تحلیل و مقایسه استراتژی‌های کاربری احداث سدهای کوتاه در داخل حوضه آبریز و احداث سد بلند در انتهای حوضه آبریز با استفاده از نظریه بازی‌ها

صادق پرتانی*[۱]، مجید ابراهیمی[۲]، فرشید بستان منش راد[۲]

۱-گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران
۲-گروه پژوهشی اکولوژی انسانی شهری کارگشا، تهران، ایران

(علمی – پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۳/۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۷

چکیده

بکارگیری صحیح فناوری‌های پیشرفته و علوم کلاسیک همچون نظریه بازی‌ها در قالب ارائه راهکارهای جدید در جهت بهره‌برداری بهینه منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی احداث سدها از یکدیگر قابل تفکیک هستند. در پژوهش حاضر، ضمن ارائه مدل و روشی نوین در بهینه‌سازی مکان‌یابی سدها، به تبیین استراتژی تقسیم سد بلند به سدهای کوتاه در چند استراتژی جداگانه با مکانیابی‌های مختلف اولیه، بر روی شبکه رودخانه‌ها در داخل حوضه آبریز پرداخته شد. به طوری‌که با محاسبه پارامترهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی برای هر استراتژی، درصدد دسترسی به استراتژی بهینه بوده است. همچنین در مدل مذکور، محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماع به عنوان بازیکن در نظر گرفته شدند. در ادامه، محاسبه پیامدهای مختلف برای هریک از بازیکن‌های محیط‌زیست (میزان مراتع و جنگل‌های مستغرق در هر استراتژی)، اجتماع (تعداد روستاها و اماکن متبرکه مستغرق در مخازن سدهای هر استراتژی) و اقتصاد (میزان بتن مصرفی بدنه سدهای هر استراتژی) انجام پذیرفت. سپس، نمره پیامد هر یک از بازیکنان به صورت نمره بالا برای کمترین خسارت به هر استراتژی داده شد. در نتیجه، پیامدهای مذکور به صورت فرم ماتریسی نمایش داده شدند و در نهایت، استراتژی به عنوان S2 تعادل نش (NASH) و استراتژی بهینه-جواب مسئله (مساحت جنگل‌ها و مراتع زیرآب رفته ۱۳۳۳۷۲ متر مربع، با حجم بتن‌ریزی ۳۳۰۱۵۰ مترمکعب، و همچنین ۳ مکان متبرکه مستغرق) مشخص گردید. برای توسعه همزمان تمامی شاخص‌های محیط‌زیستی و اقتصادی و اجتماعی برای طراحی یک سد نباید انفرادی صورت گیرد که باید برای تمام زیرحوزه و سناریوهای جایگزین ممکن نیز مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تعداد سدها، نظریه بازی‌ها، مکان‌یابی سدها، تعادل نش، محیط‌زیست.

*- نویسنده مسئول: Email: s_partani@ub.ac.ir

مقدمه

ضرورت کاهش حداکثری آثار سوء بهره‌برداری مسرفانه از منابع آب و مشکلات متعدد ناشی از توسعه سدسازی در حوزه‌های مختلف محیط‌زیست، اجتماع و اقتصاد، اهمیت استفاده از نظریه بازی‌ها را در زمینه غیرمتمرکز نمودن و کوچک کردن طرح، و در قالب سناریوهای مختلف آشکار می‌نماید. اولین کسی که نظریه بازی‌ها را مورد بحث قرارداد والدگراو[1] (۱۷۱۳) بود، که در مقاله خود راه‌حل MAX – MIN را برای یک بازی دو نفره ارائه داد (Rives, 1975). سپس، کورنات (Cournot, 1897) نظریه بازی‌ها را به صورت عمومی و همچنین، تعادل نش[2] در بازی انحصاری دوجانبه را دنبال کرد. در ادامه، مورگنسترن و فون-نویمان (Morgenstern and Von Neumann, 1953) روش یافتن پاسخ بهینه به یک بازی دو نفره با جمع صفر را ارائه داد. نش (Nash, 1953) تعریف استراتژی بهینه جهت تعادل در هر بازی غیرهمکارانه را در قالب تعادل نش تعمیم داد. سلتن (Selten, 1965) نیز تعادل کامل بازی فرعی را مطرح کرده و تعادل نش را بیشتر گسترش داد. هاریزانی (Harsanyi, 1976) نیز مفهوم اطلاعات کامل و بازی بیزین را وارد عرصه نظریه بازی‌ها کرد. در دهه ۱۹۸۰ نیز بازنگری بازی تکراری کرافورد و واریان (Crawford and Varian, 1979) و نظریه تعادل نش کامل، توسط کریپس و ویلسون (Kreps and Wilson, 1982) و نظریه چانه‌زنی توسط رابینشتین (Rubinstein, 1982) از عمده‌ترین کارها بود. اسمیت (Smith, 1970) در دهه ۷۰ مفاهیمی همچون تعادل‌های زنجیره‌ای و دانش عمومی را ارائه نمود. تحقیقات قابل توجه دهه ۱۹۹۰ نیز مربوط به فادنبرگ و تیرول (Fudenberg and Tirole, 1991) در زمینه تعادل‌های کامل بود. در مورد کاربرد نظریه بازی‌ها در مدیریت منابع آب، راجرز (Rogers, 1969) با استفاده از برنامه نویسی خطی و تئوری بازی، برنامه منطقی برای کنترل سیل‌ها، هم‌افزایی‌هایی بین کنترل سیل و سایر کاربردهای احتمالی برای رودخانه، مانند تولید برق، آبیاری و ناوبری ارائه داد. بوگاردی و زیداروفسکی (Bogardi and Szidarovsky, 1976) نیز به معرفی کاربردهای بازی چندمعیاره احتمالی و روش‌های بازی دو نفره در تعیین استراتژی بهینه برای توسعه منابع آب در یک حوضه رودخانه بین‌المللی پرداختند. در ادامه دینار و همکاران (Dinar et al, 1992) با ارزیابی تئوری بازی همکارانه در منابع آب، کاربرد تجربی نظریه بازی‌های همکارانه همکاری منطقه‌ای در استفاده از آبیاری را ارائه دادند. با استفاده از نظریه بازی‌ها، صفاری و ضرغامی (صفاری و ضرغامی، ۱۳۹۰) نیز به یافتن تعادلی برای تخصیص منابع آب تجدیدپذیر حوضه آبریز و پورسپاهی و کراچیان (پورسپاهی و همکاران، ۱۳۹۰) و همچنین فو و همکاران (Fu et al, 2018) به مسئله تخصیص آب در رودخانه‌های مشترک پرداختند. همچنین، مهیاری و علی‌محمدی (غلامی مهیاری و علی-محمدی، ۱۳۹۱) با بکارگیری تئوری بازی‌ها در رابطه با حل اختلاف در مدیریت انتقال بین حوضه‌ای آب و تخصیص آب پرداخته اند. دانش‌یزدی و همکاران (دانش‌یزدی و همکاران، ۱۳۹۳) نیز در رابطه با حل مناقشات در مدیریت تخصیص منابع آب پژوهش‌های ارزشمندی را انجام دادند. بنی‌حنیف و نجفی مرغملکی (بنی‌حنیف و نجفی مرغملکی، ۱۳۹۷) نیز در پژوهشی، به ارزیابی نظریه بازی‌ها برای بررسی شرایط تأمین حقابه زیست محیطی تالاب پرداختند. اما در مورد کاربرد نظریه مذکور در مدیریت منابع آب زیرزمینی، راکوئل و همکاران (Raquel et al, 2007) در زمینه بحران آب‌های زیرزمینی و پارساپورمقدم و

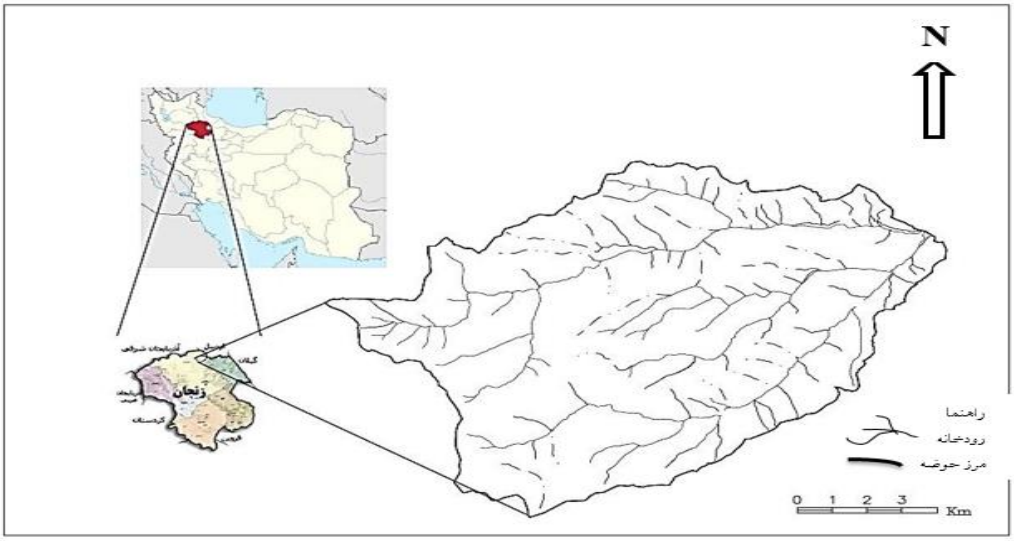
همکاران (پارساپورمقدم و همکاران، ۱۳۹۱) با هدف ارائه الگوئی جدید برای تدوین سیاست‌های پایدار تخصیص منابع آب زیر زمینی به منظور کنترل افت سطحی آب زیرزمینی تحقیقات ارزنده-ای انجام دادند. علی‌رغم انجام پژوهش‌های ارزنده سازگار با محیط‌زیست در زمینه مدیریت منابع آب، مطالعات موردی بسیار محدودی، در مورد کاربرد و مزایای احداث سدهای کوتاه در مقابل احداث سد بلند در حوضه‌های آبریز، چه در سطح بین‌المللی و چه در سطح ملی موجود می‌باشد. استفاده از این روش در منابع آب تاکنون برای مدیریت سطح تراز آبخوان و بهره‌برداری از منابع آب برای ذی‌نفعان بوده است. ساخت سدهای کوتاه می‌تواند آثار متمرکز و شدید ناسازگار با محیط‌زیست، و ناشی از ساخت سد بلند را به آثار گسترده خفیف و قابل کنترل تبدیل کند. همچنین احداث سدهای کوتاه می‌تواند به منظور توزیع هزینه سد، کاهش طول خطوط انتقال و پوشش سطح بیشتری از یک حوضه در پایین‌دست آن ایجاد شده باشد. با توجه به هزینه‌های بالای ناشی از پارامترهای محیط‌زیستی (محیط طبیعی، مناطق چهارگانه تحت مدیریت سازمان محیط‌زیست (مناطق چهارگانه تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست در قالب چهار منطقه با تعاریف بین‌المللی تحت عناوین پارک ملی، منطقه حفاظت شده، اثرملی طبیعی و پناهگار حیات وحش است که با توجه به اینکه از اهمیت زیستگاهی جهانی برخوردارند، یکی از شاخص‌های توسعه حفاظت محیط زیست کشورها محسوب میشوند و با توجه به درجه حفاظتی میزبان گونه‌ها درمعرض انقراض یا در خطر انقراض و با اهمیت جهانی هستند.)[۳] و گونه‌های در معرض انقراض و غیره) و اجتماعی شامل پارامترهای اجتماعی-فرهنگی (جمعیت، مهاجرت، فرهنگ و غیره) در ساخت سدها، به منظور استفاده از منابع آب موجب گردیده است که رویکرد مکان‌یابی صحیح محور سدها از اهمیت ویژه‌ای برخودار باشد. کاربرد نظریه بازی‌ها در مکان‌یابی و مقایسه سدها می‌تواند استراتژی بهینه را معرفی نماید، به طوری‌که بیشترین پیامد[۴] را برای بازیکن[۵] (محیط زیست، مسائل اجتماعی، اقتصاد) با در نظرگرفتن تصمیمات سایر بازیکنان در پی داشته باشد. در زمینه انتخاب طرح جایگزینی یک سد بزرگ، با سدهای کوتاه توزیع شده در حوضه آبریز، تعادل هزینه‌ها ناشی از آسیب‌های زیست‌محیطی در حوزه محیط‌زیست، آسیب‌های اجتماعی مانند مهاجرت اجباری (در نتیجه استغراق اراضی کشاورزی و نوسانات حاکم بر درآمد زیرحوضه‌های تحت پوشش) در حوزه اجتماعی، و نیز در حوزه اقتصادی، به هم می‌خورد. اما این روش می‌تواند تعادل بهینه‌ای را ایجاد کند که بین این دو طرح امکان تخصیص ارجحیت برای متخصصین با سهولت بیشتری فراهم گردد. از جمله پژوهش‌های محدود در این زمینه، می‌توان به مدل‌سازی و ارزیابی سدهای کوتاه در بخش‌های مختلف حوزه آبریز به جای سد بلند الغدیر در انتهای حوزه آبریز با رویکرد نظریه بازی‌ها در ساوه اشاره نمود. در پژوهش مذکور، ایمان و منصوری (ایمان و منصوری، ۱۳۹۷) یکی از مدل‌های نظریه بازی‌ها موسوم به مدل گراف را به عنوان ابزاری مناسب برای حل مناقشه و تحلیل مسایل پیچیده بازی بین ذی‌نفعان مختلف در حوضه سدسازی جهت مدل‌سازی و تحلیل به‌کار گرفتند. در نتیجه، محتمل‌ترین نتایج جهت تصمیم‌گیری بین یک سد بلند و یا چند سد کوتاه در یک حوضه تبیین شد. در نهایت نیز با بازیگران فعلی و ترجیحات کنونی آنها نتایج مدل‌سازی نشان داد، که محتمل‌ترین و پایدارترین نتیجه ممکن، احداث چند سد کوتاه در حوضه آبریز است که در منطقه مورد مطالعه عملکرد بهتری را نشان داده

است. از تحقیقات دیگر در این مبحث، ولی با بکارگیری سایر روش‌ها، می‌توان به پژوهش ذراتی و همکاران (ذراتی و همکاران، ۱۳۹۲) در پائین-دست حوضه آبریز بن‌رود در استان اصفهان، و تحقیق منصوری و لاریجانی (منصوری و لاریجانی، ۱۳۹۷) در انتهای حوزه آبریز پایین دست سد البرز، در رابطه با مقایسه‌ی کاربری و استفاده از چند سد کوتاه در حوضه آبریز به جای یک سد بلند اشاره نمود. در تحقیقات مذکور عملکرد و پیامدهای ساخت چند سد کوتاه در حوضه آبریز به جای یک سد بزرگ در پائین‌دست، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان نیز، نتایج تحقیق نشان داد که ساخت چند سد کوتاه به جای یک سد بلند در حوضه آبریز، می‌تواند به‌عنوان راهکاری در جهت حفظ محیط‌زیست و کاهش هزینه‌ها معرفی گردد. علیرغم عدم بکارگیری این تئوری برای مکان‌یابی سدها در موضوع توزیع تعداد سدها، بررس توزیع متوازن منابع آب (Parrachino et al, 2006) یک زیرحوزه (Dinar and Hogarth, 2015) پیش از این استفاده شده است. تعارضات محیط‌زیستی و مدیریت منابع آب (Rawas, 2020) با تاکید بر روش‌های مشارکتی (Qin et al, 2020; Bhagabati et al, 2014) و بهینه‌سازی (Han et al, 2018) و اقتصادی (Sardar et al, 2020) نیز با روش تئوری بازی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. امروزه محاسبت بارو بیلان آبی زیرحوزه‌های بیشترین استفاده را از کاربرد تئوری بازی‌ها به خود اختصاص داده است (Andik and Niksokhan, 2020; Zarei et al, 2019). پژوهش حاضر ضمن تعریف استراتژی‌های مختلف در نوع مکان‌یابی سدها و استفاده از نظریه بازی‌ها[۶] مدلی را ارائه می‌کند که به‌طور همزمان مسایل مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را در نظر گرفته و بهینه‌ترین استراتژی[۷] را شناسائی کند. همچنین، سعی می‌گردد در گام اول منطقه‌ای در نظر گرفته شود که از لحاظ شرایط توپوگرافی و مسایل هیدرولوژی، دارای پتانسیل ساخت سد باشد. آنگاه، با تبیین یک حوضه آبریز همراه با محاسبات آورد حوضه و طراحی یک سد در انتهای حوضه و محاسبه مسائل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی آن و سپس تقسیم‌بندی حوضه به حوضه‌های کوچکتر براساس رده رودخانه و طراحی سد بر روی آن‌ها استراتژی‌های مختلفی را ساخت. بنابراین می‌توان پیامدهای مختلف برای بازیکنان (مسایل محیط زیستی، مسایل اجتماعی و مسایل اقتصادی) را محاسبه کرد و با استفاده از نظریه بازی‌ها، تعادل (جواب مسئله) را نیز به دست آورد. در نتیجه این تحقیق با هدف کاهش خسارات ایجاد شده توسط سدسازی با امکان‌سنجی توزیع سد بلند به سدهای کوتاه در زیرحوضه‌های داخل حوضه اصلی، محاسبه پیامدهای ایجاد شده در پی سدسازی برای محیط‌زیست، اجتماع و اقتصاد و تبیین قاعده بازی و نمایش ماتریس پیامد، در جهت استخراج تعادل نش که همان استراتژی بهینه است، می‌باشد. این پژوهش فرضیه کارآیی و تاثیر کاربرد نظریه تئوری بازی‌ها (Employment of Game Theory) را در تعیین تعداد سدها و توزیع منابع آب مصنوعی و مخازن مورد بررسی و راست‌آزمایی قرار می‌دهد. در نظرگرفتن همزمان شاخص‌های اصلی از معیارهای سه‌گانه محیط‌زیست، فنی-اقتصادی و اجتماعی در تدوین سه استراتژی مختلف از نوآوری‌های روش راست‌آزمایی این فرضیه است.

منطقه مورد مطالعه

با توجه به شرایط توپوگرافی[۸] و شرایط شبکه رودخانه، منطقه IRAN- TAHAM - 5763IV واقع در استان زنجان انتخاب شد.

سپس، حوضه‌های مختلف در منطقه منتخب شناسائی گردید و بزرگ‌ترین حوضه از لحاظ مساحت و کامل بودن شبکه آبراهه انتخاب شد (شکل ۱).



شکل ۱: تصویر حوضه آبریز اصلی و مقیاس نسبی آبراهه‌ها

مواد و روش‌ها

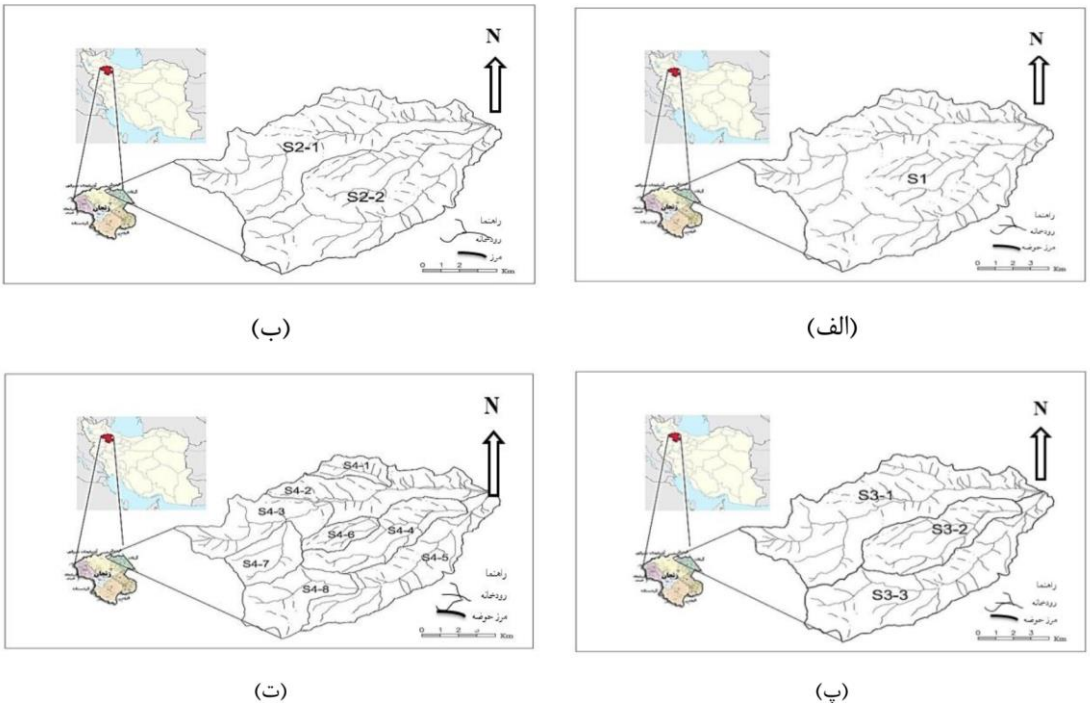
متغیرها و پارامترها

با توجه به تبعات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی احداث سد بر روی رودخانه، مکان‌یابی سدها و تبیین استراتژی‌ها با در نظرگرفتن موارد ذکر شده به‌عنوان پارامترهای اثرگذار مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس، بهتر است انتخاب استراتژی بهینه طوری باشد که کمترین خسارت به یک پارامتر با نگاه به خسارت‌پذیری سایر پارامترها وارد گردد. به‌طوری که، حجم عرصه‌های جنگلی و مراتع غرق شده در هر استراتژی و الویت‌بندی خسارت براساس آن به عنوان پارامتر زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. همچنین، در پژوهش حاضر، هزینه احداث سد طراحی شده با توجه به مصالح مصرفی محاسبه شده، براساس استراتژی‌های حوضه‌های مربوطه، به‌عنوان پارامتر اقتصادی و تعداد روستاها و اماکن متبرکه مستغرق شده در مخازن سدها، به‌عنوان پارامترهای مهم اجتماعی- فرهنگی در نظر گرفته می‌شوند.

تبیین استراتژی‌ها

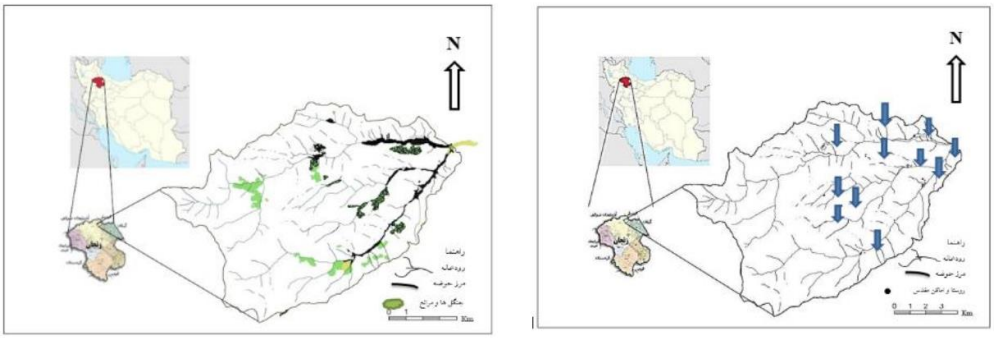
تعداد استراتژی‌های این پژوهش براساس رده‌بندی هیدرولوژیکی رودخانه‌ای به دست آمده است. در واقع تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی شبکه زهکشی و نقاط تغیر رده هیدرولوژیکی محدوده احداث و سد و تبیین استراتژی‌ها در نظر گرفته شد. لذا تبیین استراتژی‌ها با توجه به رده‌بندی رودخانه‌های داخل حوضه اصلی انجام پذیرفت، که نحوه انجام آن به صورت تفکیک حوضه‌ها براساس رده‌های دو، سه، چهار و پنج بود. البته با توجه به اینکه، مساحت حوضه‌های رودخانه‌های رده یک بسیار کوچک بودند، از تقسیم‌بندی حوضه‌ها به حوضه رده یک صرف‌نظر گردید. استراتژی‌های ذیل براساس رده‌بندی رودخانه‌ای به دست آمده‌اند: الف) استراتژی S1: حوضه اصلی با رده رودخانه اصلی ۵ (شکل الف)؛ ب) استراتژی S2: تقسیم حوضه اصلی به دو زیرحوضه S2-1 با رده‌بندی رودخانه سه و زیرحوضه S2-2 با رده چهار (شکل ۲ب)؛ پ) استراتژی S3: تقسیم حوضه‌های استراتژی S2 به

سه زیرحوضه با رده‌بندی سه، با اسامی S3-1 و S3-2 و S3-3 (شکل ۲پ) و ت) استراتژی S4: تقسیم حوضه‌های استراتژی S3 به زیرحوضه‌هایی با رده رودخانه‌ای دو، با اسامی S4-1، S4-2، S4-3، S4-4، S4-5، S4-6، S4-7 و S4-8 (شکل ۲ت).



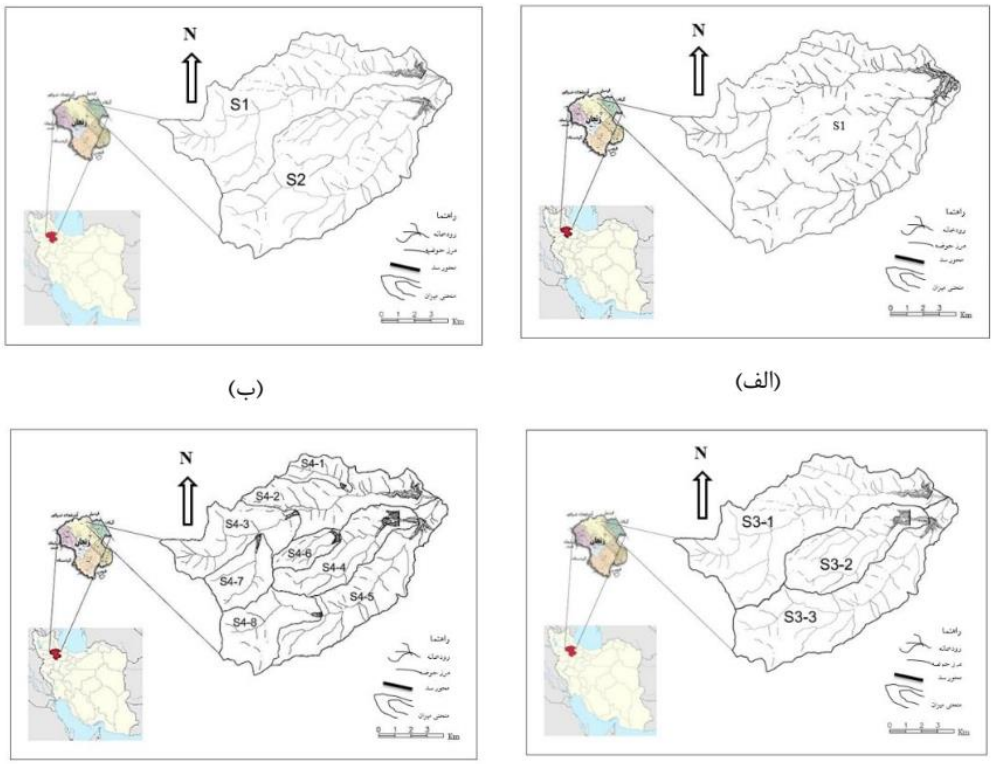
شکل ۲: تصاویر شماتیک: الف) حوضه آبریز تحت استراتژی S1، ب) زیرحوضه‌های آبریز استراتژی S2، پ) زیرحوضه‌های آبریز استراتژی S3 و ت) زیرحوضه‌های آبریز استراتژی S4.

با توجه با این که جنگل‌ها و مراتع مستغرق‌شده در مخازن سدها و نیز تعداد روستاها و اماکن متبرکه مستغرق شده در مخازن سدها، از پارامترهای زیست‌محیطی و اجتماعی مورد مطالعه در پژوهش حاضر می‌باشند، موقعیت پراکندگی آنها در شکل-های ۳الف و ب نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳: تصاویر الف) موقعیت روستاها، (ب) پراکندگی جنگل‌ها و مراتع در حوضه آبریز اصلی مکان‌یابی سدها

مکان‌یابی سدها در حوضه‌های استراتژی تعریف شده در بازه آخرین رده رودخانه‌های این حوضه‌ها صورت پذیرفته است. برای اقتصادی بودن و کاهش هزینه‌ها، لازم است تا برای یک ارتفاع معین، طول تاج تا حد امکان کوتاه و در مقابل حجم مخزن حدالمقدور زیاد باشد. بنابراین از لحاظ توپوگرافی، منطقه‌ای مناسب خواهد بود که در محل محور، تنگه سد کاملا بسته و بالا دست آن کاملا باز گردد. با توجه به این مطلب، موقعیت محور سد در استراتژی S1 (شکل ۴الف)، موقعیت محور سدهای استراتژی S2 (شکل ۴ب)، موقعیت محور سدهای استراتژی S3 (شکل ۴پ) و موقعیت محور سدهای استراتژی S4 (شکل ۴ت) مشخص شده است.



شکل ۴: تصاویر مکان محور سد استراتژی؛ الف) S1، ب) S2، پ) S3 و ت) S4

سدهای بتنی وزنی

با استفاده از نیروهای ثقلی این نوع سدهای بتنی، مقاومت لازم جهت حفظ تعادل و پایداری سد تأمین می‌گردد و عموماً در پلان، در راستای محور متصل کننده جناحین، مستقیم هستند. به دلیل اینکه سد بتنی وزنی توپر سدی همگن بتنی می‌باشد و مسایل اجرای آن نسبت به دیگر سدها راحت‌تر می‌باشد، در پژوهش حاضر در محور سدهای تمامی استراتژی‌ها، سد بتنی وزنی طراحی شده است.

نتایج

به منظور طراحی سد، جداول ارتفاع – سطح – حجم آن حوضه تحت استراتژی‌های مختلف، با استفاده از پارامترهائی همچون ارتفاع آب

جمع‌آوری شده در پشت محور سد، آورد آبدهی هر حوضه و مقطع هر دره در محور سد محاسبه شد (مجموعه جداول ۱ تا ۴). روند افزایشی ناگهانی در ترازهای ارتفاعی مختلف سدها طراحی شده خصوصا در استراتژی‌های با تعداد سد کمتر شدت تاثیرات ناسازگار بر محیط‌زیست و بازیکن اجتماع در کنار افزایش هزینه‌ها در بازیکن اقتصادی و فنی به همراه داشته است که در نگاه اول افزایش تعداد سدها دارای پیامدهای کمتری به نظر می‌رشد. لیکن شناسایی تعداد بهینه در یک زیرحوضه حائز اهمیت است چه اینکه با توجه به مساحت زیرحوضه هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی مصالح و تامین و تجهیز برای اجرای همزمان چندان تاثیر چشمگیری در پارامتر اقتصاد ندارد.

جدول ۱: ارتفاع – سطح – حجم محور سد تحت استراتژی S1

تراز ارتفاعی (متر)	مساحت (متر مربع)	حجم (متر مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب)
۷۰۰	۶۲۶۳۰	۰	
۷۲۰	۱۳۷۸۹۷	۲۰۰۵۲۸۴	۲۰۰۵۲۸۵
۷۴۰	۲۸۳۷۳۴	۴۲۱۶۳۲۳	۶۲۲۱۶۰۸
۷۶۰	۵۷۷۶۵۷	۸۶۱۳۹۱۹	۱۴۸۳۵۵۲۸

جدول ۲: ارتفاع – سطح – حجم محور سد برای استراتژی‌های S2

استراتژی S2-1

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع) مربع)	حجم (متر مکعب) مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب)
۷۶۰	۲۱۷۲۶		
۷۸۰	۹۸۴۴۹	۱۲۰۱۷۴۴	۱۲۰۱۷۴۴
۸۰۰	۲۲۲۷۸۳	۳۲۱۲۳۲۱	۴۴۱۴۰۶۵

استراتژی S2-2

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع) مربع)	حجم (متر مکعب) مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب)
۷۸۰	۵۰۶۴		
۸۰۰	۵۲۵۰۰	۵۷۵۶۳۵	۵۷۵۶۳۵
۸۲۰	۱۰۴۵۴۶	۱۵۷۰۴۶۵	۲۱۴۶۰۹۹
۸۴۰	۱۸۳۷۸۰	۲۸۸۳۲۶۳	۵۰۲۹۳۶۲

جدول ۳: ارتفاع – سطح – حجم محور سد برای استراتژی‌های S3

استراتژی S3-1

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع) مربع)	حجم (متر مکعب) مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب)
۷۶۰	۲۱۷۲۶		
۷۸۰	۹۸۴۴۹	۱۲۰۱۷۴۴	۱۲۰۱۷۴۴
۸۰۰	۲۲۲۷۸۳	۳۲۱۲۳۲۱	۴۴۱۴۰۶۵

استراتژی S3-2

تراز ارتفاعی (متر) متر)	مساحت (متر مربع) مربع)	حجم (متر مکعب) مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب)
۹۲۰	۵۱۱۸		
۹۴۰	۲۸۴۴۲	۳۳۵۶۰۰	۳۳۵۶۰۰
۹۶۰	۶۵۱۰۶	۹۳۵۴۸۰	۱۲۷۱۰۸۰
۹۸۰	۱۹۸۹۶۰	۲۶۴۰۶۶۰	۳۹۱۱۷۴۰

S3-3استراتژی

تراز ارتفاعی (متر) متر	مساحت (متر مربع) مربع	حجم (متر مکعب) مکعب	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب
۷۸۰	۵۰۶۴		
۸۰۰	۵۲۵۰۰	۵۷۵۶۳۵	۵۷۵۶۳۵
۸۲۰	۱۰۴۵۴۶	۱۵۷۰۴۶۵	۲۱۴۶۰۹۹
۸۴۰	۱۸۳۷۸۰	۲۸۸۳۲۶۳	۵۰۲۹۳۶۲

جدول ۴: ارتفاع – سطح – حجم محور سد برای استراتژی‌های S4

استراتژی S4-1

تراز ارتفاعی (متر)	مساحت (مترمربع) مربع	حجم (متر مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب
۱۱۶۰	۸۳۸		
۱۱۸۰	۱۱۰۲۸	۱۱۸۶۶۶	۱۱۸۶۶۶
۱۲۰۰	۳۷۹۵۴	۴۸۹۸۲۲	۶۰۸۴۸۹

استراتژی S4-2

تراز ارتفاعی (متر)	مساحت (متر مربع)	حجم (متر مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب)
۷۶۰	۲۱۷۲۶		
۷۸۰	۹۸۴۴۹	۱۲۰۱۷۴۴	۱۲۰۱۷۴۴
۸۰۰	۲۲۲۷۸۳	۳۲۱۲۳۲۱	۴۴۱۴۰۶۵

استراتژی S4-3

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع) مربع	حجم (متر مکعب) مکعب	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب
۱۴۸۰	۷۱۲	۰	۰
۱۵۰۰	۳۹۴۲۷	۴۰۱۳۸۷	۴۰۱۳۸۷
۱۵۲۰	۶۲۶۸۷	۱۰۲۱۱۴۰	۱۴۲۲۵۲۷
۱۵۴۰	۷۱۴۶۴	۱۳۴۱۵۱۲	۲۷۶۴۰۳۸

استراتژی S4-4

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع) مربع	حجم (متر مکعب) مکعب	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب
۹۲۰	۵۱۱۸		
۹۴۰	۲۸۴۴۲	۳۳۵۶۰۰	۳۳۵۶۰۰
۹۶۰	۶۵۱۰۶	۹۳۵۴۸۰	۱۲۷۱۰۸۰
۹۸۰	۱۹۸۹۶۰	۲۶۴۰۶۶۰	۳۹۱۱۷۴۰

استراتژی S4-5

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع) مربع	حجم (متر مکعب) مکعب	حجم تجمعی (متر مکعب) مکعب
۷۸۰	۵۰۶۴		
۸۰۰	۵۲۵۰۰	۵۷۵۶۳۵	۵۷۵۶۳۵
۸۲۰	۱۰۴۵۴۶	۱۵۷۰۴۶۵	۲۱۴۶۰۹۹

استراتژی S4-6

تراز ارتفاعی (متر) (متر)	مساحت (متر مربع)	حجم (متر مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب)
۱۷۶۰	۷۳۶۴		
۱۷۸۰	۲۵۷۵۶	۳۳۱۱۹۸	۳۳۱۱۹۸
۱۸۰۰	۵۸۸۷۲	۸۴۶۲۷۴	۱۱۷۷۴۷۲

استراتژی S4-7			
تراز ارتفاعی (متر)	مساحت (متر مربع)	حجم (متر مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب)
۱۸۶۰	۱۱۹		
۱۸۸۰	۹۱۹۱	۹۳۰۹۵	۹۳۰۹۵
۱۹۰۰	۳۰۰۱۲	۳۹۲۰۲۷	۴۸۵۱۲۲
۱۹۲۰	۵۲۲۳۱	۸۲۲۴۲۹	۱۳۰۷۵۵۱

استراتژی S4-8			
تراز ارتفاعی (متر)	مساحت (متر مربع)	حجم (متر مکعب)	حجم تجمعی (متر مکعب)
۱۷۴۰	۲۹۹	۰	۰
۱۷۶۰	۹۴۳۱	۹۷۳۰۱	۹۷۳۰۱
۱۷۸۰	۳۷۵۸۳	۴۷۰۱۳۹	۵۶۷۴۴۰
۱۸۰۰	۸۵۵۴۲	۱۲۳۱۲۴۵	۱۷۹۸۶۸۵

در ادامه، با استفاده از معادلات پیشنهاد شده به محاسبه نیروها و گشتاورهای وارده بر همه سدهای استراتژی‌های مختلف پرداخته شد.

پارامتر اقتصادی-حجم بدنه سد

تاثیر معیار فنی در برآورد هزینه دیده شده است با این پیش‌فرض که اهداف بهره‌برداری از سد کشاورزی و تامین آب شرب (در اولویت دوم) باشد. لذا پیامدهای فنی طرح با سطحی از عدم قطعیت در کیفیت طراحی مناسب در پیامدهای اقتصادی با توجه به بستر کشوری در حال توسعه در نظر گرفته شده است. پس از محاسبات و کنترل سدها و طراحی سه‌بعدی آنها در نرم‌افزار Auto CAD Civil 3D، میزان حجم بتن‌ریزی بدنه هر سد در زیرحوضه مربوطه در هر استراتژی، با توجه به مقطع هر دره و جایگذاری سدها در مقاطع دره‌ها به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵: میزان بتن مورد نیاز مصرفی بدنه سد در هر استراتژی

استراتژی	مقدار بتن مورد نیاز (متر مکعب)
S1	۳۸۵۳۶۹
S2	۳۳۰۱۵۰
S3	۴۶۰۰۴۸
S4	۷۱۳۲۹۱

پارامتر اجتماعی و زیست‌محیطی

پس از تعیین محور سدها و جدول ارتفاع - سطح - حجم، و با توجه به توپوگرافی مخزن در زیرحوضه‌های هر استراتژی با استفاده از نرم‌افزار Auto CAD Civil 3D تعداد روستاهای مستغرق برای هر استراتژی برابر صفر، ولی تعداد اماکن متبرکه، و جنگل‌ها و مراتع مستغرق در مخازن سدها به صورت ذیل می‌باشد (جداول ۶ و ۷).

جدول ۶: تعداد اماکن متبرکه مستغرق شده در استراتژی‌ها

استراتژی	تعداد اماکن متبرکه مستغرق شده
S1	۴
S2	۳
S3	۵
S4	۵

جدول ۷: میزان مراتع و جنگل‌های مستغرق

استراتژی	مقدار مراتع و جنگل های به زیر آب رفته (متر مربع)
S1	۹۵۳۶۸
S2	۱۳۳۳۷۲
S3	۱۴۶۷۴۹
S4	۹۴۳۹۶

پیامدها

بعد از محاسبه مقادیر استراتژی‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی پیامد هر استراتژی محاسبه می‌گردد. به‌طوری‌که بیشترین پیامد زیست‌محیطی و اجتماعی به‌ترتیب متعلق به استراتژی‌های خواهد بود که کمترین جنگل‌ها و مراتع مستغرق شده و تعداد اماکن متبرکه زیر آب رفته را داشته باشند (جدول ۹). همچنین، بیشترین پیامد اقتصادی بر حسب مقدار حجم بتن مصرفی در بدنه سدهای هر استراتژی، مربوط به استراتژی است که بتن کمتری در آن مصرف شود (جدول ۱۰).

جدول ۸: پیامد محیط‌زیستی

استراتژی	مقدار مراتع و جنگل‌های به زیر آب رفته (متر مربع)	پیامد
S1	۹۵۳۶۸	۳
S2	۱۳۳۳۷۲	۱
S3	۱۴۶۷۴۹	۲
S4	۹۴۳۹۶	۴

جدول ۹: پیامد اجتماعی

استراتژی	تعداد اماکن مستغرق شده	پیامد
S1	۴	۴
S2	۳	۴
S3	۵	۵
S4	۵	۵

جدول ۱۰: پیامد اقتصادی

استراتژی	مقدار بتن مورد نیاز (متر مکعب)	پیامد
S1	۳۸۵۳۶۹	۲
S2	۳۳۰۱۵۰	۴
S3	۴۶۰۰۴۸	۳
S4	۷۱۳۲۹۱	۱

قاعده بازی

قاعده بازی بدین شکل است، که بازیکنان در یک رأی‌گیری تصمیم به انتخاب یک استراتژی شرکت دارند، تا براساس آن سدها را احداث کنند. فرض می‌شود هر بازیکن شرکت کننده در رأی‌گیری اجازه رأی‌دادن به یک استراتژی را دارد. در این قاعده اگر هر استراتژی دو رأی بیاورد، انتخاب می‌شود. محاسبات در این بخش به صورت دستی و با استفاده از ماکرو در برنامه صفحه‌گسترده M.S. Excel انجام شده است.

نمایش فرم ماتریسی پیامد

پس از تبیین و پارامتری کردن قاعده بازی ماتریس پیامد هر بازی به دست آمد (جداول ۱۱-۱۴). در نهایت، با توجه به بررسی ماتریس پیامد، استراتژی S2 به‌عنوان تعادل نش یا جواب مسئله مشخص گردید. در این فرم اعداد و ارقام با یکدیگر در تنش و رقابت هستند. همزمانی بررسی معیارها و پیامدهای درپیش گرفتن هر استراتژی برای هر بازیکن عملا تداخلات آثار و تعارضات منافع را برای بازیکن‌های اقتصاد، اجتماع و محیط‌زیست ایجاد می‌کند. بررسی ماتریسی زوجی برای سه بازیکن با انتخاب‌های مختلف به راحتی می‌تواند مطابق با جداول ۱۱ الی ۱۴ تغییر پیامدها را به‌صورت کاملا کمی ارائه دهد.

جدول ۱۱: ماتریس پیامد (در صورتی که انتخاب بازیکن اجتماع S1 باشد)

		محیط زیست			
		S1	S2	S3	S4
اقتصاد	S1	۲،۳،۳	۲،۳،۳	۲،۳،۳	۲،۳،۳
	S2	۲،۳،۳	۴،۱،۴	۴،۱،۴	۴،۱،۴
	S3	۲،۳،۳	۳،۲،۲	۳،۲،۲	۳،۲،۲
	S4	۲،۳،۳	۱،۴،۲	۱،۴،۲	۱،۴،۲

جدول ۱۲: ماتریس پیامد (در صورتی که انتخاب بازیکن اجتماع S2 باشد)

		محیط زیست			
		S1	S2	S3	S4
اقتصاد	S1	۲،۳،۳	۴،۱،۴	۲،۳،۳	۲،۳،۳
	S2	۴،۱،۴	۴،۱،۴	۴،۱،۴	۴،۱،۴
	S3	۳،۲،۲	۴،۱،۴	۳،۲،۲	۳،۲،۲
	S4	۱،۴،۲	۴،۱،۴	۱،۴،۲	۱،۴،۲

جدول ۱۳: ماتریس پیامد (در صورتی که انتخاب بازیکن اجتماع S3 باشد)

		محیط زیست			
		S1	S2	S3	S4
اقتصاد	S1	۲،۳،۳	۲،۳،۳	۳،۲،۲	۲،۳،۳
	S2	۴،۱،۴	۴،۱،۴	۳،۲،۲	۴،۱،۴
	S3	۳،۲،۲	۳،۲،۲	۳،۲،۲	۳،۲،۲
	S4	۱،۴،۲	۴،۱،۴	۳،۲،۲	۱،۴،۲

جدول ۱۴: ماتریس پیامد حالت اول (در صورتی که انتخاب بازیکن اجتماع S4 باشد)

		محیط زیست			
		S1	S2	S3	S4
اقتصاد	S1	۲,۳,۳	۲,۳,۳	۳،۲،۲	۱,۴,۲
	S2	۴,۱,۴	۴,۱,۴	۴,۱,۴	۱,۴,۲
	S3	۳،۲،۲	۳،۲،۲	۳،۲،۲	۱,۴,۲
	S4	۱,۴,۲	۱,۴,۲	۱,۴,۲	۱,۴,۲

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با بکارگیری نظریه بازی‌ها مدلی جهت تصمیم‌گیری ارائه شد که براساس آن استراتژی‌های مختلف مکان‌یابی سدسازی در حوضه آبریز منتخب قابل بررسی و بهینه‌ترین استراتژی براساس کمترین خسارت به بازیکن‌ها (اقتصاد، محیط زیست، اجتماع) قابل انتخاب است. همچنین با استفاده از نظریه مذکور ضمن حل همزمانی و در نظر گرفتن خسارت‌های به وجود آمده در پی سدسازی برای پارامترهای (اقتصاد، محیط زیست، اجتماع)، نسبت به مدل AHP (منصوری، ۱۳۹۷) که براساس نمره‌دهی به خسارت‌ها و جمع آن‌ها شکل گرفته، روش دیگری معرفی شد. پیامدهای هر استراتژی برای هر پارامتر در این پژوهش نتایج انحصاری خود را داشته است لیکن جمع‌بندی نتایج در این روش‌ها مهم‌تر از نتایج انفرادی هر ترکیب از استراتژی است. در این پژوهش با تبیین قاعده بازی، ماتریس پیامد به منظور یافتن استراتژی بهینه (تعادل نش) تشکیل شد، که نشان‌دهنده تمامی پیامدهای هر استراتژی برای هر پارامتر (بازیکن) می‌باشد. در نهایت، براساس ماتریس پیامد تعادل نش محاسبه گردید، که S2 به عنوان تعادل مذکور یا استراتژی بهینه مشخص شد، که نشان می‌دهد دو سد کوتاه استراتژی S2 در داخل حوضه آبریز توانست عملکرد بهتری نسبت به یک سد بلند در انتهای حوضه آبریز داشته باشد، به‌طوری‌که کمترین خسارت به یک پارامتر (هزینه بیشتر، استغراق روستاها و اراضی کشاورزی و زراعت) با در نظر گرفتن سایر پارامترها را به همراه داشته باشد.

این روش از روش‌های رایج به دلیل عدم پایداری آن بر وزن‌ها و نظرات کارشناسی که ممکن است رویکردهای اقتصادی یا اجتماعی یا ... را محور قرار دهد، متفاوت است. درواقع تمام استراتژی‌ها و تمامی متغیرها با یکدیگر و همزمان دیده می‌شوند. خصوصا در حوزه منابع آب و محیط‌زیست همزمانی تقابل آراء در توسعه و محیط‌زیست بسیار حایز اهمیت است. دکترینی که از نتایج این پژوهش استخراج شد تاثیر توسعه همزمان تمامی شاخص‌های محیط‌زیستی و اقتصادی و اجتماعی برای طراحی یک سد است. لزوم بررسی سناریو جدیدی با رویکرد تغییر تعداد سدها در زیرحوزه به صورت حوضه‌ای نه انفرادی علاوه بر گزینه Null (عدم ساخت سد)، در رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب در الگوریتم طراحی سدها و مدیریت منابع آب بسیار موثر و مفید است.

پانوشت

1-James Waldegrave
2-Nash Equillibrium
3-Sarazal Raguel
4-Pay Off
5-Player
6-Game Theory
7-Strategy
8-Topography

منابع

-صفاری، ن. و ضرغامی، م.، ۱۳۹۰. تخصیص بهینه آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع با استفاده از نظریه بازی‌ها، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.

-پورسپاهی سامیان، ح. و کراچیان، ر.، ۱۳۹۰. تخصیص آب در رودخانه‌های مشترک: کاربرد تئوری بازی‌ها، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.

-غلامی مهیاری، ف. و علی‌محمدی، س.، ۱۳۹۱. حل اختلاف در مدیریت انتقال بین‌حوضه‌ای آب با استفاده از تئوری بازی‌ها، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

-دانش یزدی، م.، ابریشم چی، ا. و تجریشی، م.، ۱۳۹۳. حل مناقشات در مدیریت تخصیص منابع آب با استفاده از نظریه بازی، مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فصلنامه آب و فاضلاب، دوره ۲۵، شماره ۹۰، ص ۲۳-۴۵.

-بنی‌حنیف، م.ا. و نجفی مرغملی، س.، ۱۳۹۷. ارزیابی نظریه‌های بازی و ورشکستگی جهت تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهویزه، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲۳، ص ۱۲-۲۲.

-پور مقدم، پ.، پرنا، ا.، علم‌دوست، ع. و کراچیان، ر.، ۱۳۹۲. کاربرد تئوری بازی‌ها در مدیریت منابع آب زیرزمینی با تاکید بر کنترل نواسانات تراز آب، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

-ذراتی، ع.، منصوری، ع. و الوانکار، س.ر.، ۱۳۹۲. مقایسه کاربری و استفاده از چند سد کوتاه در حوضه آبریز به جای یک سد بلند در پایین دست، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز.

-منصوری، ع. و لاریجانی، ی.، ۱۳۹۷. امکان‌سنجی احداث چندین سد کوتاه به جای یک سد مرتفع در انتهای حوزه در پایین‌دست حوزه آبریز سد با استفاده از روش AHP (مطالعه موردی: سد البرز)، اولین کنفرانس فرصت‌ها و چالش‌های مهندسی استان البرز، کرج: دانشگاه خوارزمی، دانشگاه خوارزمی تهران، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز.

-ایمان، ص. و منصوری، ع.، ۱۳۹۷. مدل‌سازی و ارزیابی سدهای کوتاه در بخش‌های مختلف حوزه آبریز به جای یک سد بلند در انتهای حوزه آبریز با رویکرد نظریه بازی‌ها مطالعه موردی سد الغدیر، ساوه، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز: دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز.

-Andik, B. and Niksokhan, M.H., 2020. Waste load allocation under uncertainty using game theory approach and simulation-optimization process, Journal of Hydroinformatics.

-Bhagabati, S., Kawasaki, A., Babel, M., Rogers, P. and Ninsawat, S., 2014. A cooperative game analysis of transboundary hydropower development in the lower Mekong: case of the 3S Sub-basins. Water resources management, v. 28(11), p. 3417-3437.

-Bogardi, I. and Szidarovsky, F., 1976. Application of game theory in water management, Applied Mathematical Modelling, v. 1(1), v. 16-20.

-Cournot, A.A., 1897. Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth, Macmillan, 213 p.

-Crawford, V.P. and Varian, H.R., 1979. Distortion of preferences and the Nash

theory of bargaining, Economics Letters, v. 3(3), p. 203-206.
-Dinar, A., Ratner, A. and Yaron, D., 1992. Evaluating cooperative game theory in water resources. Theory and decision, v. 32(1), p. 1-20.
-Dinar, A. and Hogarth, M., 2015. Game theory and water resources critical review of its contributions, progress and remaining challenges. Foundations and Trends® in Microeconomics, v. 11(1-2), p. 1-139.
-Fudenberg, D. and Tirole, J., 1991. Perfect Bayesian equilibrium and sequential equilibrium. journal of Economic Theory, v. 53(2), p. 236-260.
-Fu, J., Zhong, P.A., Zhu, F., Chen, J., Wu, Y.N. and Xu, B., 2018. Water Resources Allocation in Transboundary River Based on Asymmetric Nash–Harsanyi Leader–Follower Game Model, Water, v. 10(3), 270 p. https://doi.org/10.3390/w10030270.
-Harsanyi, J.C., 1976. A solution concept forn-person noncooperative games. International Journal of Game Theory, v. 5(4), p. 211-225.
-Han, Q., Tan, G., Fu, X., Mei, Y. and Yang, Z., 2018. Water resource optimal allocation based on multi-agent game theory of HanJiang river basin, Water, v. 10(9), p. 1184; https://doi.org/10.3390/w10091184.
-Kreps, D.M. and Wilson, R., 1982. Sequential equilibria. Econometrica: Journal of the Econometric Society, v. 50(4), p. 863-894.
-Morgenstern, O. and Von Neumann, J., 1953. Theory of Games and Economic Behavior, Princeton university press, 345 p.
-Nash, J., 1953. Two-person cooperative games, Econometrica: Journal of the Econometric Society, v. 23, p. 128-140.
-Parrachino, I., Dinar, A. and Patrone, F., 2006. Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 3. application to water resources. The World Bank, http://hdl.handle.net/10986/8852.
-Qin, Q., Liu, Y. and Huang, J.P., 2020. A cooperative game analysis for the allocation of carbon emissions reduction responsibility in China's power industry. Energy Economics, v. 92, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104960.
-Rives, N.W., 1975. On the history of the mathematical theory of games, History of Political Economy, v. 7(4), p. 549-565.
-Rubinstein, A., 1982. Perfect equilibrium in a bargaining model. Econometrica: Journal of the Econometric Society, v. 50(1), p. 97-109.
-Rogers, P., 1969. A game theory approach to the problems of international river basins. Water resources research, v. 5(4), p.749-760.
-Raquel, S., Ferenc, S., Emery Jr, C. and Abraham, R., 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of environmental management, v. 84(4), p. 560-571.
-Rawas, F., 2020. Competition vs cooperation: application of game theory in the multi-agent coordination of a BC Hydropower system (Doctoral dissertation, THE DEGREE of MASTER OF APPLIED SCIENCE, University of British Columbia).
-Selten, R., 1965. "Spieltheoretische behandlung eines oligopolmodells mit nachfrageträgheit: Teil i: Bestimmung des dynamischen preisgleichgewichts." Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft/Journal of Institutional and Theoretical Economics H. v.2, p. 301-324.
-Smith, J.M., 1970. Natural selection and the concept of a protein space, Nature, v. 225, p. 563-564. doi: 10.1038/225563a0.
-Sardar Shahraki, A. and Emami, S., 2020. The Economic Evaluation of Optimal Water Allocation Using

operation using bat and particle swarm algorithm and game theory based on optimal water allocation among consumers, Water Resources Management, v. 33(9), p. 3071-3093.
-Zarei, A., Mousavi, S.F., Gordji, M.E. and Karami, H., 2019. Optimal reservoir Artificial Neural Network (Case Study: Moghan Plain), Iranian Economic Review, v. 24(3), p. 833-851.