محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٠، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٣، صفحهٔ ٨٨٩-٨٧٥

تخصیص بهینهٔ آب با استفاده از تئوری‌بازی‌های همکارانه (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز زاینده‌رود)

ندا اکبری[1]، محمدحسین نیک‌سخن[2]*، مجتبی اردستانی[3]

۱. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران nedaakbari@ut.ac.ir

۲. استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران ardestan@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/٤/۲۱

چکیده

پیامدهای اجتناب‌ناپذیر سیر افزایشی تقاضای آب و کاهش منابع، موجب اعمال سیاست‌های مختلف مدیریتی بـه منظـور رسـیدن بـه بهینه‌ترین میزان تخصیص آب شده است. محیط‌زیست به‌منزلهٔ یکی از عناصر اصلی نیازمند آب، همـواره پـذیرای خسـارات ناشـی از تخصیص‌نیافتن منابع آبی بوده است. هدف از این پژوهش، بررسی و انتخاب سیاست‌های پایدار تخصیص آب بـه ذی‌نفعـان مختلـف است به طوری که آب با کیفیت و میزان مناسب برای ادامهٔ حیات پیکرهٔ آبی در دسترس باشد و اهداف اقتصادی هر یک از ذی‌نفعـان نیز تأمین شود و بین ذی‌نفعان و محیط‌زیست (پیکرهٔ آبی) توافق به وجود آید. بدین منظور، محیط‌زیست بـه‌منزلـهٔ آب‌بـر مسـتقل در مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و بازیکن مستقل در بازی‌های همکارانه لحاظ شده است. در این مطالعه، حوضـهٔ آبریـز زاینـده‌رود و باتلاق گاوخونی به‌منزلهٔ منابع ارزشمند اکولوژیک و آبی کشور که تأمین‌کنندهٔ نیازهای آبی مانند شرب، صنعت و کشاورزی‌اند، انتخاب شده‌اند. هدف از این تحقیق تأمین همزمان بیشترین بهره‌وری اقتصادی و برقراری حداقل شـرایط مطلـوب تـأمین آب بـرای تـالاب است. تخصیصی که تأمین حداقل نیاز آبی تالاب برابر ۱۴۰ میلیون متر مکعب در سال در آن لحاظ شود، ایده‌آل‌ترین رویکرد است. بـا وجود این، در نتیجهٔ اعمال سناریوهای مختلف با متدولوژی پیشنهادی این تحقیق، سناریویی که حداکثر نیاز ذی‌نفعان را تـأمین کنـد، برتر از سایر رویکردهاست، به صورتی که ۸۷/۳ درصد نیاز آبی تالاب برای حفظ شرایط مطلوب آن تأمین می‌شود. از طرف دیگـر، بـا تخصیص آب به سایر ذی‌نفعان، سود تخصیصی به بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست در این رویکرد بیشترین میزان خود را دارد و به ترتیب برابر با ۲۰۵۷/۳۸، ۶۲۲/۵۵ و ۲۰۸ میلیون دلار در ۱۰ سال است.

کلیدواژه

بهینه‌سازی، تئوری‌بازی‌ها، تخصیص، حقابهٔ محیط‌زیست، زاینده‌رود.

۱. سرآغاز

در سال‌های اخیر تمایل برای استفاده از مدل‌های الگـوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی در سیستم‌هـای منـابع آب افـزایش یافته است. از مهم‌ترین مطالعات در این زمینه می‌تـوان بـه تحقیقات زیر اشاره کرد.

تحقیقـات Goldberg در سـال ۱۹۸۹ و Michalewicz در سال ۱۹۹۲ به ارائهٔ ویرایش‌هـای جدیـدی از الگـوریتم ژنتیک و افزایش کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی از جمله مهندسی آب منجر شده است. Wardlaw و Sharif در سال ۱۹۹۹ از توانـایی‌هـای الگـوریتم ژنتیـک بـرای بهـره‌بـرداری در زمـان واقعـی بـرای یـک سیسـتم چهارمخزنه استفاده کردند که حاصل تلاش آن‌ها پـی‌بـردن به این سه نکته بود: ۱. الگوریتم ژنتیک به امتحان سیاسـت خروجی اولیه نیاز ندارد. ۲. به آسانی توانایی حـل مسـائل

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۶۱۱۱۳۵۷۸ Email: niksokhan@ut.ac.ir

غیرخطی را دارد و ۳. الگوریتم ژنتیک می‌تواند چندین راه‌حل که نزدیک به مقدار بهینه است را تولید کند. Salemi و Murray-Rust در سال ۲۰۰۲ و Ardakanian در سال ۲۰۰۵، در حوضهٔ زاینده‌رود با توجه به اینکه امکان‌سنجی تأمین آب برای نیازهای شرب، کشاورزی و صنعت از چالش‌های مدیریت منابع آب در بلندمدت، به واسطهٔ توسعهٔ اقتصادی- اجتماعی است، به ارزیابی تأمین سالانهٔ آب برای نیازهای آبی پایین‌دست سد و با استفاده از بیلان آبی مخزن برای سناریوهای مختلف رشد تقاضای آب، پرداخته‌اند. در این مطالعات، مدل‌سازی دقیق‌تر حوضهٔ آبریز با در نظر گرفتن توزیع مکانی نقاط برداشت و مصرف آب، به علاوه برداشت از آبخوان‌ها، امکان ارزیابی صحیح‌تر امکان تأمین آب را در شرایط مختلف برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کند.

Rogers در سال ۱۹۶۹ برای اولین بار از یک رویکرد مبتنی بر نظریه‌بازی در زیرحوضهٔ Gangs-Brahmapootra که شامل آب‌بران مختلفی از دو کشور هند و پاکستان است، استفاده کرد. نتایج تحقیق ارائهٔ یک سری استراتژی‌هایی است که می‌توانند بستر لازم برای همکاری این دو کشور را فراهم و سود زیادی را متوجه هر دو آب‌بر کنند. Defournaud در سال ۱۹۸۲، از نظریه‌بازی در هر دو حوضهٔ Columbia و Lower Mekong استفاده کرد و نشان داد که منفعت دوجانبه همواره بهترین و کاراترین معیار برای سنجش همکاری در حوضه های آبریز نیست. در نهایت یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای حل مناقشات موجود در مدیریت و برنامه ریزی منابع آبی ارائه شده است.

Dinar و Wolf در سال ۱۹۹۴ از نظریه‌بازی ها برای ارزیابی ایدهٔ تجارت هیدروتکنولوژی و انتقال آب بین حوضه های کشورهای همسایه استفاده کرد. در این مطالعه آن‌ها تلاش کردند چارچوب مفهومی جامع و واقع‌بینانه‌تری را که دربر گیرندهٔ هر دو مسئلهٔ اقتصادی و سیاسی باشد، ارائه کنند. Lejano and Davos در سال ۱۹۹۵ روش جدیدی با عنوان نوکلئولوس نرمال‌شده را برای تخصیص عواید حاصل از همکاری بین بازیکنان یک بازی ارائه کردند. برای تبیین روش ارائه‌شده، از آن به منظور تخصیص هزینه های پروژهٔ استفادهٔ مجدد از آب در منطقهٔ کالیفرنیای جنوبی استفاده و نتایج آن با نتایج روش‌های پیشین مانند نوکلئولوس و ارزش شاپلی مقایسه شده است. Roe و Diao در سال ۱۹۹۷ در مطالعهٔ بین سیاست‌های قیمت‌گذاری آب و اقتصاد حوضه ارتباط برقرار و نتایج را تحلیل کردند. طبق تحقیق، بسته به اندازهٔ ظرفیت (نسبی) بخش مصرف‌کنندهٔ آب، انواع مختلف سیاست‌های قیمت‌گذاری آب از طریق آب‌بران ممکن است هم اثر مثبت و هم منفی نه تنها روی اقتصاد یک منطقه، بلکه اقتصاد کل حوضه داشته باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که دو آب‌بر مجزا، به یکدیگر وابسته اند و سیاست‌های قیمت‌گذاری یکی روی دیگری تأثیر خواهد گذاشت.

Ganji و همکاران در سال ۲۰۰۷ از مدل بازی پویای احتمالاتی نش با اطلاعات کامل برای بررسی اختلاف بین مصرف‌کنندگان آب حوضهٔ آبریز زاینده‌رود استفاده کردند. مقایسهٔ نتایج این مدل با سایر روش‌های بهره‌برداری از مخزن مانند برنامه‌ریزی پویای احتمالاتی بیزین، الگوریتم ژنتیک متوالی و رگرسیون برنامه‌ریزی پویا بیانگر این مطلب بود که در صورت سیاست‌گذاری مخازن آبی با بینش‌های به‌دست‌آمده از نظریه‌بازی‌ها، می‌توان به تعاملات بین مصرف‌کنندگان و اداره‌کنندگان مخزن و اولویت‌های هر یک از آنان توجه کرد. Madani در سال ۲۰۱۰ به تبیین مزایای به کارگیری نظریه‌بازی‌ها بر روش‌های مرسوم بهینه‌سازی در مسائل برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری منابع آب و محیط‌زیست پرداخت. وی با استفاده از تعدادی از بازی‌های غیرهمکارانهٔ مرتبط با منابع آب، ضمن مرور میزان و نحوهٔ کاربرد نظریه‌بازی‌ها در مدیریت منابع آب و حل اختلافات ایجادشده، به تشریح ساختار پویای مسائل مرتبط با منابع آب و اهمیت توجه به مسیر تکامل بازی ها در مطالعهٔ چنین مسائلی پرداخت.

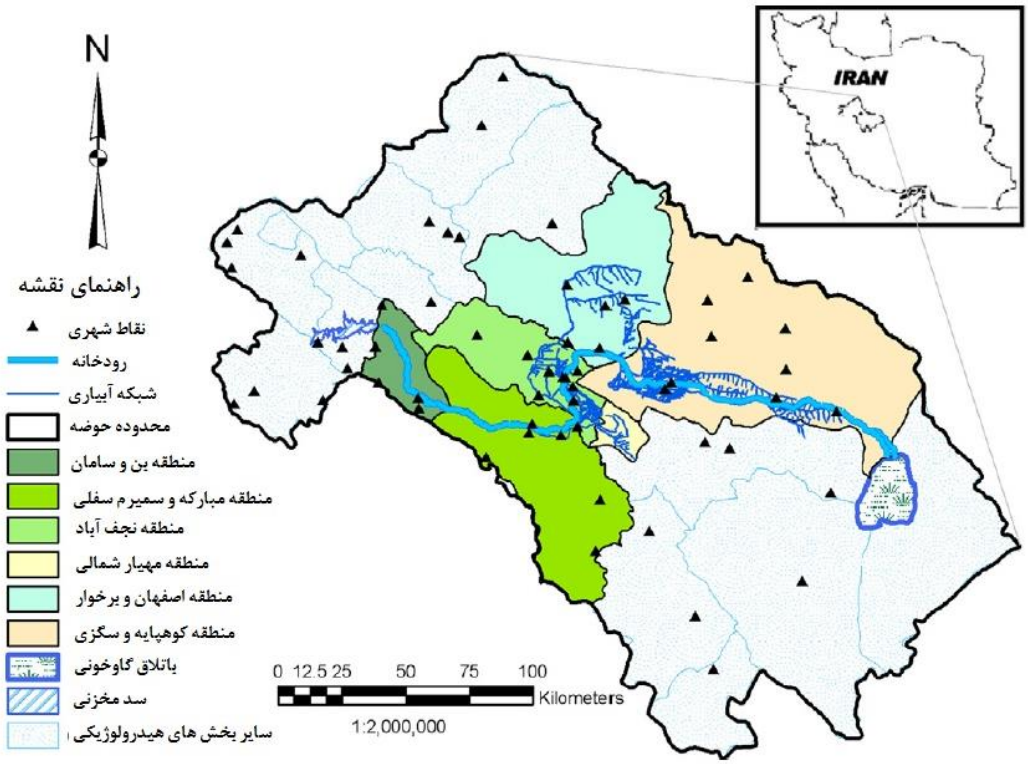
Madani در سال ۲۰۱۱ با به‌کارگیری روشی مبتنی بر راه‌حل‌های چانه‌زنی همکارانهٔ نش و نش- هاریزانی به بررسی امکان شکل‌گیری همکاری و توافق بین مجریان پروژه‌های برق‌آبی غیردولتی و گروه‌های ذی‌نفع، به ویژه طرفداران محیط‌زیست، در فرایند تمدید مجوز مجدد بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی اقدام کرد. وی از اتصال بازی‌ها به یکدیگر و گسترش محدودهٔ جواب‌های قابل قبول و مفهوم باخت استراتژیک در مدل چانه‌زنی ارائه‌شده استفاده کرد. همچنین، وی به بررسی امکان استفاده از پدیدهٔ تغییر اقلیم و آثار آن به‌منزلهٔ انگیزه‌ای برای ایجاد همکاری بین بازیکنان و تسریع فرایند چانه‌زنی برای دریافت مجوز مجدد پرداخت. Abrishamchi و همکاران در سال ۲۰۱۱ با استفاده از نظریه‌بازی‌های همکارانه، رهیافتی برای تخصیص بهینهٔ آب بین سه استان آذربایجان شرقی، غربی و کردستان در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه ارائه کردند. از جمله پیامدهای افزایش تقاضا و کاهش منابع مختلف طبیعی به ویژه منابع آب، بروز مناقشات بر سر تخصیص منابع است. آنان از برخی مفاهیم اساسی نظریه‌بازی‌های همکارانه از جمله مفاهیم هسته، ارزش شاپلی و گرایش آستانه‌ای برای تحلیل موارد ممکن همکاری بین آب‌بران استفاده کردند.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد با توجه به ماهیت تئوری‌بازی‌ها که دانشی برای تصمیم‌گیری در شرایطی است که فاکتورهای متعدد روی عملکرد بازیکنان تأثیرگذارند، استفاده از این ابزار برای تصمیم‌گیری در زمینهٔ سیاست‌گذاری‌های منابع آب بسیار مناسب بوده است که تعدد انجام پژوهش‌های مرتبط گویای این مطلب است. همچنین، استفاده از این تئوری موجب واضح‌تر شدن شرایط حاکم بر حوضه پیش و پس از اعمال سیاست‌های مدیریتی و بررسی عملکرد هر یک از بازیکنان طی اعمال سیاست‌های مزبور می‌شود. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، استفاده از تئوری‌بازی‌ها قوت‌ها و ضعف‌های هر سناریو برای هر بازیکن را مشخص می‌کند و نهایتاً به تصمیم‌گیرندگان اجازهٔ انتخاب با آگاهی بیشتر از نتایج تصمیم و بازخورد آن نسبت به هر یک از بازیکنان را می‌دهد. همچنین، این قابلیت را دارد که با سایر روش‌های برنامه‌ریزی منابع آب مقایسه شود یا به انتخاب یکی از این روش‌ها برای تصمیم‌گیری کمک کند، اما قوی‌ترین عملکرد آن در نشان‌دادن مزیت‌های داشتن یا نداشتن همکاری بین بازیکنان است. وجه تمایز این تحقیق نسبت به سایر مطالعات، ورود بخش محیط‌زیست به‌منزلهٔ بازیگر مستقل تأمین آب برای تالاب در حکم پهنهٔ آبی ارزشمند از لحاظ محیط‌زیست و اکولوژی است.

در تحقیق حاضر با توجه به دستاوردهای پژوهش‌های پیشین و بررسی حوضهٔ آبریز زاینده‌رود، ابتدا به بهینه‌سازی تخصیص آب خروجی از مخزن سد به آب‌بران شامل شرب، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک پرداخته می‌شود. سپس، با برآورد سود اقتصادی هر یک از آب‌بران، با استفاده از بازی‌های همکارانه به بررسی اقتصادی تعامل آب‌بران در حوضه پرداخته و منافع آن برای هر یک تعیین می‌شود.

۱. ۱. حوضهٔ آبریز زاینده‌رود

حوضهٔ آبریز زاینده‌رود با وسعتی بیش از ۴۰ هزار کیلومتر مربع در مرکز ایران واقع شده است که استان‌های اصفهان، یزد و چهارمحال بختیاری را دربر می‌گیرد. رودخانه‌های مستقر در این حوضه اغلب فصلی و سیلابی‌اند و رودخانه‌های دائمی پر آب کمی در آن جریان دارند. زاینده‌رود که یکی از رودخانه‌های دائمی و مهم کشور و مهم‌ترین پیکرهٔ آبی این حوضه است از کوه‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیر و سیراب‌کردن زمین‌های کشاورزی و تأمین آب شرب و مورد نیاز صنایع مستقر در مسیرش و انجام وظایف مهم اکولوژیک در انتها به تالاب گاوخونی واقع در شرق حوضه ختم می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. حوضهٔ آبریز زاینده‌رود

(منبع: Nikouei, et al., 2012)

طی ده سال گذشته، به علت استفادهٔ بیش از حد آب زاینده‌رود و کمبود بارندگی‌ها در این حوضه، این رودخانه در فصل‌های گرم سال همواره با کمبود آب مواجه بوده، به گونه‌ای که از اصفهان تا تالاب گاوخونی، ماهیت خود را به‌منزلهٔ رودخانهٔ دائمی طبیعی از دست داده است. باتلاق گاوخونی تالاب بزرگ، کم‌عمق و شور است. این تالاب بین‌المللی در کنوانسیون رامسر ۱۹۷۵ به ثبت رسیده است. تالاب در نقطهٔ خروج زاینده‌رود، در لبهٔ غربی بیابان‌های فلات مرکزی ایران واقع شده است. باتلاق، نوسانات گسترده‌ای از جریانات فصلی را تجربه می‌کند (Coad, 2010) و در صورت جاری‌شدن رواناب‌های سطحی به این منطقه در زمستان یخ می‌بندد و در اواخر بهار یا اوایل تابستان خشک است (Mansoori, 1997). این تالاب نقش مهم هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و زیست‌محیطی در عملکرد طبیعی حوضهٔ آبی زاینده‌رود دارد و یک منبع مهم برای شارژ سفره‌های آبی همچنین، مانع تبدیل‌شدن منطقه به بیابان است. این باتلاق از عوامل مهم تنظیم‌کنندهٔ اقلیم منطقه‌ای است و نقش مهمی در محدودکردن گرمای تابستان و توفان‌های گرد و غبار منطقه ایفا می‌کند (Vakili, 2006).

۲. مواد و روش‌ها

الگوریتم ژنتیک تکنیک جستجو و بهینه‌سازی قوی با کاربرد وسیع است که بر اساس اصولی از تئوری تکامل بنا شده است. این تکنیک با توجه به سرعت زیاد و قابلیت یافتن بیشینه و کمینهٔ مطلق روی طیف وسیعی از توابع، در بهینه‌سازی مسائل مهندسی کاربرد زیادی پیدا کرده است. در این الگوریتم سعی بر این است که با جستجوی تصادفی، اما هوشمندانه در فضای جواب توابع، به سمت جواب بهینه سوق داده شود. الگوریتم ژنتیک از طریق جستجوی تصادفی همه‌جانبه در فضای جواب به صورت موازی به نقاط بهینهٔ مطلق همگرا می‌شود. این الگوریتم

محدودیتی برای تابع بهینه‌شونده، مثل مشتق‌پذیری یا پیوستگی، ایجاد نمی‌کند و تنها شرط لازم روی تابع تحت بررسی آن است که مقدار تابع در نقاط مختلف مشخص باشد، لذا می توان از این الگوریتم در مسائل مختلف اعم از خطی، غیرخطی، پیوسته یا گسسته و دارای محدودیت یا بدون محدودیت بهره گرفت (نیک‌سخن و کراچیان، ۱۳۸۷). شکل ۲ نشان‌دهندهٔ نحوهٔ بهینه‌سازی در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک است.

روابط بیلان آبی استفاده‌شده و تابع هدف به صورت خلاصه عبارت‌اند از:

رابطهٔ (۱)

$$\boldsymbol{min\ z} = \sum_{s=1}^{3}\sum_{y=1}^{Y}\sum_{m=1}^{12}\left(d_{s,m,y} - A_{s,m,y}\right)^2 + O_{m,y}^2$$

رابطهٔ (۲)

$$S_{m+1,y} = S_{m,y} + I_{m,y} - R_{,y} - L_{m,y}$$

رابطهٔ (۳)

$$\mathrm{UR}_{m,y} = \left(0.9 \times R_{m,y}\right) - \sum_{s=1}^{3}\sum_{y=1}^{Y}\sum_{m=1}^{12} A_{s,m,y} - EV_{m,y} - \mathrm{Rm,y})$$

رابطهٔ (۴)

$$O_{m,y} = SRA_{m,y} + SRI_{m,y} + \mathrm{UR}_{m,y}$$

در این معادلات اندیس s نشان‌دهندهٔ آب‌بر و اندیس m و y به ترتیب نمایانگر ماه m و سال y هستند.

$A_{s,m,y}$= مقدار آب تخصیصی ماهانه به آب‌بر s در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$d_{s,m,y}$= نیاز آبی ماهانه به آب بر s در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$R_{m,y}$= حجم آب خروجی از مخزن در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$L_{m,y}$= کل آب ازدست‌رفته در اثر تبخیر در مخزن در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$I_{m,y}$= آورد جریان بالادست به مخزن در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$S_{m,y}$= حجم آب مخزن در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

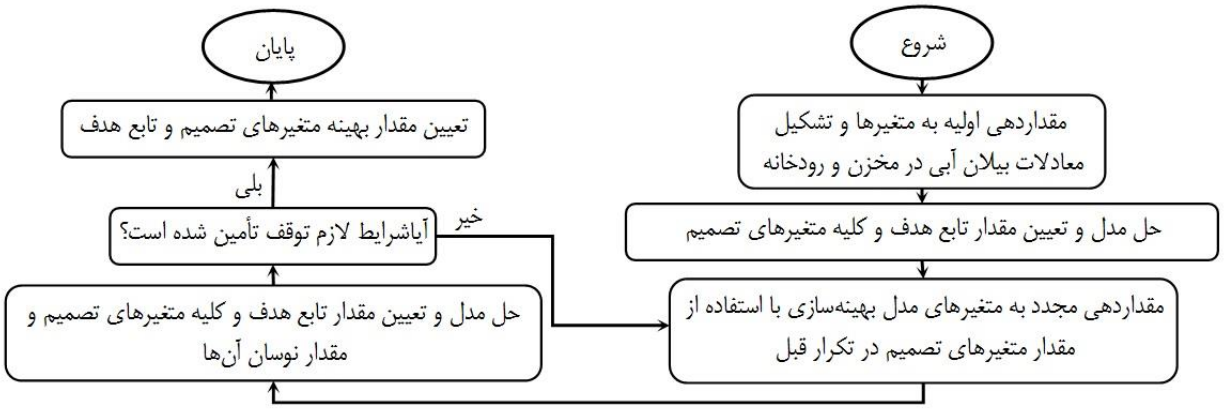
$UR_{m,y}$= حجم جریان باقی‌مانده در رودخانه پس از اعمال تخصیص‌ها در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$EV_{m,y}$= میزان آب ازدست‌رفته در اثر تبخیر در رودخانه در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

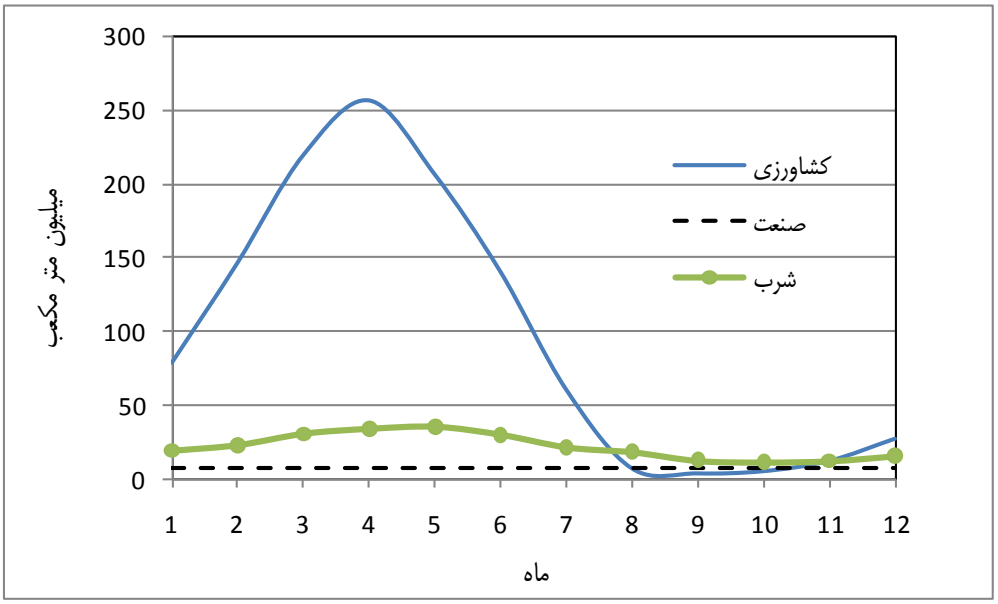
$SRI_{m,y}$= میزان آب بازگشتی ناشی از فعالیت بخش صنعت در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب)؛

$SRA_{m,y}$= میزان آب بازگشتی ناشی از فعالیت بخش کشاورزی در ماه m از سال y (میلیون متر مکعب).

شایان یادآوری است با توجه به حساس‌بودن بخش شرب نسبت به سایر کاربران، در این بخش کل آب مورد نیاز ابتدا به طور تضمینی از خروجی سد کسر و مابقی آب بین سایر کاربران (صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست) توزیع شده است. نیاز آبی و توزیع ماهانهٔ آن برای سه آب‌بر شرب، صنعت و کشاورزی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲. فلوچارت بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک



شکل ۳. توزیع ماهانهٔ نیاز آبی در حوضهٔ زاینده‌رود

(منبع: کریمی و همکاران، ۱۳۹۱)

با توجه به روش پیشنهادشده در این تحقیق، برای دستیابی به بهترین حالت مدیریت منابع آب در حوضهٔ مدل بهینه‌سازی با ۴ رویکرد مختلف که تفاوت آن‌ها در تعریف نیاز بخش محیط‌زیست است، اجرا شده است. به طور خلاصه رویکرد اول شامل تأمین جریان زیستی رودخانه است که با استفاده از روش تنانت و داده‌های قابل دسترس برای زاینده‌رود تأمین جریان زیستی زاینده‌رود، تأمین آب ۲/۰۶ میلیون متر مکعب برای هر ماه از فصل‌های سرد و ۶/۱۸ میلیون متر مکعب برای هر ماه از فصل‌های گرم، رودخانه را در وضعیت عادلانه قرار می‌دهد که در مجموع ۵۰ میلیون متر مکعب در سال آب برای پیکرهٔ آبی تأمین می‌کند. رویکرد دوم شامل تأمین حداقل آب مورد نیاز برای حفظ تالاب با توجه به ضرورت حفاظت و تأمین حداقل شرایط تداوم حیات برای این اکوسیستم ارزشمند آبی در منطقه، تدوین شده است. ادامهٔ حیات طبیعی باتلاق به عمق آب بستگی دارد. پایین‌ترین عمق ممکن برای فعالیت‌های حیاتی حدود ۱۵ سانتی‌متر است. این عمق را می‌توان با ۲/۲ متر مکعب بر ثانیه که موجب ورود ۷۵ میلیون متر مکعب آب در سال به باتلاق می‌شود، به دست آورد. عموماً بنتوزها در این عمق به سختی به حیات خود ادامه می‌دهند (Mahboubi, 1996; Moinian, 2000).

رویکرد سوم شامل تأمین کیفیت مطلوب تالاب از نظر TDS است به طوری که آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی TDS به‌منزلهٔ نیاز محیط‌زیست فرض شده است، زیرا وقتی یک اکوسیستم آب شیرین در معرض TDS قرار می‌گیرد، سلامتی آن با تهدید جدی مواجه می‌شود. بررسی اطلاعات کیفی نشان می‌دهد که رودخانهٔ زاینده‌رود در محدودهٔ کوهپایه- سگزی در محل ایستگاه ورزنه با غلظت TDS متوسط ۹۵۸۶ میلی‌گرم در لیتر به‌منزلهٔ نامطلوب‌ترین منبع از نظر TDS در محدودهٔ حوضه است. هر اکوسیستم آب شیرین، حد آستانه‌ای برای TDS دارد که تجاوز از آن هزینه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی سنگینی خواهد داشت. بر مبنای مطالعات مشاور یکم در قالب مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور در حوضهٔ گاوخونی، سهم TDS پایه و آب سطحی در TDS آب حوضهٔ مذکور طبق جدول ۱ تعیین شده است.

جدول ۱. دبی و میزان TDS پایه و سطحی در ایستگاه‌های مختلف حوضهٔ زاینده‌رود

نام ایستگاه	دبی پایه (Lit/Sec)	TDS پایه (mg/Lit)	حد بیشینهٔ کاهش TDS (mg/Lit)	TDS رواناب (mg/Lit)
قلعهٔ شاهرخ	۱۸۹۵۸/۴	۲۲۱/۴	۱۸۱/۳	۱۷۵/۹
پل زمانخان	۱۲۴۵۶/۵	۲۳۸/۶	۱۴۶/۲	۱۹۱/۵
پل کله	۱۰۹۳۸	۳۱۲/۵	۱۶۱/۵	۲۰۳/۳
پل خواجو	۹۸۹۷/۱	۵۱۸	۲۹۸/۹	۲۸۴/۳
پل چوم	۴۰۲۳/۹	۷۵۳/۵	۲۶۳/۷	۳۳۱/۹
ورزنه	۱۰۴۰۴/۶	۲۲۰۸/۳	۸۹۷/۸	۸۴۵/۶

منبع: مهندسین مشاور یکم (۱۳۸۲)

آبی که برای تأمین کیفیت مناسب در پیکرهٔ آبی باقی می‌ماند و برابر نیاز آبی محیط زیست رویکرد سوم در نظر گرفته شده است، در مجموع ۵۶ میلیون متر مکعب در سال است. در رویکرد چهارم، تأمین حداقل آب مورد نیاز برای عملکرد مطلوب تالاب مورد نظر است که با توجه به تحقیقات انجام‌شده روی باتلاق گاوخونی عملکرد مطلوب تالاب با تأمین ۱۴۰ میلیون متر مکعب در سال اتفاق خواهد افتاد که از این میزان ۷۰ درصد برای حفاظت باتلاق از خطر از میان رفتن و ۳۰ درصد آن برای بهبود عملکرد باتلاق گاوخونی مورد نیاز است (سلطانی، ۱۳۸۸). این میزان آب تأمین‌کنندهٔ عمق ۳۰ سانتی‌متری برای باتلاق است که این عمق بهینه برای زندگی موجودات آبزی (ماهی، بنتوز)، پرندگان، گیاهان و پستانداران کوچک است (Mahboubi, 1996; Moinian, 2000).

شایان یادآوری است برای بهینه‌سازی در رویکردهای بالا از فرضیات زیر استفاده شده است:

- برای بررسی کیفیت آب در طول رودخانه و تالاب شوری آب که آلایندهٔ پایستاری است، در نظر گرفته شده است.
- با توجه به اینکه عمدهٔ آب باتلاق گاوخونی از زاینده‌رود تأمین می‌شود از سایر ورودی‌های آب به آن صرف‌نظر شده است.
- به علت یک‌دست‌بودن سیستم رودخانه و تالاب وضعیت کیفی انتهای رودخانه معرف کیفیت آب تالاب فرض شده است.
- با توجه به میزان برداشت آب از طریق کشاورزی، صنایع و مصارف شهری کمبود آب در زاینده‌رود پس از اصفهان قابل تأمل است بنابراین، حداقل جریان زیستی مورد نیاز با توجه به ویژگی‌های این بخش تخمین زده و به سایر قسمت‌ها تعمیم داده شده است.

در فرایند تصمیم‌گیری، چنانکه تعداد تصمیم‌گیرندگان بیش از یک نفر باشد، تصمیم‌گیری با مشکلاتی همراه خواهد بود، زیرا افراد مختلف اهداف، دیدگاه‌ها و اولویت‌های متفاوتی دارند و تصمیم نهایی باید به گونه‌ای باشد که کلیهٔ این اختلاف نظرها در آن لحاظ شده باشد. یکی از روش‌های حل اختلاف بر پایهٔ تئوری‌بازی‌ها استوار است. در این تحقیق از تئوری‌بازی‌های همکارانه برای بررسی شرایط حاکم و مقایسهٔ رویکردهای ذکرشده استفاده شده است. مراحل لازم برای انجام یک بازی

همکارانه در حوضه‌های آبریز با چند آب‌بر به قرار زیر است:

- تعیین بازیکنان؛
- بررسی کلیهٔ ائتلاف‌های قابل تشکیل از مجموعه بازیکنان؛
- محاسبهٔ مقدار تابع مشخصه برای هر ائتلاف با استفاده از نتایج مدل برنامه‌ریزی منابع آب؛
- بررسی وجود یا نبود هسته؛
- استفاده از روش مناسب برای تخصیص عواید یک ائتلاف به هر یک از بازیکنان.

چنانکه مجموع هزینهٔ یک ائتلاف S برابر $c(S)$ و $c(i)$ باشد هزینهٔ بازیگر i در حالتی است که در ائتلاف شرکت نمی‌کند. بدین ترتیب سود حاصل از یک ائتلاف عبارت است از:

رابطهٔ (۵)

$$v(S) = \sum_{i \in S} c(i) - c(S) \geq 0$$

از بازی‌های همکارانه که بر پایهٔ هسته‌اند می‌توان به روش‌های مختلفی مانند Nucleolus ،Weak Nucleolus و Proportional Nucleolus اشاره کرد. در ادامه هر یک از این روش‌ها به طور مختصر توضیح داده می‌شوند.

۲. ۱. روش Nucleolus

در روش های بر پایهٔ هسته، میزان بی‌عدالتی تعریف می‌شود. بردار جواب در این روش، برداری است که کمترین میزان بی‌عدالتی امکان‌پذیر را به ازای تمامی ائتلاف‌ها شامل باشد. میزان بی عدالتی ائتلاف S و بردار x، طبق معادلهٔ زیر تعریف می‌شود (Wang et al., 2008):

رابطهٔ (۶)

$$e(S,x) = v(s) - \sum_{i \in S} x_i$$

بنا بر تعریف مقدار بی‌عدالتی و بر اساس تعریف هسته، با تعیین حداقل مقدار $e(S,x)$، مقادیر بردار جواب (x_i) تعیین خواهد شد.

۲. ۲. روش Weak Nucleolus

این روش میزان بی‌عدالتی متوسط مقدار افزایش حداقل هزینهٔ بازیگران یک ائتلاف S نسبت به مجتمع هزینه‌های تخصیص‌یافته به بازیگران آن ائتلاف است. بنابراین، میزان بی‌عدالتی به شکل زیر تعریف می‌شود (Wang et al., 2008):

رابطه (۷)

$$e(S,x) = (v(s) - \sum_{i \in S} x_i)/|S|$$

در معادلهٔ بالا، $|S|$ برابر تعداد شرکت‌کنندگان در ائتلاف S است. با این تعریف، برای دستیابی به بردار جواب می‌بایست مقدار $e(S,x)$ را کمینه کرد.

۳.۲. روش Proportional Nucleolus

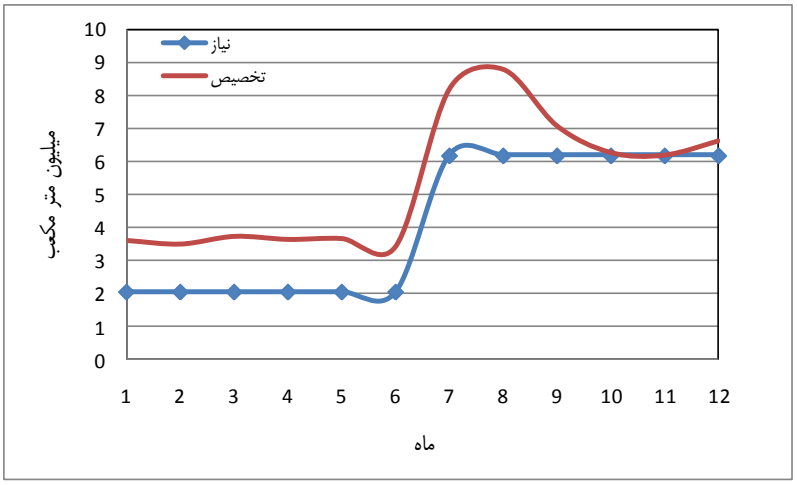
در این روش میزان بی‌عدالتی به شکل زیر تعریف می‌شود (Wang et al., 2008):

رابطه (۸)

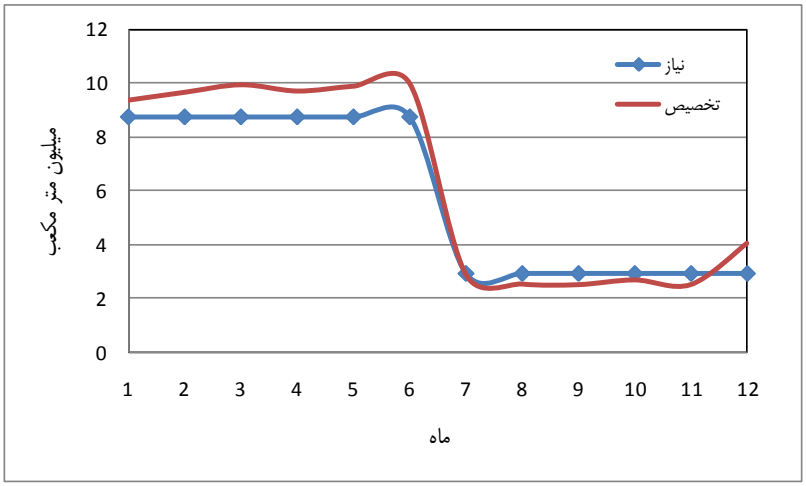
$$e(S,x) = (v(s) - \sum_{i \in S} x_i)/v|S|$$

با این تعریف، برای دستیابی به بردار جواب باید مقدار $e(S,x)$ را کمینه کرد.

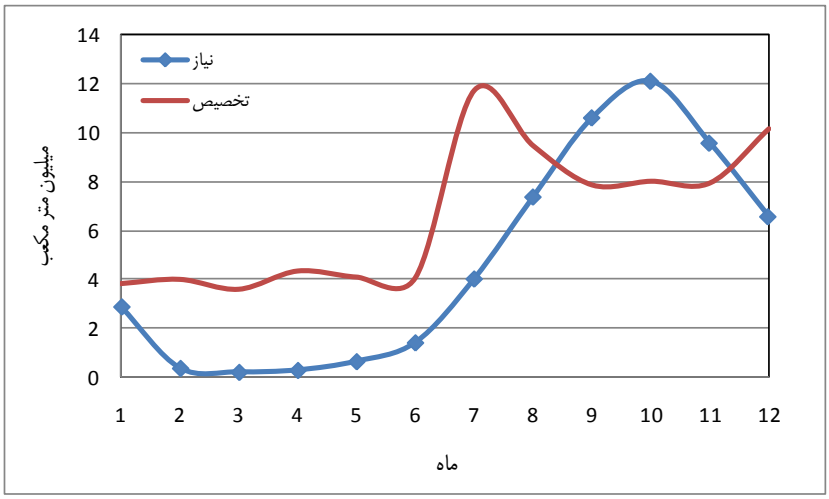
شکل‌های ۴ تا ۷ نشان‌دهندهٔ توزیع ماهانهٔ تخصیص به بخش محیط‌زیست و نیازهای آن در هر یک از رویکردهاست. همچنین، در جدول ۲، درصد تأمین نیاز هر یک از آب‌بران و میزان تخصیص‌های سالانهٔ آب در رویکردهای مختلف آورده شده است.



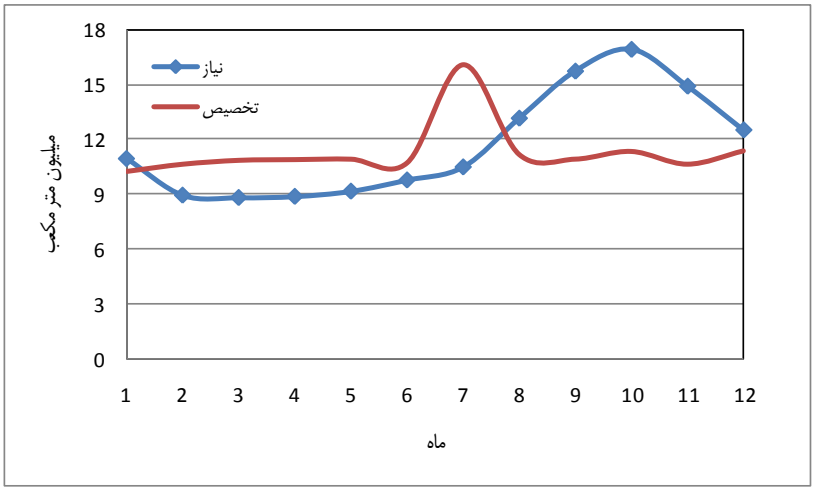
شکل ۴. تخصیص محیط‌زیست در رویکرد اول (درصد تأمین نیاز برابر ۱۰۰ درصد)



شکل ۵. تخصیص محیط‌زیست در رویکرد دوم (درصد تأمین نیاز برابر ۹۸ درصد)



شکل ۶. تخصیص محیط‌زیست در رویکرد سوم (درصد تأمین نیاز برابر ۸۵ درصد)



شکل ۷. تخصیص محیط‌زیست در رویکرد چهارم (درصد تأمین نیاز برابر ۸۷/۳ درصد)

جدول ۲. نیاز و تخصیص به هر یک از آب‌بران در رویکردهای مطالعاتی

	تخصیص کشاورزی		تخصیص صنعت		تخصیص محیط‌زیست	
	میلیون متر مکعب	درصد	میلیون متر مکعب	درصد	میلیون متر مکعب	درصد
نیاز آبی سالانه	۱۱۶۷	–	۹۱/۱۶	–	–	–
رویکرد اول	۹۵۲/۲	۸۱/۶%	۸۲/۱	۹۰%	۶۵	۱۰۰%
رویکرد دوم	۹۰۰/۸	۷۷/۱۹%	۸۱/۵	۸۹/۴%	۶۸/۶	۹۸%
رویکرد سوم	۹۳۸/۸	۸۰/۴۵%	۸۲/۷	۹۰/۶%	۴۷/۷	۸۵%
رویکرد چهارم	۸۹۳/۱	۷۶/۵%	۸۲/۴	۹۰/۴۵%	۱۲۲/۳	۸۷/۳%
تخصیص ناعادلانه	۹۸۷/۲۵	۸۴/۶%	۸۹/۴	۹۸%	-	-

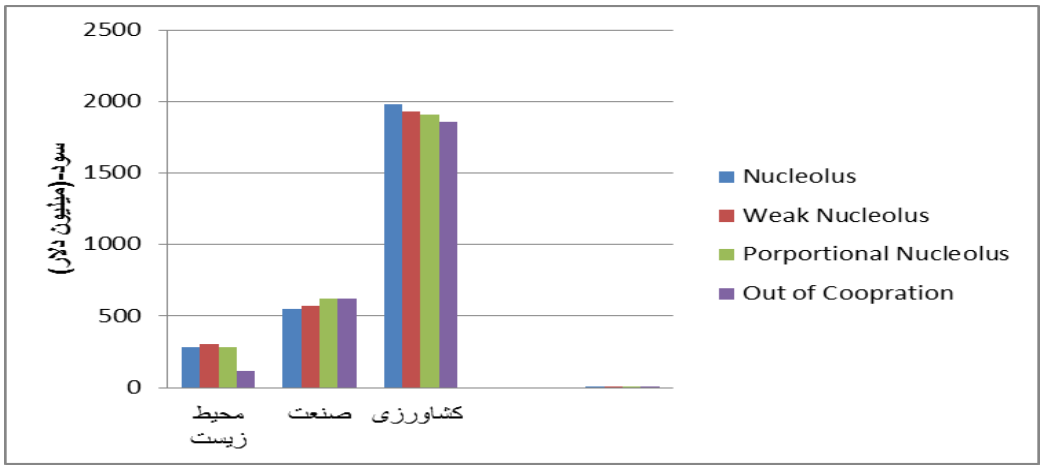
به علت گستردگی حوضهٔ آبریز مورد مطالعه و تعدد ذی‌نفعان، دید کلی‌نگر بر روند مطالعه حاکم است و هر دسته از ذی‌نفعان با یک عنوان کلی مجزا از محل استقرار و نوع خاص آن در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به نتایج بهینه‌سازی برای محاسبهٔ سود آب‌بران کشاورزی، محصولات شاخص حوضه بر مبنای تحقیقات انجام‌شده شامل چهار محصول اصلی گندم، جو، سیب‌زمینی و برنج است (Gohari et al. 2013; Morid and Massah, 2004). همچنین، شاخص بهره‌وری CPD در حوضهٔ زاینده‌رود به مقالات مرتبط مراجعه شده که بر مبنای تحقیقات، این مقدار برابر ۰/۶ در این حوضه در نظر گرفته شده است. با استفاده از قیمت خرید تضمینی اعلام‌شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی سود آبی مربوط به این بخش به طور متوسط با وزن‌دهی به هر یک از محصولات با توجه به سطح زیر کشت در این حوضه معادل ۰/۲۳۵ دلار بر متر مکعب برآورد شده است. برای محاسبهٔ میزان سود بخش صنعت با توجه به شاخص قراردادن صنایع ذوب آهن در حوضه که اصلی‌ترین استفاده‌کنندهٔ آب صنعتی و سودآورترین صنعت حوضه است با استفاده از میزان سود اعلام‌شده از سوی شرکت‌های ذی‌ربط در بورس اوراق بهادار ایران، متوسط سود آبی مربوط به این بخش به طور متوسط معادل ۰/۶۷۳ دلار بر متر مکعب برآورد شده است.

در اقتصاد محیط‌زیست سود حاصل از این منابع برابر با تمایل پرداخت مالی بازدیدکنندگان از محل و سایر کسانی که در استفاده از این منابع ذی‌نفع‌اند و به صرف هزینه برای حفظ خدمات آن تمایل دارند، ارزیابی می‌شود. نمونه‌هایی از امکانات تفریحی می‌توان به ماهیگیری، قایقرانی، مشاهدهٔ منظره، مقصد گردشگری و مانند آن اشاره کرد (Haab and McConnell, 2002). این امکانات به‌منزلهٔ خدمات عمومی در سه گروه از جمله: الف) خدمات غیرمستقیم ارائه‌شده از طریق آب، ب) خدمات مستقیم ارائه‌شده از طریق رودخانه در امتداد رودخانه، و ج) خدمات غیرمستقیم ارائه از طریق تالاب می‌توانند طبقه‌بندی شود. ارزش اقتصادی باتلاق گاوخونی را در حالات مختلف از جمله شرایط سال آبی نرمال ۲۰۸ میلیون دلار در ۱۰ سال برآورد شده است (Nikouei et al., 2012). در جدول ۳ میزان مصرف آب و سود ناخالص تخصیصی به هر آب‌بر در هر رویکرد در ۱۰ سال با شرایط آبی نرمال نشان داده شده است.

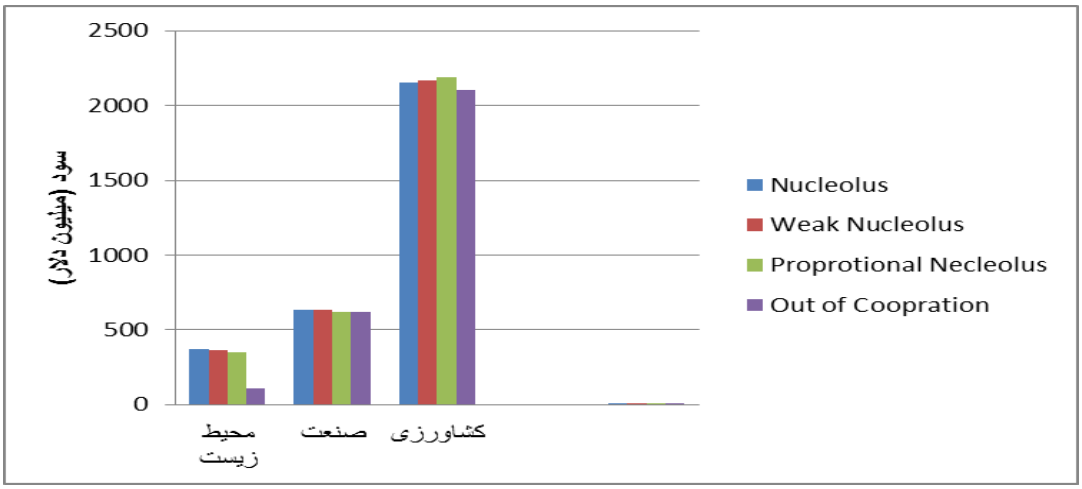
برای کاربران صنعت و کشاورزی هزینهٔ شرکت در ائتلاف‌ها برابر خسارت ناشی از فاصله‌گرفتن از حالت بدون تخصیص آب به محیط‌زیست و هزینهٔ لازم برای ایجاد تکنولوژی‌های مدرن برای صرفه‌جویی در مصرف آب در نظر گرفته شده است. نتایج انجام بازی‌های همکارانه در شکل‌های ۸ تا ۱۱ برای هر یک از رویکردها نشان داده شده است.

جدول ۳. سود ناخالص آب‌بران در هر رویکرد

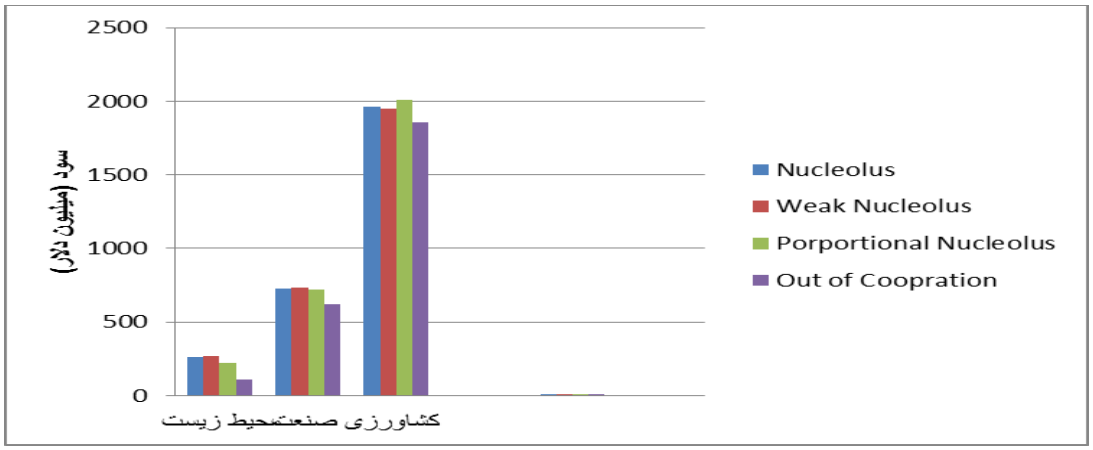
بهره‌بردار	رویکرد اول		رویکرد دوم		رویکرد سوم		رویکرد چهارم	
	مصرف آب (میلیون متر مکعب)	سود (میلیون دلار)	مصرف آب (میلیون متر مکعب)	سود (میلیون دلار)	مصرف آب (میلیون متر مکعب)	سود (میلیون دلار)	مصرف آب (میلیون متر مکعب)	سود (میلیون دلار)
کشاورزی	۸۷۵۹	۲۰۵۷/۸۹	۹۱۸۲/۳۲	۲۱۵۷/۳۴	۸۶۵۲/۶	۲۰۳۲/۸۹	۸۷۵۶/۸	۲۰۵۷/۳۸
صنعت	۹۲۴/۱۷	۶۲۲/۴۷	۹۲۴/۲۱	۶۲۲/۴۹	۹۲۳/۶۱	۶۲۲/۰۹	۹۲۴/۳	۶۲۲/۵۵
محیط‌زیست	۹۸۵/۰۵	۱۱۷/۲۶	۸۹۰/۷۱	۱۰۶/۰۳	۱۰۴۴/۹۸	۱۲۴/۴	۱۷۴۷/۲	۲۰۸



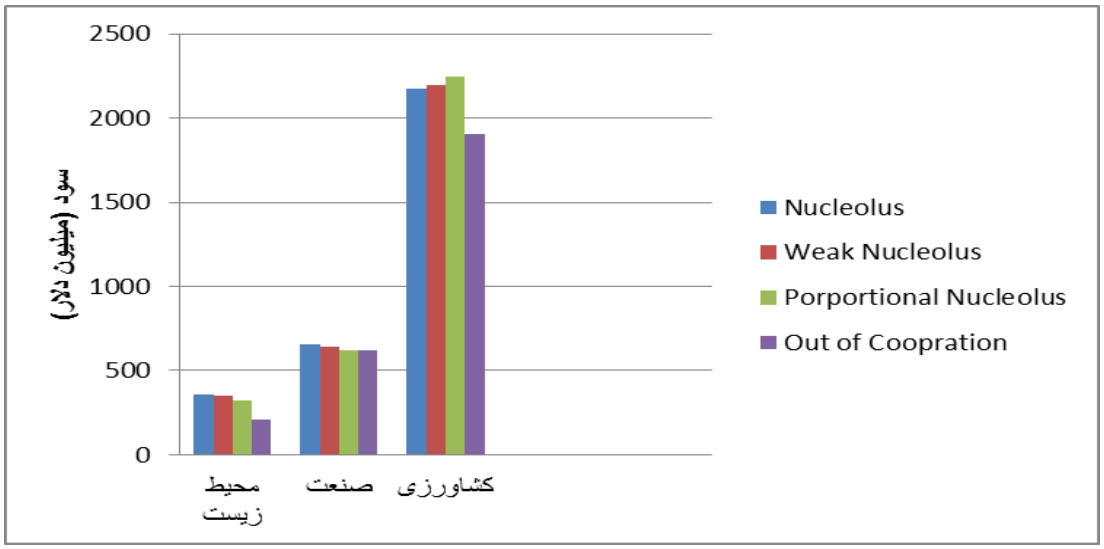
شکل ۸ . مقایسهٔ سودهای هر یک از بازیکنان در بازی همکارانه و حالت عادی در رویکرد اول



شکل ۹. مقایسهٔ سودهای هر یک از بازیکنان در بازی همکارانه و حالت عادی در رویکرد دوم



شکل ۱۰. مقایسهٔ سودهای هر یک از بازیکنان در بازی همکارانه و حالت عادی در رویکرد سوم



شکل ۱۱. مقایسهٔ سودهای هر یک از بازیکنان در بازی همکارانه و حالت عادی در رویکرد چهارم

۳. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اطلاعات موجود از حوضهٔ مورد مطالعه به‌رغم انواع طرح‌های مدیریتی در راستای افزایش آب‌رسانی به حوضه، تأمین‌کنندهٔ نیازهای آبی کاربران آب نیست. به خصوص در بخش محیط‌زیست به علت بی‌توجهی به آن در سال‌های اخیر و اولویت اختصاص آب به سایر نیازها در ادامهٔ حیات خود دچار نقصان شده و کاملاً به جریانات و بارش‌های فصلی وابسته است. طبق رویکردهای طراحی‌شده در این تحقیق با توجه به بخش محیط‌زیست در تخصیص‌ها می‌توان بیش از ۸۵ درصد نیاز این بخش را برطرف کرد. با داشتن نگرش تأمین آب برای بخش محیط‌زیست ۳- ۸ درصد نیازهای کشاورزی و تقریباً ۸ درصد نیازهای صنعت دچار کمبود می‌شود. از نظر تأمین نیاز محیط‌زیست که در هر رویکرد به شکل متمایزی تعریف شده است، مدل بهترین تخصیص را در رویکرد اول از خود نشان داده که ۱۰۰ درصد نیاز تأمین شده است. البته با توجه به اینکه این رویکرد کمترین میزان نیاز برای محیط‌زیست را در نظر گرفته است، کمترین نقصان در تخصیص‌های کشاورزی و صنعت وجود دارد. بیشترین نیاز آبی در رویکرد چهارم در نظر گرفته شده که مدل بهینه‌سازی قادر به تخصیص ۸۷ درصد آن بوده است. رویکرد چهارم از نظر تخصیص آب به محیط‌زیست با توجه به حجم آب و قراردادن تالاب در شرایط مطلوب برای حفظ و ادامهٔ حیات، بهترین رویکرد است.

با توجه به تحلیل‌های اقتصادی رویکردهای مدل می‌توان به این نتیجه رسید که در تمامی رویکردها بخش صنعت سود اقتصادی یکسانی به‌رغم تغییر ۸ درصدی در میزان تخصیص آب نسبت به حالت ناعادلانه داشته است و بالا یا پایین‌بودن مطلوبیت محیط‌زیست در رویکردهای مختلف تأثیری در عملکرد اقتصادی بخش صنعت نداشته، اما در بخش کشاورزی رویکرد دوم بیشترین سود را نصیب این بخش کرده است. مسلماً در بخش محیط‌زیست بهترین عملکرد مربوط به رویکرد چهارم است، زیرا این رویکرد مطلوب‌ترین حالت را برای بقای تالاب و رودخانه به وجود می‌آورد. تحلیل اقتصادی نشان می‌دهد بخش کشاورزی در رویکرد دوم بیشتر از سایر حالات سود برده است. با بررسی میزان و نحوهٔ تخصیص‌های مدل می‌توان گفت، الگوی توزیع ماهانهٔ آب تخصیصی نیز تأثیر چشمگیری در بخش کشاورزی داشته است. ثابت‌بودن رویهٔ مدل بهینه‌سازی در تخصیص‌های مربوط به رویکردها سبب می‌شود که در رویکرد چهارم که بیشترین حجم آب برای محیط‌زیست در نظر گرفته شده است، بخش کشاورزی متحمل فشار بیشتری شود، اما میزان آب تخصیصی و سود حاصل از مصرف این میزان آب در بخش کشاورزی نشان‌دهندهٔ این موضوع است که رویکرد اول، سوم و چهارم تفاوت چندانی با هم ندارند. دلیل این امر نحوهٔ توزیع ماهانهٔ آب محیط‌زیست در رویکرد اول و سوم است که فشار بیشتری به بخش کشاورزی وارد می‌کند.

نتایج بررسی رویکردها با استفاده از تئوری‌بازی‌های همکارانه نشان می‌دهد که در تمامی رویکردها سود حاصل از همکاری بازیکنان برای بخش کشاورزی و محیط‌زیست بیشتر از حالتی است که همکاری بین بازیکنان صورت نگرفته، اما بخش صنعت معمولاً سودی پایاپای با حالت نبودن همکاری نصیب خود کرده است (مگر در رویکرد سوم). در بخش کشاورزی بازی Proportional Nucleouls به جز رویکرد اول در سایر رویکردها بیشترین میزان سود را برای کشاورزی محاسبه کرده است. در بخش محیط‌زیست به جز رویکرد چهارم در سایر رویکردها بازی Weak Nucleolus عملکرد بهتری از خود در محاسبهٔ میزان سود نشان داده است. بنابراین، رویهٔ مشخصی برای بازی‌ها در رویکردها متصور نیست، اما اینکه سود بخش کشاورزی و محیط‌زیست در همکاری بیشتر از حالت شرکت‌نکردن در ائتلاف بوده مؤید این مطلب است که در صورت همکاری بین این دو بخش علاوه بر تأمین نیاز آبی به طرز مؤثر سود بیشتری نصیب هر دو بخش و کل

سیستم خواهد شد. بهترین تخصیص سود به مجموعه به ترتیب در رویکرد چهارم، دوم، سوم و اول اتفاق افتاده است.

در نهایت می‌توان گفت کاملاً واضح است که با در نظر گرفتن محیط‌زیست به‌منزلهٔ ذی‌نفع در حوضه‌ها و برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب همواره مجموعهٔ سیستم سود بیشتری خواهد برد. هر چند شاید با تخصیص کمتر آب به سایر کاربران به نظر برسد که سود استفاده از آب کمتر شده است، اما عملاً نتایج این تحقیق نشان‌دهندهٔ این است که نداشتن سود ریالی قابل حصول و نبود اعتراض در بخش محیط‌زیست مگر در بحرانی‌شدن شرایط، سبب کم‌توجهی به این بخش می‌شود. این در حالی است که محیط‌زیست و به ویژه اکوسیستم‌های آبی از ارزشمندترین منابع لازم برای ادامهٔ حیات به شمار می‌روند که تخمین ارزش اقتصادی حقیقی آن‌ها بسیار پیچیده و دشوار است و به هیچ وجه نزدیک به حقیقت امر نیست، اما با همین روش‌های قابل قبول ارزش‌گذاری اقتصادی هم دیده می‌شود که سود مجموعه در حفظ و رسیدگی به محیط‌زیست است.

پیشنهادها

برای تکمیل این تحقیق به نظر می‌رسد لحاظ‌کردن نقش آب زیرزمینی در تخصیص‌ها و تأمین نیاز آب‌بران، تحلیل عدم قطعیت‌های ناشی از وجود رواناب‌های سطحی و بررسی آثار تغییر اقلیم در نحوهٔ تخصیص ها می‌تواند در ارتقای کار انجام‌شده تأثیرگذار باشد.

منابع

سلطانی، س. ۱۳۸۸. تعیین حداقل آب مورد نیاز (حقابه) باتلاق گاوخونی، مطالعات مشترک دانشگاه صنعتی اصفهان و محیط‌زیست استان اصفهان، چاپ‌نشده.

کریمی، ا. نیکو، م. کراچیان، ر. شیرنگی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی قابلیت تأمین بلندمدت آب در حوضهٔ آبریز زاینده‌رود تحت تأثیر طرح‌های انتقال آب با بهینه‌سازی چنددوره‌ای، پژوهش آب ایران، سال ششم، شمارهٔ ۱۱.

مهندسین مشاور یکم. ۱۳۸۲. مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور- حوضهٔ گاوخونی.

نیک‌سخن، م. کراچیان، ر. ۱۳۸۷. مدیریت کیفیت آب رودخانهٔ مبتنی بر مدل تصمیم‌گیری مجوز تخلیهٔ بار آلودگی، رسالهٔ دکتری دانشکدهٔ فنی، دانشگاه تهران.

Abrishamchi, A., Danesh-Yazdi, M., Tajrish, M. 2011. Conflict Resolution of Water Resources Allocation Using Game Theoretic Approach: the case of orumieh river basin in Iran, AWRA Summer Specialty Conference

Ardakanian, R. 2005. Optimization the coordination of hydro and thermal plant: the HTCOM model. The International Journal on Hydropower & Dams.

Coad, B.W. 2010. Xeric Freshwaters and Endorheic (Closed) Basins. Freshwater Ecoregions of the Words (FWOW) Site.

Dinar, A., and Wolf, A. T. 1994. International Markets for Water and the Potential for Regional Cooperation: Economic and Political Perspectives in the Western Middle East, Economic Development and Cultural Change.

Dufournaud, C. 1982. On the Mutually Beneficial Cooperative Scheme: Dynamic Change in the Payoff Matrix of International River Basin Schemes, Water Resources Research.

Ganji, A., Karamouz, M. and Khalili, D. 2007. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation.I. The symmetric stochastic model with perfect information, Advances in Water Resources

Gohari, A., Eslamian, S., Abedi, J., Massah, A., Wang, D., and Madani, K. 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. Science of The Total Environment.

Goldberg, D. E. 1989. A comparative Analysis of selection Scheme Used in Genetic Algorithms, Foundation of Genetic Algorithms, morgan Kaufman, San Mateo, Calif.

Haab, T. C., and McConnell, K. E. 2002. Valuing Environmental and Natural Resources. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham, UK.

Lejano, R. P., and Davos, C. A. 1995. Cost Allocation of Multiagency Water Resource Projects: Game-Theoretic Approaches and Case Study, Water Resources Research.

Madani, K. 2010. Game theory and water resources, Journal of Hydrology.

Madani, K. 2011. Hydropower licensing and climate change: Insights from cooperative game theory, Advances in Water Resources.

Mahboubi Sufiani, N. 1996. Liminological study and environmental balance of interior water of the Gaw Khuni swamp, Esfahan Environment Authority.

Mansoori, J. 1997. Ramsar Report for Gavkhouni Lake and Marshes of the Lower Zaindeh Rud. The Ramsar Sites Database.

Michalewics, Z. 1992. Genetic Algorithms + Data Structures=Evolution Programs, Springer.

Moeinian, M. T. 2000. The impact of drought on ecological factors of the Gaw–Khuni swamp, Esfahan Environment Authority.

Morid, S., and Massah, A. R. 2004. Modeling Zayandeh Rud basin under climate change. Proceeding of Conference on Hydrology: Science and practice for the 21st century London, UK.

Nikouei, A., Zibai, M., Ward, F. 2012. Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation: An integrated basin scale analysis, Journal of Hydrology.

Roe, T., and Diao, X. 1997. The Strategic Interdependence of a Shared Water Aquifer: A General Equilibrium Analysis, Dordecht: Kluwer Academic Publishers.

Rogers, P. 1969. A Game Theory Approach to the Problems of International River Basins, Water Resources Research

Salemi, H. R., and Murray-Rust, H. 2002. Water Supply and Demand Forecasting in the Zayandeh Rud basin. Iran. IAERI-IWMI Research Reports.

Vakil, H. A. 2006. Gavkhooni Swamp to Turn into an International Tourism Destination. Skyscrapercity: Tourism Infrastructure, Development and News.

Wang, L., Fang, L., Hipel, K.W. 2008. Basin-wide Cooperative Resources Allocation, European Journal of Operational Research.

Wardlaw, R., and Sharif, M. 1999. Evaluation of Genetic Algorithms for Optimal Reservoir System Operation, Journal of Water Resources Planning and Management.