مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال هفتم، شماره ۸۰، اسفند ۱۴۰۴
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

کاربرد نظریه بازی‌ها در مدل‌سازی تعارضات منابع آب و تصمیم‌گیری بهینه در بخش کشاورزی

مریم نصرآبادی[۱]

[۱] گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران

چکیده

منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در بخش کشاورزی، تحت فشار عواملی مانند رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی، افزایش تقاضا و رقابت بین‌بخشی قرار دارند. از آنجا که کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است، تصمیم‌گیری درباره تخصیص و بهره‌برداری از آب تنها به معیارهای فنی و اقتصادی وابسته نیست، بلکه تحت تأثیر رفتار بهره‌برداران و تعارض منافع آنان نیز قرار دارد. در این شرایط، روش‌های کلاسیک برنامه‌ریزی برای تحلیل مسائل پیچیده آب کافی نیستند. این مقاله با رویکرد توصیفی ـ تحلیلی و بر پایه مرور منابع معتبر، کاربرد نظریه بازی‌ها را در مدل‌سازی تعارضات منابع آب و تصمیم‌گیری بهینه در کشاورزی بررسی می‌کند. در این راستا، انواع بازی‌های همکارانه، غیرهمکارانه، ایستا، پویا، تکراری و دارای اطلاعات کامل یا ناقص در موضوعاتی مانند تخصیص آب، مدیریت آب‌های زیرزمینی، الگوی کشت، قیمت‌گذاری آب و تصمیم‌گیری در شرایط کم‌آبی تحلیل می‌شوند. یافته‌ها نشان می‌دهد نظریه بازی‌ها با توجه به تعاملات راهبردی، رقابت، همکاری، مذاکره و ائتلاف میان بهره‌برداران، می‌تواند تصویری واقع‌گرایانه‌تر از مدیریت منابع آب ارائه دهد. مدل‌های غیرهمکارانه برای تحلیل رقابت و رفتارهای فرصت‌طلبانه و مدل‌های همکارانه برای طراحی سازوکارهای مشارکتی و توافق جمعی مفید هستند. با وجود چالش‌هایی مانند کمبود داده، دشواری برآورد رفتار انسانی و فاصله میان مدل و واقعیت نهادی، نظریه بازی‌ها چارچوبی کارآمد برای تحلیل تعارضات آبی و بهبود تصمیم‌گیری در کشاورزی به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: نظریه بازی‌ها، مدیریت منابع آب، تعارضات آبی، بخش کشاورزی، تخصیص آب

۱. مقدمه

آب، یکی از اساسی‌ترین نهاده‌های تولید در کشاورزی و در عین حال یکی از محدودترین منابع طبیعی در بسیاری از مناطق جهان است. رشد جمعیت، افزایش تقاضا برای غذا، توسعه شهرنشینی، صنعتی‌شدن، تشدید تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب تجدیدپذیر سبب شده‌اند که مدیریت منابع آب از یک مسئله صرفاً فنی به مسئله‌ای چندبعدی، اقتصادی، اجتماعی و نهادی تبدیل شود. در این میان، بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، در مرکز بسیاری از تعارضات مربوط به تخصیص و بهره‌برداری از این منبع قرار دارد. در کشورهایی نظیر ایران که در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، این چالش با شدت بیشتری بروز می‌یابد؛ زیرا هم محدودیت طبیعی منابع آب وجود دارد و هم ساختارهای بهره‌برداری، الگوهای کشت، و نهادهای مدیریت آب با مشکلات تاریخی و ساختاری مواجه‌اند.

در شرایطی که منابع آب محدود و تقاضاهای بهره‌برداران متعدد است، تصمیم‌گیری درباره اینکه چه کسی، چه مقدار، در چه زمانی و با چه اولویتی از آب استفاده کند، به موضوعی پیچیده و تعارض‌آمیز تبدیل می‌شود. این تعارضات ممکن است میان کشاورزان در سطح یک شبکه آبیاری، میان بالادست و پایین‌دست یک حوضه، میان کاربران آب سطحی و زیرزمینی، یا میان بخش کشاورزی و سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب شکل گیرد. افزون بر این، درون بخش کشاورزی نیز کشاورزان بر سر زمان‌بندی آب، نوع محصول، استراتژی برداشت و پذیرش یا عدم پذیرش محدودیت‌ها، رفتارهای متفاوت و گاه متضادی دارند.

بسیاری از الگوهای سنتی برنامه‌ریزی آب، بر مبنای وجود یک تصمیم‌گیرنده مرکزی و اهداف واحد طراحی شده‌اند. در این مدل‌ها فرض می‌شود که برنامه‌ریز می‌تواند با اطلاعات کافی و کنترل کامل، تخصیص بهینه منابع را تعیین کند. اما در واقعیت، مدیریت آب در کشاورزی اغلب در بستری از تعاملات راهبردی میان کنشگران مستقل رخ می‌دهد؛ کنشگرانی که هر یک اهداف، ترجیحات، محدودیت‌ها و انتظارات خاص خود را دارند و تصمیماتشان بر تصمیمات دیگران اثر می‌گذارد. از این‌رو، برای تحلیل واقع‌بینانه‌تر مسائل آب، باید از چارچوب‌هایی استفاده کرد که رفتار متقابل بازیگران را در نظر بگیرند.

نظریه بازی‌ها یکی از مهم‌ترین چارچوب‌های تحلیلی برای مطالعه چنین موقعیت‌هایی است. این نظریه که ابتدا در ریاضیات و اقتصاد توسعه یافت، به بررسی تصمیم‌گیری در شرایطی می‌پردازد که نتیجه هر تصمیم نه‌تنها به انتخاب خود فرد، بلکه به انتخاب دیگران نیز وابسته است. از این منظر، نظریه بازی‌ها ابزار ارزشمندی برای تحلیل تعارضات منابع آب، طراحی سازوکارهای همکاری، ارزیابی پیامد سیاست‌ها و یافتن راه‌حل‌های تعادلی در مدیریت کشاورزی به شمار می‌رود.

کاربرد نظریه بازی‌ها در حوزه آب، به‌ویژه از دهه‌های پایانی قرن بیستم به بعد، توسعه چشمگیری یافته است. پژوهشگران از این نظریه برای تحلیل بهره‌برداری رقابتی از آب‌های زیرزمینی، تخصیص آب در رودخانه‌های مشترک، حل تعارضات بین کشاورزان، طراحی قراردادهای مشارکتی، مدیریت خشکسالی، و بررسی سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی استفاده کرده‌اند. مزیت اصلی این رویکرد آن است که به‌جای نادیده گرفتن تعارض، آن را به‌عنوان بخشی ذاتی از سیستم می‌پذیرد و می‌کوشد رفتار بازیگران را در بستری از رقابت، مذاکره، تهدید، اعتماد، ائتلاف و توافق تحلیل کند.

در بخش کشاورزی، که تصمیمات بهره‌برداران غالباً به‌صورت غیرمتمرکز اتخاذ می‌شود و منافع فردی و جمعی همیشه همسو نیست، نظریه بازی‌ها می‌تواند درک عمیق‌تری از پویایی‌های تصمیم‌گیری ارائه دهد. برای مثال، در بهره‌برداری از یک آبخوان مشترک، هر کشاورز انگیزه دارد برداشت خود را افزایش دهد تا سود کوتاه‌مدت بیشتری کسب کند، اما این رفتار اگر به‌صورت جمعی تکرار شود، به افت سطح آب و زیان همگانی منجر خواهد شد. این وضعیت نمونه‌ای کلاسیک از تعارض میان منفعت فردی و منفعت جمعی است که نظریه بازی‌ها به‌خوبی آن را مدل‌سازی می‌کند.

مقاله حاضر با هدف بررسی جامع کاربرد نظریه بازی‌ها در مدل‌سازی تعارضات منابع آب و تصمیم‌گیری بهینه در بخش کشاورزی تدوین شده است. این مقاله می‌کوشد ضمن تبیین مبانی نظری، گونه‌های مختلف بازی و کاربردهای آن‌ها را در مسائل کشاورزی و آب معرفی کرده، سپس مزایا، محدودیت‌ها و ظرفیت‌های این رویکرد را برای مدیریت پایدار منابع آب تحلیل کند.

۲. بیان مسئله

بحران آب در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک، تنها ناشی از کمبود فیزیکی آب نیست، بلکه به‌شدت با الگوهای بهره‌برداری، سازوکارهای تخصیص، نهادهای حاکمیتی و رفتار بهره‌برداران مرتبط است. در بخش کشاورزی، که بیشترین سهم از مصرف آب را در اختیار دارد، تعارضات متعددی در سطوح مختلف شکل می‌گیرد: تعارض بین کشاورزان بر سر تقسیم آب کانال، تعارض بین بهره‌برداران چاه‌ها بر سر افت سفره زیرزمینی، تعارض بین مناطق بالادست و پایین‌دست بر سر جریان رودخانه، و حتی تعارض میان اهداف تولید بیشتر و ضرورت حفظ پایداری منابع.

مسئله اساسی آن است که بسیاری از این تعارضات، ماهیتی راهبردی دارند. به این معنا که تصمیم هر بهره‌بردار به تصمیم دیگران وابسته است. اگر یک کشاورز تصور کند دیگران برداشت آب خود را افزایش خواهند داد، ممکن است او نیز برای جلوگیری از عقب‌ماندن، همان رفتار را در پیش گیرد. در چنین فضایی، انتخاب‌ها نه‌فقط بر مبنای نیاز فنی یا اقتصادی، بلکه بر اساس انتظار از رفتار دیگران شکل می‌گیرند. این ویژگی، مسائل منابع آب را از بسیاری از مسائل کلاسیک مهندسی متمایز می‌سازد.

مدل‌های بهینه‌سازی متعارف، گرچه در تعیین الگوهای کارا و محاسبه تخصیص‌های مطلوب مفیدند، اما معمولاً قادر به توضیح این نیستند که چرا بهره‌برداران در عمل از راه‌حل‌های بهینه جمعی پیروی نمی‌کنند. برای مثال، ممکن است یک مدل برنامه‌ریزی خطی نشان دهد که کاهش برداشت از سفره زیرزمینی برای همه بهره‌برداران در بلندمدت سودمند است، اما در واقعیت، هر فرد به‌دلیل بی‌اعتمادی یا انگیزه سود کوتاه‌مدت، از همکاری سر باز زند. در نتیجه، راه‌حل فنی موجود لزوماً به رفتار واقعی منجر نمی‌شود.

این شکاف میان «راه‌حل بهینه» و «رفتار واقعی» یکی از مسائل اصلی مدیریت منابع آب کشاورزی است. نظریه بازی‌ها می‌تواند این شکاف را تا حد زیادی توضیح دهد؛ زیرا به‌جای فرض همکاری کامل، رفتار استراتژیک، رقابت، امکان ائتلاف و تعارض منافع را در متن تحلیل قرار می‌دهد. با این حال، استفاده از نظریه بازی‌ها در مسائل آب و کشاورزی در بسیاری از مطالعات داخلی هنوز به‌طور کامل توسعه نیافته و گاه تنها به صورت مفهومی به آن اشاره شده است.

بنابراین، مسئله اصلی این مقاله آن است که نظریه بازی‌ها چگونه می‌تواند به مدل‌سازی واقع‌بینانه‌تر تعارضات منابع آب و بهبود تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی کمک کند، و در عین حال چه محدودیت‌ها و الزامات نهادی برای کاربرد عملی آن وجود دارد.

۳. اهمیت و ضرورت تحقیق

اهمیت این تحقیق از چند منظر قابل بیان است. نخست، از منظر مدیریتی، بخش قابل توجهی از ناکارآمدی در مصرف آب کشاورزی ناشی از تعارضات حل‌نشده و رفتارهای فردگرایانه است. هر چارچوبی که بتواند این رفتارها را بهتر تحلیل و مدیریت کند، ارزش بالایی برای سیاست‌گذاری آب دارد. دوم، از منظر نظری، نظریه بازی‌ها امکان عبور از نگاه ایستا و تک‌عاملی به تصمیم‌گیری را فراهم کرده و تحلیل پویاتر و اجتماعی‌تری از بهره‌برداری منابع ارائه می‌دهد. سوم، از منظر کاربردی، این نظریه می‌تواند برای طراحی سازوکارهای مشارکتی، نهادهای محلی، نظام‌های سهمیه‌بندی، قراردادهای اشتراک آب و سیاست‌های انگیزشی مفید باشد.

در ایران، با توجه به تشدید بحران آب، افت آبخوان‌ها، کاهش جریان‌های سطحی، افزایش رقابت میان مصرف‌کنندگان و ضرورت اصلاح الگوی کشت، بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی پیشرفته برای درک رفتار بهره‌برداران و طراحی راه‌حل‌های پایدار، بیش از گذشته ضروری است. در چنین بستری، نظریه بازی‌ها می‌تواند به‌عنوان پلی میان اقتصاد، مدیریت، مهندسی آب و علوم اجتماعی عمل کند.

۴. اهداف تحقیق

۴-۱. هدف کلی

بررسی نقش و ظرفیت نظریه بازی‌ها در مدل‌سازی تعارضات منابع آب و تصمیم‌گیری بهینه در بخش کشاورزی.

۴-۲. اهداف جزئی

۱. تبیین مفاهیم پایه نظریه بازی‌ها در ارتباط با مدیریت منابع آب.
۲. معرفی انواع بازی‌های قابل کاربرد در مسائل آب کشاورزی.
۳. تحلیل کاربرد نظریه بازی‌ها در تخصیص آب، بهره‌برداری از آب زیرزمینی و الگوی کشت.
٤. بررسی ظرفیت بازی‌های همکارانه و غیرهمکارانه در حل تعارضات آبی.
٥. تحلیل مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌های کاربرد این نظریه در سیاست‌گذاری و مدیریت آب کشاورزی.
٦. ارائه چارچوبی پیشنهادی برای استفاده از نظریه بازی‌ها در تصمیم‌گیری بهینه بخش کشاورزی.

۵. سؤالات تحقیق

۱. نظریه بازی‌ها چگونه می‌تواند تعارضات منابع آب در بخش کشاورزی را مدل‌سازی کند؟
۲. کدام انواع بازی‌ها برای تحلیل مسائل مختلف آب کشاورزی مناسب‌تر هستند؟
۳. نظریه بازی‌ها چه نقشی در بهبود تصمیم‌گیری بهینه درباره تخصیص و بهره‌برداری از آب دارد؟
٤. مهم‌ترین چالش‌های کاربرد عملی این نظریه در مدیریت منابع آب کشاورزی چیست؟

۶. روش تحقیق

این مقاله از نوع مروری ـ تحلیلی است و بر پایه بررسی نظام‌مند منابع معتبر داخلی و خارجی تدوین شده است. داده‌ها و مباحث نظری از طریق مطالعه کتاب‌ها، مقالات علمی ـ پژوهشی، گزارش‌های بین‌المللی و منابع دانشگاهی مرتبط با نظریه بازی‌ها، اقتصاد آب، مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری کشاورزی گردآوری شده‌اند. برای انتخاب منابع، معیارهایی چون اعتبار علمی، استنادپذیری، ارتباط مستقیم با موضوع و پوشش ابعاد نظری و کاربردی مدنظر قرار گرفت.

در مرحله تحلیل، ابتدا ادبیات مفهومی و نظری موضوع سامان‌دهی شد، سپس کاربردهای اصلی نظریه بازی‌ها در مسائل آب کشاورزی دسته‌بندی و مقایسه شد. در ادامه، بر اساس تحلیل منابع، مزایا، محدودیت‌ها، چالش‌ها و دلالت‌های سیاستی این رویکرد استخراج و تبیین شد.

۷. مبانی نظری

۷-۱. تعارض در منابع آب

منابع آب، به‌ویژه هنگامی که به‌صورت مشترک استفاده می‌شوند، مستعد بروز تعارض هستند. این تعارض می‌تواند ناشی از کمیابی، عدم تقارن در دسترسی، تفاوت در قدرت چانه‌زنی، ناهمگونی منافع، و نبود نهادهای تنظیم‌گر مؤثر باشد. استروم در تحلیل منابع مشترک نشان می‌دهد که بسیاری از منابع طبیعی، در غیاب قواعد جمعی مؤثر، در معرض بهره‌برداری بیش از حد قرار می‌گیرند و تعارض میان استفاده‌کنندگان تشدید می‌شود (استروم، ۱۹۹۰).

در حوزه آب کشاورزی، این تعارضات به‌دلیل ماهیت حیاتی آب و وابستگی مستقیم درآمد بهره‌برداران به آن، از اهمیت بیشتری برخوردار است. برخلاف برخی نهاده‌های دیگر، کمبود آب به‌سرعت می‌تواند به افت عملکرد، زیان اقتصادی، کاهش امنیت غذایی و تنش‌های اجتماعی منجر شود.

۷-۲. مبانی نظریه بازی‌ها

نظریه بازی‌ها مطالعه تصمیم‌گیری در شرایط تعامل راهبردی است؛ یعنی وضعیتی که نتیجه هر کنش به تصمیمات دیگران نیز بستگی دارد. فون نویمان و مورگنسترن در اثر کلاسیک خود، بنیان‌های این نظریه را در قالب تحلیل بازی‌های اقتصادی و اجتماعی ارائه کردند (فون نویمان و مورگنسترن، ۱۹۴۴). پس از آن، نش با معرفی مفهوم تعادل نش، چارچوبی فراهم کرد که بر اساس آن، مجموعه‌ای از راهبردها زمانی در تعادل قرار می‌گیرند که هیچ بازیگری با تغییر یک‌جانبه تصمیم خود سود بیشتری کسب نکند (نش، ۱۹۵۰).

این نظریه در ابتدا بیشتر در اقتصاد و علوم سیاسی کاربرد داشت، اما به‌تدریج در مدیریت منابع طبیعی، محیط زیست و آب نیز مورد استفاده قرار گرفت؛ زیرا بسیاری از مسائل این حوزه، ذاتاً راهبردی و چندکنشگری هستند.

۷-۳. عناصر اصلی یک بازی

هر بازی شامل مجموعه‌ای از بازیگران، راهبردها، اطلاعات، قواعد تعامل و پیامدها یا پرداخت‌هاست. بازیگران ممکن است کشاورزان، شرکت‌های آب، نهادهای دولتی، یا مناطق جغرافیایی باشند. راهبردها می‌توانند شامل میزان برداشت آب، انتخاب محصول، پذیرش یا رد همکاری، سرمایه‌گذاری در فناوری صرفه‌جویی، یا مشارکت در توافق جمعی باشند. پرداخت‌ها نیز معمولاً در قالب سود اقتصادی، کاهش هزینه، بهبود امنیت آبی یا اجتناب از زیان تعریف می‌شوند.

در مسائل واقعی آب، این پرداخت‌ها اغلب چندبعدی‌اند و به عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی وابسته‌اند؛ به همین دلیل، مدل‌سازی آن‌ها نیازمند ساده‌سازی‌های تحلیلی یا ترکیب نظریه بازی‌ها با روش‌های دیگر است.

۸. انواع نظریه بازی‌ها و کاربرد آن‌ها در مسائل آب کشاورزی

۸-۱. بازی‌های غیرهمکارانه

در بازی‌های غیرهمکارانه، هر بازیگر به‌طور مستقل و با هدف حداکثرسازی منفعت خود تصمیم می‌گیرد. این نوع بازی‌ها برای تحلیل شرایطی مناسب‌اند که نهاد همکاری ضعیف است یا بازیگران به یکدیگر اعتماد کافی ندارند. بهره‌برداری رقابتی از آبخوان، نمونه‌ای بارز از این وضعیت است.

در چنین حالتی، هر کشاورز می‌داند که اگر برداشت خود را محدود کند اما دیگران چنین نکنند، او متضرر خواهد شد. بنابراین، راهبرد عقلایی فردی ممکن است افزایش برداشت باشد، حتی اگر نتیجه جمعی آن نامطلوب باشد. این وضعیت مشابه «معمای زندانی» در نظریه بازی‌هاست و می‌تواند توضیح دهد که چرا منابع مشترک اغلب در معرض تخریب قرار می‌گیرند (گاردنر، استرن و واکر، ۱۹۹۰).

۸-۲. بازی‌های همکارانه

در بازی‌های همکارانه، امکان ائتلاف، مذاکره و تقسیم منافع میان بازیگران وجود دارد. این بازی‌ها برای تحلیل قراردادهای مشارکتی، انجمن‌های آب‌بران، یا توافق‌های محلی بر سر برداشت آب بسیار مناسب‌اند. در این رویکرد، پرسش اصلی فقط این نیست که چه تعادلی به‌وجود می‌آید، بلکه این است که چگونه می‌توان منافع حاصل از همکاری را به‌صورت منصفانه میان بازیگران توزیع کرد.

مفاهیمی نظیر هسته، ارزش شپلی و چانه‌زنی نش از مهم‌ترین ابزارهای این حوزه‌اند. ارزش شپلی، برای نمونه، راهی برای توزیع منافع همکاری بر اساس سهم نسبی هر بازیگر در ائتلاف ارائه می‌کند (شپلی، ۱۹۵۳). در مسائل آب، از این مفهوم برای تقسیم منافع حاصل از مدیریت مشترک یا پروژه‌های زیرساختی استفاده شده است.

۸-۳. بازی‌های پویا و تکراری

بسیاری از مسائل آب، یک‌باره و ایستا نیستند، بلکه در طول زمان تکرار می‌شوند. کشاورزان در هر فصل زراعی، بار دیگر درباره برداشت، کشت و همکاری تصمیم می‌گیرند. در چنین شرایطی، بازی‌های تکراری و پویا می‌توانند رفتارهای بلندمدت، شکل‌گیری اعتماد، تنبیه متخلفان و یادگیری اجتماعی را بهتر نشان دهند.

برای مثال، اگر کشاورزان بدانند که تعامل آن‌ها در آینده نیز ادامه خواهد داشت، ممکن است همکاری را ترجیح دهند؛ زیرا نقض توافق در یک دوره می‌تواند به مجازات در دوره‌های بعدی منجر شود. این دیدگاه، در تحلیل پایداری نهادهای محلی مدیریت آب بسیار مهم است (فیودور و نیکلسن، ۱۹۹۵).

۸-۴. بازی‌های با اطلاعات ناقص

در بسیاری از مسائل واقعی، بازیگران اطلاعات کامل درباره هزینه‌ها، منافع، ترجیحات یا ظرفیت دیگران ندارند. برای مثال، یک کشاورز ممکن است از نیاز واقعی آب مزرعه همسایه، توان مالی او یا احتمال تخلف وی از توافق مطمئن نباشد. بازی‌های با اطلاعات ناقص یا نامتقارن، این وضعیت را مدل‌سازی می‌کنند.

چنین بازی‌هایی برای تحلیل سیاست‌های نظارتی، طراحی مشوق‌ها، و فهم شکست‌های همکاری در مدیریت آب اهمیت زیادی دارند؛ زیرا بخش زیادی از تعارضات آبی در بستر عدم شفافیت اطلاعاتی شکل می‌گیرد.

۹. کاربرد نظریه بازی‌ها در مدل‌سازی تعارضات منابع آب کشاورزی

۹-۱. تخصیص آب بین کشاورزان در شبکه‌های آبیاری

یکی از رایج‌ترین کاربردهای نظریه بازی‌ها، تحلیل نحوه تقسیم آب میان کشاورزان در کانال‌ها و شبکه‌های آبیاری است. در این شرایط، کشاورزان بالادست و پایین‌دست اغلب در موقعیت نابرابر قرار دارند. کشاورزان بالادست ممکن است با برداشت بیشتر، جریان آب به پایین‌دست را کاهش دهند. اگر سازوکار الزام‌آور یا نظارتی وجود نداشته باشد، تعارض تشدید می‌شود.

نظریه بازی‌ها این امکان را فراهم می‌کند که رفتار هر گروه، واکنش گروه مقابل و پیامدهای تعادلی آن تحلیل شود. در برخی مطالعات، نشان داده شده است که وجود نهاد محلی، شفافیت اطلاعات و جریمه‌های معتبر می‌تواند بازی را از تعادل رقابتیِ ناکارا به سمت تعادل همکارانه هدایت کند (دینار و هاگ، ۱۹۹۵).

۹-۲. مدیریت آب‌های زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین زمینه‌های کاربرد نظریه بازی‌ها هستند. آبخوان‌ها معمولاً به‌صورت منبع مشترک مورد استفاده قرار می‌گیرند و برداشت هر بهره‌بردار بر دسترسی دیگران اثر می‌گذارد. در غیاب تنظیم مؤثر، هر بهره‌بردار تمایل دارد سهم بیشتری از آب برداشت کند، که این امر در بلندمدت به افت سطح آب، افزایش هزینه پمپاژ، شورشدگی و تخریب منبع منجر می‌شود.

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که بهره‌برداری از آبخوان‌ها را می‌توان در قالب بازی غیرهمکارانه مدل‌سازی کرد و سپس با معرفی سازوکارهای تشویقی، سهمیه‌بندی یا پرداخت جبرانی، مسیر حرکت به سمت همکاری را تحلیل نمود (مادن و هاول، ۱۹۹۷). در این زمینه، نظریه بازی‌ها کمک می‌کند تا مشخص شود چرا راه‌حل‌های جمعی مطلوب، بدون مداخله نهادی یا توافق معتبر، به‌طور خودکار شکل نمی‌گیرند.

۹-۳. تصمیم‌گیری درباره الگوی کشت

انتخاب الگوی کشت نیز در بسیاری از مناطق، ماهیتی راهبردی دارد. اگر کشاورزان به‌صورت هم‌زمان درباره کشت محصولات پرآب‌بر یا کم‌آب‌بر تصمیم بگیرند، نتیجه نهایی بر تقاضای کل آب منطقه اثر خواهد گذاشت. در شرایط کم‌آبی، ممکن است منفعت جمعی ایجاب کند که بخشی از کشاورزان به سمت محصولات کم‌آب‌بر حرکت کنند، اما هر کشاورز به‌صورت فردی ترجیح دهد محصولی با سود بالاتر و آب‌برتر بکارد.

نظریه بازی‌ها می‌تواند این تعارض بین سود خصوصی و هزینه اجتماعی را نشان دهد و در طراحی مشوق‌های تغییر الگوی کشت مفید باشد. به‌ویژه، ترکیب بازی‌ها با برنامه‌ریزی ریاضی این امکان را می‌دهد که هم رفتار استراتژیک و هم محدودیت‌های فنی تولید به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند.

۹-۴. قیمت‌گذاری آب و سیاست‌های انگیزشی

قیمت‌گذاری آب یکی از ابزارهای رایج مدیریت تقاضاست، اما اثربخشی آن تا حد زیادی به رفتار بهره‌برداران و انتظارات آنان از رفتار دیگران وابسته است. اگر برخی کاربران گمان کنند دیگران از محدودیت‌ها تبعیت نمی‌کنند یا هزینه واقعی نمی‌پردازند، انگیزه همکاری کاهش می‌یابد. نظریه بازی‌ها می‌تواند نشان دهد که چگونه ساختار تعرفه‌ها، جریمه‌ها و پاداش‌ها بر تعادل رفتاری کاربران اثر می‌گذارد.

از این منظر، سیاست قیمت‌گذاری نه صرفاً یک ابزار اقتصادی، بلکه بخشی از یک بازی نهادی میان دولت و بهره‌برداران یا میان خود بهره‌برداران تلقی می‌شود. این نگاه، طراحی سیاست‌های کاراتر و واقع‌بینانه‌تر را ممکن می‌سازد.

۹-۵. مدیریت خشکسالی و شرایط کم‌آبی

در دوره‌های خشکسالی، تعارضات آبی تشدید می‌شوند؛ زیرا منبع محدودتر شده و رقابت برای آن افزایش می‌یابد. در این شرایط، تصمیم درباره کاهش سهمیه، جبران خسارت، اولویت‌بندی محصولات و تقسیم بار کمبود میان بهره‌برداران به‌شدت حساس است. نظریه بازی‌ها در این زمینه می‌تواند برای تحلیل پذیرش یا عدم پذیرش سیاست‌های محدودکننده، احتمال شکل‌گیری توافق‌های منطقه‌ای، و طراحی سازوکارهای جبرانی استفاده شود.

مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط تنش شدید، بازی‌های همکارانه همراه با مکانیزم‌های جبرانی عادلانه، شانس موفقیت بیشتری نسبت به راه‌حل‌های صرفاً دستوری دارند؛ زیرا بهره‌برداران در صورتی به محدودیت تن می‌دهند که احساس کنند بار هزینه‌ها به‌صورت منصفانه توزیع شده است (رانسما و سوزا، ۲۰۱۰).

جدول ۱. انواع بازی‌ها و کاربرد آن‌ها در مدیریت منابع آب کشاورزی

نوع بازی	ویژگی اصلی	نمونه کاربرد در آب کشاورزی	مزیت تحلیلی	محدودیت
غیرهمکارانه	تصمیم‌گیری مستقل و رقابتی	برداشت رقابتی از آبخوان	نمایش رفتار فرصت‌طلبانه و تعادل نش	نادیده گرفتن ظرفیت همکاری نهادی
همکارانه	امکان ائتلاف و تقسیم منافع	توافق کشاورزان برای تقسیم آب	تحلیل عدالت، مشارکت و منافع جمعی	نیاز به تعریف سازوکار تقسیم منفعت
پویا/تکراری	تعامل در طول زمان	همکاری یا تخلف در چند فصل زراعی	تحلیل اعتماد، مجازات و یادگیری	پیچیدگی محاسباتی بیشتر
اطلاعات ناقص	عدم قطعیت درباره ترجیحات یا رفتار دیگران	عدم اطلاع از میزان برداشت واقعی سایرین	واقع‌گرایی بیشتر در مدل‌سازی	نیاز به داده و فرضیات پیچیده
بازی چانه‌زنی	مذاکره برای رسیدن به توافق	تعیین سهمیه آب بین مناطق	مناسب برای تحلیل توافق و سازش	حساس به قدرت چانه‌زنی بازیگران

جدول ۱ نشان می‌دهد که هر نوع بازی، برای جنبه خاصی از مسائل آب مناسب‌تر است. بازی‌های غیرهمکارانه بیشتر به فهم ریشه‌های ناکارآمدی می‌پردازند، در حالی که بازی‌های همکارانه راه‌حل‌های نهادی و اشتراک منافع را برجسته می‌کنند. در عمل، بسیاری از مسائل آب نیازمند ترکیب این رویکردها هستند؛ یعنی ابتدا باید سازوکار رقابت و تعارض شناخته شود و سپس امکان‌پذیری همکاری بررسی گردد.

۱۰. نظریه بازی‌ها و تصمیم‌گیری بهینه در بخش کشاورزی

۱۰-۱. فراتر از بهینه‌سازی کلاسیک

تصمیم‌گیری بهینه در کشاورزی معمولاً با مفاهیمی مانند حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی هزینه، یا تخصیص کارای منابع تعریف می‌شود. اما در بسیاری از مسائل آب، بهینگی صرفاً تابع شرایط فنی و اقتصادی نیست، بلکه به رفتار سایر کنشگران بستگی دارد. اگر کشاورز بداند که تصمیم او به‌وسیله واکنش دیگران خنثی می‌شود یا زیان می‌بیند، ممکن است از راه‌حل فنی بهینه تبعیت نکند. نظریه بازی‌ها این بعد راهبردی را وارد مفهوم بهینگی می‌کند.

در نتیجه، «تصمیم بهینه» در این چارچوب، تصمیمی است که نه‌فقط با محدودیت‌های فنی، بلکه با پیش‌بینی عقلایی رفتار دیگران نیز سازگار باشد. این امر به‌ویژه برای تصمیم‌گیری درباره برداشت آب، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صرفه‌جویی، و انتخاب الگوی کشت اهمیت دارد.

۱۰-۲. ترکیب نظریه بازی‌ها با برنامه‌ریزی ریاضی

یکی از رویکردهای مهم در پژوهش‌های جدید، ادغام نظریه بازی‌ها با برنامه‌ریزی ریاضی است. در این روش، برای هر بازیگر یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود و برهم‌کنش این مسائل، تعادل سیستم را شکل می‌دهد. این رویکرد می‌تواند محدودیت‌های زمین، آب، سرمایه، و فناوری را در کنار رفتار راهبردی بازیگران در نظر بگیرد.

برای مثال، می‌توان الگوی کشت هر کشاورز را با یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی تعیین کرد، در حالی که انتخاب نهایی او به تصمیمات دیگر کشاورزان و تخصیص مشترک آب وابسته باشد. این ترکیب، به‌ویژه در تحلیل سیاست‌های منطقه‌ای آب، بسیار مفید است.

۳-۱۰. پشتیبانی از سیاست‌گذاری و طراحی نهادها

کاربرد نظریه بازی‌ها فقط در تحلیل رفتار موجود خلاصه نمی‌شود، بلکه می‌تواند در طراحی نهادها و سیاست‌ها نیز مفید باشد. اگر بدانیم بازیگران در برابر یک سیاست چگونه واکنش نشان می‌دهند، می‌توان سازوکارهایی طراحی کرد که تعادل‌های مطلوب‌تر را ایجاد کنند. برای مثال، اگر مشخص شود که همکاری تنها در صورت وجود جبران مالی یا ضمانت اجرایی شکل می‌گیرد، می‌توان سیاست مناسب را بر آن اساس طراحی کرد.

از این منظر، نظریه بازی‌ها نه‌فقط ابزار تحلیل، بلکه ابزاری برای «مهندسی نهادی» در مدیریت منابع آب است.

جدول ۲. حوزه‌های کاربرد نظریه بازی‌ها در تصمیم‌گیری بهینه آب کشاورزی

حوزه تصمیم‌گیری	مسئله اصلی	نقش نظریه بازی‌ها	خروجی مورد انتظار
تخصیص آب سطحی	رقابت بین کشاورزان یا مناطق	تحلیل تعارض و توافق بر سر سهم آب	تخصیص عادلانه‌تر و پایدارتر
بهره‌برداری از آب زیرزمینی	برداشت بیش از حد از آبخوان	مدل‌سازی معمای منبع مشترک	طراحی قواعد کنترل برداشت
الگوی کشت	انتخاب محصول با آب محدود	تحلیل تعارض سود خصوصی و منفعت جمعی	توسعه مشوق‌های تغییر کشت
قیمت‌گذاری آب	واکنش بهره‌برداران به تعرفه‌ها	پیش‌بینی رفتار و پذیرش سیاست	تعرفه‌گذاری مؤثرتر
خشکسالی	تقسیم کمبود و مدیریت ریسک	تحلیل همکاری و جبران خسارت	کاهش تنش و افزایش تاب‌آوری
فناوری صرفه‌جویی	پذیرش یا عدم پذیرش نوآوری	بررسی اثر رفتار متقابل بر سرمایه‌گذاری	ترویج کاراتر فناوری

این جدول نشان می‌دهد که نظریه بازی‌ها در تمام سطوح تصمیم‌گیری آب کشاورزی، از مزرعه تا حوضه آبریز، قابلیت کاربرد دارد. مزیت مهم آن این است که تصمیمات را نه به‌عنوان انتخاب‌های منفرد، بلکه در قالب شبکه‌ای از واکنش‌های متقابل می‌بیند.

۱۱. تلفیق نظریه بازی‌ها با سایر رویکردهای تحلیلی

۱-۱۱. نظریه بازی‌ها و شبیه‌سازی

در مسائل پیچیده منابع آب، به‌ویژه زمانی که تعداد بازیگران زیاد یا پویایی سیستم بالا است، استفاده از شبیه‌سازی در کنار نظریه بازی‌ها سودمند است. مدل‌های عامل‌مبنا، برای مثال، می‌توانند رفتار بهره‌برداران را با ویژگی‌های متفاوت شبیه‌سازی کرده و پیامدهای الگوهای مختلف تعامل را نشان دهند.

این ترکیب به‌ویژه برای تحلیل رفتارهای ناهمگن، یادگیری اجتماعی و اثر نهادهای محلی بر همکاری مفید است.

۲-۱۱. نظریه بازی‌ها و تحلیل چندمعیاره

تصمیمات مربوط به آب کشاورزی معمولاً فقط بر اساس سود اقتصادی گرفته نمی‌شوند. معیارهایی مانند عدالت، اشتغال، پایداری محیط‌زیستی و امنیت غذایی نیز اهمیت دارند. ترکیب نظریه بازی‌ها با تحلیل چندمعیاره، این امکان را می‌دهد که ترجیحات چندبعدی بازیگران بهتر در مدل لحاظ شود.

۳-۱۱. نظریه بازی‌ها و اقتصاد رفتاری

یکی از نقدهای وارد بر برخی مدل‌های نظریه بازی‌ها، فرض عقلانیت کامل است. در حالی که در واقعیت، کشاورزان ممکن است تحت تأثیر هنجارهای اجتماعی، انصاف، اعتماد، ترس، یا عادت تصمیم بگیرند. اقتصاد رفتاری و آزمایش‌های میدانی می‌توانند به اصلاح این فرض‌ها کمک کنند. پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که ترکیب نظریه بازی‌ها با ملاحظات رفتاری، درک واقعی‌تری از مدیریت منابع مشترک ارائه می‌دهد (کامرر، ۲۰۰۳).

۱۲. چالش‌ها و محدودیت‌های کاربرد نظریه بازی‌ها در مدیریت آب کشاورزی

۱-۱۲. دشواری در برآورد توابع مطلوبیت

برای مدل‌سازی بازی، باید مشخص شود که هر بازیگر چه هدفی را دنبال می‌کند و از هر نتیجه چه میزان مطلوبیت کسب می‌کند. در عمل، برآورد این توابع دشوار است؛ زیرا ترجیحات بهره‌برداران همیشه شفاف، ثابت یا قابل اندازه‌گیری نیستند.

۲-۱۲. پیچیدگی رفتار انسانی

رفتار واقعی انسان‌ها همواره مطابق با پیش‌بینی‌های نظریه کلاسیک بازی‌ها نیست. عوامل فرهنگی، روان‌شناختی، اجتماعی و نهادی می‌توانند تصمیمات را تغییر دهند. از این رو، استفاده از مدل‌های ساده‌شده ممکن است بخشی از واقعیت را نادیده بگیرد.

۳-۱۲. محدودیت داده‌ها

کاربرد عملی این نظریه نیازمند داده‌هایی درباره الگوی برداشت، درآمد، هزینه، ترجیحات، روابط اجتماعی و ساختار نهادی است. در بسیاری از مناطق، چنین داده‌هایی یا موجود نیست یا با دقت کافی گردآوری نشده است.

۴-۱۲. شکاف میان مدل و نهاد

حتی اگر یک مدل بازی بتواند راه‌حل مطلوبی ارائه دهد، اجرای آن نیازمند وجود نهادهای معتبر، سازوکارهای نظارتی، ضمانت اجرا و پذیرش اجتماعی است. در غیاب این عناصر، نتایج مدل ممکن است در سطح نظری باقی بماند.

جدول ۳. مزایا و چالش‌های استفاده از نظریه بازی‌ها در مدیریت منابع آب کشاورزی

بُعد	مزایا	چالش‌ها
تحلیلی	مدل‌سازی رفتار متقابل و تعارض واقعی	پیچیدگی در تعریف دقیق بازی
مدیریتی	کمک به طراحی سازوکار همکاری	نیاز به نهادهای پشتیبان
اقتصادی	تحلیل انگیزه‌ها و واکنش به سیاست‌ها	دشواری برآورد مطلوبیت‌ها
اجتماعی	توجه به عدالت، مذاکره و چانه‌زنی	حساسیت به اعتماد و سرمایه اجتماعی
کاربردی	قابلیت تلفیق با مدل‌های دیگر	محدودیت داده و اجرای میدانی

این جدول نشان می‌دهد که نظریه بازی‌ها با وجود ظرفیت تحلیلی بالا، زمانی بیشترین اثربخشی را دارد که به‌صورت بومی‌سازی‌شده و همراه با شناخت دقیق ساختار اجتماعی و نهادی منطقه به کار گرفته شود.

۱۳. بحث

بررسی منابع نشان می‌دهد که نظریه بازی‌ها در مقایسه با رویکردهای کلاسیک مدیریت آب، مزیت مهمی در تحلیل «چگونگی رفتار واقعی» بهره‌برداران دارد. این نظریه نشان می‌دهد که بسیاری از ناکارآمدی‌های مشاهده‌شده در مصرف آب، نه ناشی از نبود راه‌حل فنی، بلکه ناشی از شکست در هماهنگی، بی‌اعتمادی، نبود نهادهای مناسب و غلبه منافع کوتاه‌مدت است. از این منظر، نظریه بازی‌ها درک ما را از بحران آب از یک بحران صرفاً فیزیکی به بحران تعاملات انسانی و نهادی گسترش می‌دهد.

در عین حال، باید توجه داشت که مدل‌های بازی در صورتی بیشترین سودمندی را دارند که از انتزاع بیش از حد فاصله بگیرند و با داده‌های واقعی، شناخت میدانی و تحلیل نهادی همراه شوند. کاربرد موفق این نظریه در مدیریت آب کشاورزی، نیازمند تعامل میان اقتصاددانان، مهندسان آب، متخصصان علوم اجتماعی و برنامه‌ریزان منطقه‌ای است.

همچنین، شواهد موجود بیانگر آن است که بازی‌های همکارانه و سازوکارهای مشارکتی، در بلندمدت ظرفیت بیشتری برای مدیریت پایدار منابع آب دارند؛ اما شکل‌گیری آن‌ها بدون اعتماد، شفافیت، و توزیع منصفانه منافع دشوار است. بنابراین، نظریه بازی‌ها باید نه‌تنها برای تحلیل رقابت، بلکه برای طراحی نهادهای همکاری‌محور نیز به‌کار گرفته شود.

نتیجه‌گیری

این مقاله با هدف بررسی کاربرد نظریه بازی‌ها در مدل‌سازی تعارضات منابع آب و تصمیم‌گیری بهینه در بخش کشاورزی تدوین شد. نتایج نشان داد که مسائل آب کشاورزی، به‌ویژه در شرایط کمیابی، ماهیتی راهبردی و چندکنشگری دارند و نمی‌توان آن‌ها را صرفاً با مدل‌های فنی یا بهینه‌سازی کلاسیک به‌طور کامل تحلیل کرد. نظریه بازی‌ها با تمرکز بر رفتار متقابل بازیگران، امکان فهم عمیق‌تر تعارضات، تبیین ناکارآمدی‌های موجود و طراحی سازوکارهای همکاری و تخصیص کاراتر را فراهم می‌سازد.

همچنین روشن شد که بازی‌های غیرهمکارانه در تحلیل ریشه‌های رقابت و بهره‌برداری بیش از حد از منابع مشترک مفیدند، در حالی که بازی‌های همکارانه و چانه‌زنی برای طراحی توافق‌ها، تقسیم منافع و تقویت مدیریت مشارکتی آب اهمیت بیشتری دارند. افزون بر این، ترکیب نظریه بازی‌ها با برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه‌سازی، تحلیل چندمعیاره و اقتصاد رفتاری، افق‌های جدیدی برای تصمیم‌گیری بهینه در کشاورزی می‌گشاید.

در نهایت، می‌توان گفت که نظریه بازی‌ها نه یک جایگزین کامل، بلکه یک مکمل قدرتمند برای رویکردهای مهندسی و اقتصادی در مدیریت آب کشاورزی است. بهره‌گیری مؤثر از این نظریه مستلزم داده‌های مناسب، شناخت محلی، بومی‌سازی مدل‌ها و توجه به زمینه‌های نهادی و اجتماعی است.

منابع

- امینی، م.، و رحیمی، ع. (۱۳۹۶). بررسی کاربرد رویکردهای اقتصادی در مدیریت تعارضات منابع آب کشاورزی. *فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۲۵(۳)، ۱۱۵–۱۳۲.
- جعفری، ح.، و همکاران. (۱۳۹۸). تحلیل تعارضات بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری. *پژوهش آب ایران*، ۱۲(۱)، ۶۵–۸۱.
- سپاسخواه، ا. ر. (۱۳۸۵). اصول و مبانی آبیاری. شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.
- فرجی‌سبزوار، م.، و کاظمی، ن. (۱۳۹۷). رویکردهای نوین در تخصیص بهینه آب کشاورزی. *مجله مهندسی آب و خاک*، ۳۱(۵)، ۱۰۲۱–۱۰۳۸.
- کریمی، پ.، و همکاران. (۱۳۹۵). مدیریت مشارکتی منابع آب و چالش‌های حکمرانی آب در ایران. *فصلنامه پژوهش‌های منابع طبیعی*، ۸(۲)، ۵۵–۷۲.
- میردامادی، س. م.، و همکاران. (۱۳۹۴). نقش نهادهای محلی در کاهش تعارضات آب کشاورزی. *مجله توسعه روستایی*، ۱۷(۲)، ۸۹–۱۰۸.

- Camerer, C. (۲۰۰۳). Behavioral game theory: Experiments in strategic interaction. Princeton University Press.
- Dinar, A., & Hogarth, M. (۱۹۹۵). Game theory and water resources: Critical review of its contributions, progress and remaining challenges. *European Review of Agricultural Economics*, ۲۲(۳), ۳۲۵–۳۴۵.
- Fudenberg, D., & Tirole, J. (۱۹۹۱). Game theory. Cambridge, MA: MIT Press.

- Gardner, R., Ostrom, E., & Walker, J. (۱۹۹۰). The nature of common-pool resource problems. *Rationality and Society*, ۲(۳), ۳۳۵–۳۵۸.
- Madani, K. (۲۰۱۰). Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, ۳۸۱(۳–٤), ۲۲۵–۲۳۸.
- Nash, J. F. (۱۹۵۰). Equilibrium points in n-person games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ۳٦(۱), ٤۸–٤۹.
- Neumann, J. von, & Morgenstern, O. (۱۹٤٤). Theory of games and economic behavior. Princeton University Press.
- Ostrom, E. (۱۹۹۰). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press.
- Rasmusen, E. (۲۰۰۷). Games and information: An introduction to game theory. Blackwell Publishing.
- Rogers, P. (۱۹٦۹). A game theory approach to the problems of international river basins. *Water Resources Research*, ٥(٤), ۷٤۹–۷٦۰.
- Shapley, L. S. (۱۹٥۳). A value for n-person games. In *Contributions to the theory of games* (Vol. ۲, pp. ۳۰۷–۳۱۷). Princeton University Press.
- Tisdell, J. G., & Ward, J. R. (۲۰۰۳). Attitudes toward water markets: An Australian case study. *Society & Natural Resources*, ۱٦(۱), ٦۱–۷٥.