازی بین انسان و طبیعت به این شکل (Q_2^*, P_{N2}^*) = (۲۷۴۳/۵۸، ۱۹۷۳/۶۴) به دست آمد. در نهایت در بازی سوم در بازار آب، با در نظر گرفتن تمایل نهایی به پرداخت آب (WTP) در بخش گردشگری (رودخانه زاینده‌رود) و تمایل به پرداخت (WTP) و نیاز مصرفی (Use) در بخش زیست‌محیطی (تالاب گاوخونی) به‌صورت جمع افقی نقطه تعادل بازار آب در بازی بین انسان و طبیعت به این شکل (Q_3^*, P_{N3}^*)=(۲۷۷۷/۲۰۰۴،۸۳/۷۱۵) به دست آمد. در این حالت و با در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی تالاب و تقاضای در مسیر گردشگری، قیمت هر مترمکعب آب نسبت به تعادل اول ۷۲/۳۴۲ ریال در قیمت‌های اسمی افزایش رخ داده است و نسبت به تعادل دوم ۳۱/۰۶۵ افزایش در قیمت اسمی هر مترمکعب آب اتفاق افتاده است. مقدار تعادلی نیز در حالت سوم با در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی تالاب و زاینده‌رود (گردشگری)، نسبت به تعادل اول ۸۲/۰۹۱ میلیون مترمکعب افزایش‌یافته است و نسبت به تعادل دوم ۳۵/۲۴۸ میلیون مترمکعب افزایش در مقدار تعادلی بازار اتفاق افتاده است.

به‌این‌ترتیب مبتنی بر نتایج پژوهش پیشنهاد می‌شود که با توجه به تخصیص دولتی آب در حوزه زاینده‌رود تقاضای بخش محیطزیست و گردشگری برای آب مدنظر قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که با توجه به قیمت اسمی بالای آب در این حوزه دولت امکانات نهادی تشکیل بازار آب را تأمین نمایند تا با توجه به قیمت آب در هر بخش تخصیص بهینه آب توسط مکانیسم بازار انجام شود.

منابع

جفره، منوچهر و علیزاده، سعیده (۱۳۸۸)؛ بررسی نقش بازار در تخصیص بهینه منابع آب، علوم اقتصادی، دوره ۲، شماره ۸، ۷۹-۹۵.

جلیلی کامجو، سیدپرویز (۱۳۹۴)؛ تخصیص پایدار و عملی‌سازی طراحی بازار آب (مطالعه موردی حوضه آبریز زاینده-رود)، دانشکده اقتصاد و امور اداری، دانشگاه اصفهان.

جلیلی‌کامجو، سیدپرویز؛ خوش‌اخلاق، رحمان؛ فطرس، محمدحسن و درخشان، مرتضی (۱۳۹۳)؛ برآورد ترجیحات بازدیدکنندگان از زاینده‌رود با استفاده از روش آزمون انتخاب، فصل‌نامه اقتصاد انرژی.

جلیلی‌کامجو، سیدپرویز؛ خوش‌اخلاق، رحمان؛ صمدی، سعید و کیانی، غلامحسین (۱۳۹۳)؛ برآورد ترجیحات بازدیدکنندگان از تالاب گاوخونی با استفاده از روش آزمون انتخاب، مجله تحقیقات اقتصادی.

خوش‌اخلاق، رحمان؛ سجادی، مرضیه‌سادات؛ رجبی، مصطفی و خاشعی، مهدی (۱۳۹۲)؛ ارزیابی تابع تقاضای کلی آب (مطالعه موردی استان اصفهان)، فصلنامه علمی- ترویجی اقتصاد منابع طبیعی، سال اول، شماره اول، ۱-۱۹.

خوش‌اخلاق، رحمان؛ عمادزاده، مصطفی و نورعلیزاده، لیلی (۱۳۷۹)؛ تخمین تابع عرضه اقتصادی درازمدت آب درحوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود، مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هشتم، شماره ۳۰.

شرزه‌ای، غلامعلی و جلیلی‌کامجو، سیدپرویز (۱۳۹۲)؛ الگوسازی انتخاب: الگویی نوین برای ارزش‌گذاری کالاهای زیست‌محیطی، مطالعه موردی گنجنامه همدان، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.

وزارت نیرو (۱۳۹۲)؛ مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور با رویکرد مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آبی.

وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۱)؛ اطلاعات و مشخصات تالاب‌ها، دریاچه‌ها و محدوده‌های ساحلی دریاهای ایران.

Arbués, F.; Garc´ıa-Valiñas; M. Á. and Espiñeira, R. M. (2003); Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review, Socio-Economics, 81-102.

Carraro, C.; March iori, C. and Sgobbi, A., (2005); Applications of Negotiation to Water Issues. Social Science Research Network Electronic Paper Collection.

Kilgour, B. and Dinar, A. (2001); Water allocation mechanisms: Principles and examples, The World Bank Policy Research Working Paper 1779.

Loaiciaga, H. (2004); Analytical Game Theoretic Approach to Groundwater Extraction. Journal of Hydrology, 297: 22-33.

Nakas, M. D.; Wichelns D. and Montgomery, I. (2002); Game theory analysis of competition for groundwater involving El.

Rogers, P. (1969); A game theory approach to the problems of international river basins. Water Resources Research, 5(4): 749-760.

Roth, A. E. (2012). "The Theory and Practice of Market Design, lecture prize", Nobel Lecture, Working Paper.

Supalla, R.; Klaus, B.; Yeboah, O. and Bruins, R. (2002); A game theory approach to deciding who will supply instream flow water. Journal of the American Water Resources Association, 38 (4): 959-966.

Tharme, R. E. and King, J. M. (1998); Development of the Building Block Methodology for Instream Flow Assessment, and Effects of the Different magnitude Flows on Riverine Ecosystems. Water Research Report.

Wang, L. and et al. (2007); Basin-wide cooperative water resources allocation, European Journal of Operational Research, doi:10.1016/j.ejor.2007.06.045.