

## حل اختلاف در مناقشات منابع آب حوضه زاینده‌رود با استفاده از نظریه بازی‌ها و مدل WEAP

داود صالحی<sup>۱</sup>، مصطفی گودرزی<sup>۲</sup> و حسین منتصری<sup>۱\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱)

### چکیده

هدف از این پژوهش ارائه یک حالت پایدار به منظور تخصیص منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود است به نحوی که ذینفعان کمترین مناقشه و تنش قابل توجهی را بر سر برداشت از منابع آب داشته باشند. به همین منظور در این پژوهش با استفاده از نظریه بازی‌ها از جمله مدل گراف حل مناقشه (GMCR)، به بررسی مناقشات موجود بین چهار تصمیم‌گیرنده اصلی حوضه که شامل شرکت آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی و اداره حفاظت از محیط زیست استان اصفهان و در نتیجه استان چهارمحال و بختیاری هستند، پرداخته شد و براساس هفت سیاست اتخاذ شده، ۱۲۸ حالت در مدل GMCR ایجاد شد که با توجه به نتایج رویکرد GMCR، شش سناریو به عنوان سناریوهای پایدار برای اعمال تخصیص منابع آب در حوضه ارائه شد. سپس نتایج این بخش برای انتخاب بهترین حالت، به صورت سناریو در مدل WEAP توسعه داده شد و نتایج حاصل از اجرای مدل WEAP با استفاده از معیارهای عملکرد سیستم و شاخص پایداری مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت و سناریوی ۲ شامل اجرای طرح ایجادکننده حقابه بر جدید در حوضه، تأکید بر حقابه زیست‌محیطی و طرح‌های تعادل‌بخشی آبخوان‌ها به همراه مدیریت توأمان تأمین و تقاضا، با شاخص پایداری ۸۱/۴ به عنوان برترین سناریو شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: تخصیص آب، رفع اختلاف، نظریه بازی، مدل WEAP، معیار عملکرد، شاخص پایداری، حوضه زاینده‌رود

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج،، یاسوج، ایران

۲. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، اراک، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hmontaseri@gmail.com

## مقدمه

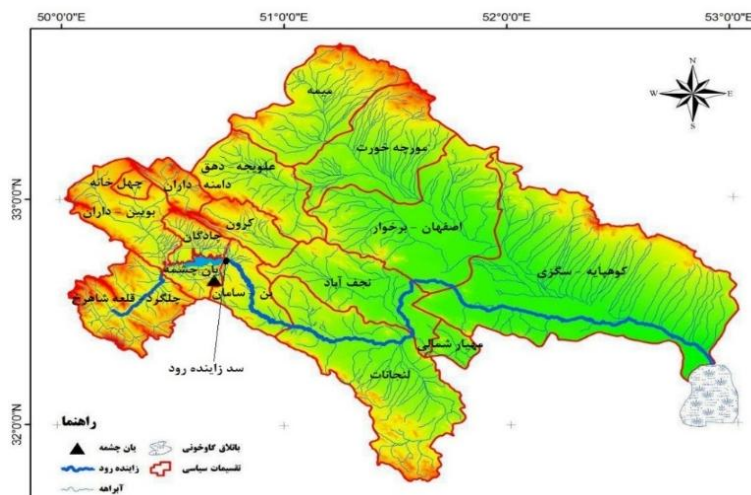
عدم تعادل منابع و مصارف آبی در سطح حوضه‌های آبریز، اختلافاتی بر سر تخصیص آب به مصرف‌کنندگان مختلف را به همراه داشته است. تئوری بازی‌ها ابزاری نوین برای رفع اختلاف در زمینه منابع آب محسوب می‌شود. در واقع روش‌های رفع اختلاف ابزاری مناسب برای تعیین و تشخیص رفتار مناسب بخش‌های مختلف منابع آب به‌هنگام مواجهه با مشکل کمبود و حل مناقشات به‌وجود آمده میان آنها بر سر برداشت از منابع آب است (۵). در سال‌های پس از جنگ جهانی دوم، به موازات افزایش تعداد و تنوع مناقشات، مدل‌های گوناگونی در چارچوب نظریه بازی‌ها توسعه یافت. این مدل‌ها، بر اساس نوع اطلاعات ورودی که برای بیان اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان از آن استفاده می‌کنند، به دو دسته مدل‌های کمی و غیرکمی طبقه‌بندی می‌شوند (۹). در دسته‌بندی دیگر می‌توان بازی‌ها را به دو دسته همکارانه و غیرهمکارانه تقسیم کرد. ممکن است بازیکنان در هنگام انجام بازی پیرامون انتخاب یک استراتژی با هم توافق کنند. اگر توافق آنان قابل اجرا و عملی باشد، بازی را همکارانه و در غیر این صورت غیرهمکارانه گویند (۲۰). مدل گراف برای حل مناقشه (GMCR) که در زمره مدل‌های بازی غیرهمکارانه قرار می‌گیرد، در سال ۱۹۹۳ میلادی توسط فانگ و همکاران با ترکیب مدل گراف و روش‌های تحلیل مناقشه، به‌وجود آمد. اجزای این مدل عبارت‌اند از تصمیم‌گیرندگان یا همان بازیکنان، مجموعه انتخاب‌ها و یا اعمال ممکن برای هر تصمیم‌گیرنده است که در آن تصمیم‌گیرنده قادر است با تغییر استراتژی‌ها و انتخاب‌هایشان در خلال فرایند تکامل بازی در آنها سهیم شود (۱۶).

براساس مطالعات صورت گرفته توسط هیپل و کیلگور، در تحلیل مناقشات آبی و زیست‌محیطی، مدل‌های غیرهمکارانه به‌ویژه GMCR، نسبت به مدل‌های همکارانه بسیار ارجح‌ترند، چرا که مدل‌های همکارانه برای حل چنین مسائلی بسیار انعطاف‌ناپذیر بوده و یا نیازمند اطلاعات و کالیبره‌سازی فراوان هستند که در عمل دشوار است (۱۲).

هیپل و همکاران (۱۱) مناقشات موجود برای برداشت آب از رودخانه فرات بین کشورهای سوریه و عراق را با استفاده از رویکرد GMCR تجزیه و تحلیل کردند. چو و همکاران (۴) از این مدل برای حل مناقشه رودخانه ژانگهی در چین استفاده کردند. صفائی و ملک محمدی (۲۰) پژوهشی روی مناقشه آبی دریاچه ارومیه انجام دادند. بر اساس نتایج این پژوهش از نگاه استراتژیک، ریشه اصلی بحران دریاچه ارومیه، ترجیح منافع کوتاه‌مدت بر منافع بلندمدت محیط زیستی و اقتصادی - اجتماعی و غفلت از پیامدهای جانبی این انتخاب است. در نتیجه، نتایج این پژوهش، تأیید کارایی GMCR برای حل مناقشات منابع آبی مشترک را نشان داد. غلامی و همکاران (۸) با استفاده از مدل GMCR به ارائه راهکاری برای حل مناقشات موجود در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود واقع در استان گیلان پرداختند. آنها پس از تحلیل نهایی دو حالت را به‌عنوان نقاط تعادل شناسایی کردند که یکی وضعیت موجود و دیگری آبیاری نوبتی توسط کشاورزان است.

به‌منظور بررسی اثرات تخصیص منابع آب بین ذینفعان در یک حوضه آبریز، از مدل‌های شبیه‌سازی در حوضه‌های آبریز استفاده می‌شود. تاکنون در سطح جهان، برای انجام این بررسی‌ها نرم‌افزارهای گوناگونی از جمله مدل‌های WEAP، MODSIM، RIBASIM و MIKEBASIN توسعه داده شده است. در میان آنها مدل WEAP به‌علت در نظر گرفتن توأم سیستم‌های مدیریت و تخصیص آب و فرایندهای هواشناختی، حائز اهمیت است.

مدل WEAP در کشورهای مختلف در طرح‌های مختلف کاربردی و پژوهشی استفاده شده است. به‌عنوان نمونه هاو و همکاران (۳) حوضه رودخانه کانگ‌ساباتی واقع در کشور هند را با هدف بررسی گزینه‌های سازگار مختلف و تأثیر مشارکت ذینفعان، با استفاده از WEAP شبیه‌سازی کردند. صمدی و سعیدی‌نیا (۲۴) با هدف بررسی تأثیرات درون حوضه‌ای انتقال آب از کارون شمالی به حوضه زاینده‌رود، حوضه کارون شمالی را با استفاده از این مدل شبیه‌سازی کردند.



شکل ۱. حوزه آبریز زاینده رود

از ترکیب دو مدل GMCR و WEAP استفاده و طرح مدیریتی متعادل و پایدار برای اعمال در حوزه آبریز ارائه شد. با توجه به محدودیت‌های زمانی در انجام این پژوهش و محدودیت‌های موجود در دستیابی به اطلاعات و به‌ویژه اطلاعات مربوط به استان خوزستان، در این پژوهش شرایط استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری در نظر گرفته شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه زاینده‌رود که قسمتی از حوضه آبریز تالاب گاوخونی است دارای وسعت ۲۶۹۱۷ کیلومتر مربع است و در حد فاصل طول‌های جغرافیایی  $0^{\circ}5' - 0^{\circ}2'$  تا  $52^{\circ}5' - 45^{\circ}$  و عرض جغرافیایی  $31^{\circ}15' - 33^{\circ}45'$  شمالی قرار دارد. رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانه در فلات مرکزی ایران در این حوضه واقع شده است و در جهت عمومی غرب به شرق جریان می‌یابد. شکل (۱) نمایی از حوضه آبریز زاینده‌رود را نشان می‌دهد. حوضه آبریز زاینده‌رود مثال بسیار روشنی از یک حوضه تحت تنش و مناقشات آبی میان ذینفعان مختلف است.

این رودخانه در تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی منطقه مرکزی ایران نقش مهمی دارد به‌طوری که تأمین آب شرب قریب به پنج میلیون نفر از ساکنان این منطقه در چهار

عمر و موسی به بررسی چالش‌های مدیریت منابع آب در کشور مصر با استفاده از WEAP پرداختند (۱۹). آدگولین و همکاران (۱) در پژوهشی با استفاده از WEAP به بررسی تأثیر توسعه منابع آب بر جریان درونی تخصیص منابع آب سطحی حوضه رودخانه دیدسا واقع در کشور اتیوپی پرداختند. صفوی و همکاران (۲۲ و ۲۳) سناریوهای برنامه‌ریزی و جامع منابع آب در حوضه آبریز زاینده‌رود را با استفاده از معیارهای عملکرد و شاخص پایداری فازی تحلیل و ارزیابی کردند.

استان اصفهان جزء استان‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است که به‌دلیل رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعت پیوسته با افزایش تقاضای آب مواجه بوده و این عوامل باعث شده است که نرخ بهره‌برداری از منابع بیش از نرخ تجدید آن باشد که این بهره‌برداری اضافی موجب بروز مشکلات و مناقشاتی میان ذینفعان مختلف بر سر برداشت آب از منابع مختلف شده است. از این‌رو، نیاز به یک روش جامع و پایدار به‌منظور انجام تخصیص به‌نحوی که تمامی گروه‌های ذینفع بتوانند به حداقل سطح رضایت خود برسند، ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو هدف از این پژوهش ارائه یک حالت پایدار در راستای تخصیص منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود است به‌نحوی که ذینفعان کمترین مناقشه و تنش قابل توجهی را برسر برداشت از منابع آب داشته باشند. بدین‌منظور

استان اصفهان، چهارمحال و بختیاری، یزد و مرکزی و در نتیجه تأمین آب صنایع بزرگ ملی به‌عده این رودخانه است. در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تقاضا و پراکندگی بیشتر بارندگی در حوضه، عدم تعادلی به وجود آمده که موجب بروز مشکلات و مناقشاتی میان ذینفعان مختلف بر سر برداشت آب از منابع مختلف شده است (۲).

طی ۲۲ سال اخیر افت منابع آب زیرزمینی در حوضه زاینده‌رود شتاب بیشتری گرفته است. به طوری که حجم بیلان منفی منابع آب زیرزمینی در طی این دوره به ۶۲۲۲ میلیون مترمکعب و میانگین افت سالانه منابع آب زیرزمینی به ۹۲۲ مترمکعب در سال رسیده است. نتیجه چنین روندی، افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و در معرض نابودی کامل قرار گرفتن منابع آب زیرزمینی در اغلب آبخوان‌ها به‌ویژه در دشت‌های نجف‌آباد، دامنه و داران، برخوار، مهیار و جرقویه است (۲۰). در نتیجه حبابه زیست‌محیطی رودخانه و تالاب گاوخونی، ۱۷۶ میلیون مترمکعب در سال است که نه تنها در خشکسالی‌های اخیر بلکه در سال‌های میانگین هم تأمین نشده است (۲۶). از طرفی به دلیل اولویت بخش‌های شرب و صنعت، بیشترین پیامدهای بحران کمبود آب در بخش کشاورزی و محیط زیست قابل مشاهده است. مطابق مستندات موجود، سطح زیرکشت در حوضه زاینده‌رود کاهش چشمگیری یافته است و به کمتر از ۲۰۰۰۰۰ هکتار در سال‌های نرمال رسیده است. این کاهش شدید سطح زیرکشت به‌غیر از کاهش شدید در سال‌های خشکسالی بوده که به حدود ۱۰۰۰۰۰ هکتار می‌رسد (۲۸).

### روش کار

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از استراتژی‌ها و گزینه‌ها و بازیکنان، مدل‌سازی در GMCR و به روش بازی‌های غیرهمکارانه انجام می‌گیرد و بعد با استفاده از خروجی‌های این مدل، سناریوهایی ساخته می‌شود که برای مدل‌سازی و تخصیص آب با توجه به اولویت‌بندی موجود به مدل WEAP

انتقال داده می‌شود (لازم به ذکر است که اولویت‌بندی موجود به این شرح است که در ابتدا شرب و سپس صنعت، کشاورزی و نیاز زیست‌محیطی قرار دارد). تعیین گزینه‌ها و استراتژی‌ها با استفاده از گزارش‌های تهیه شده توسط شرکت‌های مشاور، تحقیق و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان سازمان آب منطقه‌ای، شرکت آب و فاضلاب و سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و در نتیجه اخبار و اینترنت و... انجام گرفت.

در ادامه با استفاده از نتایج خروجی مدل WEAP (میزان آب تخصیص یافته به هر ذینفع، میزان آب تأمین‌نشده هر ذینفع و...) و معادلات پایداری و عملکرد سیستم، برنامه‌هایی در اکسل نوشته شد و عملکرد و پایداری هر سناریو تعیین می‌شود. بدین ترتیب سیاست‌های به‌کار گرفته شده در هر سناریو ارزیابی می‌شود.

### معرفی مدل GMCR

فرایند حل مناقشه در GMCR، شامل دو مرحله اصلی مدل‌سازی و تحلیل است. در مرحله مدل‌سازی، ابتدا با مرور تاریخچه مناقشه، تصمیم‌گیرندگان و گزینه‌های آنان تعریف می‌شوند. سپس، وضعیت‌هایی که رخ دادن آنها در واقعیت ممکن نیست، از مجموعه کل وضعیت‌های مناقشه حذف می‌شوند. در ادامه وضعیت‌هایی که هر تصمیم‌گیرنده می‌تواند از هر وضعیت اولیه به آنها حرکت کند، مشخص و آنگاه وضعیت‌های ممکن مناقشه براساس اولویت‌های بازیکنان رتبه‌بندی می‌شوند. بعد از ایجاد مدل مناقشه، با استفاده از مفاهیم حل غیرهمکارانه، وضعیت‌های پایدار برای هر بازیکن، سپس نقاط تعادل مناقشه شناسایی می‌شوند.

از رایج‌ترین روش‌هایی که به‌طور فراوان در بررسی مسائل حل اختلاف با دیدگاه غیرهمکارانه بررسی شده است، راه‌حل ارائه شده توسط نش (۱۹۵۱) است. پایه و اصول تعادل نش برای مسئله این است که هر بازیکن در یک بازی فقط یک تصمیم می‌تواند بگیرد، در صورتی که عملکرد تصمیم‌گیرندگان در واقعیت خلاف این مسئله را اثبات می‌کند، چون به‌هنگام

جدول ۱. تشریح و مقایسه ویژگی‌های مفاهیم حل غیرهمکارانه استفاده شده در GMCR (۷)

روش‌ها	پیش‌بینی	تمایل به پس‌رفت	آگاهی از عملکرد دیگران
Nash Stability (NS or R)	کم (۱ حرکت)	خیر	خیر
General Meta Rationality (GMR)	متوسط (۲ حرکت)	محدود به رقبا	خیر
Symmetric Meta Rationality (SMR)	متوسط (۳ حرکت)	محدود به رقبا	خیر
Sequential stability (SEQ)	متوسط (۲ حرکت)	خیر	بلی
Limited-Move stability (LM)	متغیر (h حرکت)	بلی	بلی
Non-myopic stability (NM)	نامحدود	بلی	بلی

کرده و می‌تواند در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای پیچیده به‌کار برده شود.

در این پژوهش، با توجه به قابلیت‌های ذکر شده مدل WEAP در پژوهش‌های گذشته و در نتیجه در دسترس بودن این نرم‌افزار به‌صورت رایگان، از آن برای شبیه‌سازی حوضه مورد بررسی استفاده شده است. برای واسنجی مدل، نتایج حاصل از مدل مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت‌های لنجان، نجف‌آباد، مهیار شمالی، اصفهان - برخوردار و کوهپایه - سگری و مقادیر آبدی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری در این دشت‌ها با شرایط واقعی مقایسه شده است. در نتیجه برای بررسی تطابق آنها از سه معیار ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب تأثیر ناش - سایتکیف (E) و شاخص تطابق (d) به‌صورت روابط زیر استفاده شد:

$$R^2 = \left[ \frac{\text{Cov}(O, P)}{\sigma_o \sigma_p} \right]^2 \quad (1)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (O_t - P_t)^2}{\sum_{t=1}^n (|O_t - P_t|)^2} \quad (2)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (O_t - P_t)^2}{\sum_{t=1}^n (|P_t - \bar{O}| + |O_t - \bar{O}|)^2} \quad (3)$$

که در آنها  $O_t$  و  $P_t$  به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر ثبت شده یا مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده یا شبیه‌سازی شده توسط

تصمیم‌گیری بایستی عکس‌العمل دیگر رقبا به عملکرد خود در نظر گرفته شود که در روش نش این نکته نادیده گرفته می‌شود. روش‌های نوینی که بتوان دیدگاه بازتری به مسائل رفع اختلاف داشت و به عبارتی تکامل یافته تعادل نش باشد، ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به روش‌های (GMR), (SMR), (SEQ), (LM) و (NM) اشاره کرد. قابلیت اطمینان و اعتماد کاربرد این روش‌ها در رفع اختلاف مسائل منابع آب و زیست‌محیطی به وضوح نشان داده شده است که می‌توان دیدگاه جدیدی به این مسائل ارائه کرد و زمینه‌های اجتماعی و سیاسی را بهتر به تصویر کشاند. کیلگور و همکاران در سال ۱۹۸۴ برای مقایسه روش‌های مختلف بازی غیرهمکارانه سه ویژگی پیش‌بینی، تمایل به پس‌رفت و آگاهی از عملکردها را توصیف کردند (۱۳). براساس این ویژگی‌ها، روش‌های پایدار غیرهمکارانه مطابق جدول (۱) مقایسه می‌شوند.

#### معرفی مدل WEAP

مدل برنامه‌ریزی حوضه آبریز، WEAP، در سال ۱۹۹۰ توسط مؤسسه محیط‌زیست استکهلم توسعه یافت. WEAP یک نرم‌افزار جامع و پیشرفته شبیه‌سازی سیستم منابع آب است که در مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز کاربرد گسترده‌ای دارد. مدیریت منابع آب در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری WEAP توسط تعیین اولویت در برداشت از منابع انجام می‌شود. سپس از این اولویت‌ها و مقادیر تقاضا برای ساختن یک روند بهینه‌سازی استفاده می‌شود. این مدل براساس معادلات پایه بیلان آب عمل

$$Vul^j = \frac{\sum_{t=1}^T (D_t^j | D_t^j > 0)}{\left[ \sum_{t=1}^T N(D_t^j > 0) \right] \sum_{t=1}^T Demand_t^j} \quad (6)$$

$t = 1, 2, \dots, T; \quad 0 \leq Vul^j \leq 100\%$

بیشینه کمبود: به‌عنوان بدترین مورد اتفاق افتاده در طول سال برای کابر ژام تعریف می‌شود (۶). برای تعریف یک معیار بی‌بعد این مقدار به نیاز سالانه کاربر تقسیم می‌شود که عبارت خواهد بود:

$$Max.Def^j = \frac{\max(D_{Annual}^j)}{\sum_{t=1}^{t=2} Demand_t^j} \quad (7)$$

که در رابطه فوق گام‌های زمانی ماهانه فرض شده است و  $D_{Annual}^j$  مقادیر کمبود جرمی یا حجمی سالانه است.

شاخص پایداری: لاکسدر سال ۱۹۹۷ شاخص پایداری را به‌منظور کمی کردن پایداری سیستم‌های منابع آب پیشنهاد داد، که یک شاخص تجمعی برای محاسبه پایداری سیستم‌های منابع آب را محاسبه می‌کند. این شاخص برای تخمین پایداری مصارف آب و تغییرات ناشی از سیاست‌های مدیریتی به‌کار گرفته می‌شود. شاخص پایداری، در واقع به‌عنوان یک جمع‌بندی از معیارهای اصلی عملکرد سیستم در مدیریت منابع آب به شیوه‌ای معنی‌دار ارائه شده است (۱۵ و ۱۸). شاخص پایداری توسعه یافته لاکس، توسط سندوال - سالیس با استفاده از توان هندسی ضرب معیارهای عملکرد به‌صورت رابطه زیر اصلاح شد (۲۵):

$$SI^j = \left[ Rel^j \times Res^j \times (1 - Vul^j) \times (1 - Max.Def^j) \right]^{\frac{1}{4}} \quad (8)$$

#### مناقشات حوضه زاینده‌رود

بر مبنای تاریخچه مناقشه آبی در حوضه زاینده‌رود، تصمیم‌گیرندگان اصلی این مناقشه، شرکت آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی، اداره حفاظت از محیط زیست استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری که به‌صورت مستقل بر سر مسائل برداشت آب تصمیم‌گیری می‌کنند، در نظر گرفته شدند.

مدل در زمان  $t$  است.  $\bar{O}$  میانگین داده‌های مشاهداتی یا ثبت شده در طول دوره است.

#### معیارهای عملکرد (Performance Criteria) سیستم‌های منابع آب

معیارهای عملکرد از مهم‌ترین اجزای تخمین پایداری منابع آب هستند. این معیارها برای ارزیابی سیاست‌های مدیریت منابع آب به‌کار گرفته می‌شوند و به کاربر توانایی مقایسه گزینه‌های مختلف مدیریتی در سیستم را ارائه می‌دهند و شامل موارد زیر هستند (۲۰):

قابلیت اطمینان: اطمینان‌پذیری مطابق رابطه (۴) با این مفهوم تعریف می‌شود که آب اختصاص یافته به مصرف‌کننده با چه احتمالی نیاز آن را تأمین خواهد کرد (۱۴).

$$Rel^j = \frac{Ns}{T} \times 100\% \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad 0 \leq Rel^j \leq 100\% \quad (4)$$

که در آن  $Ns$  تعداد گام‌های زمانی است که نیاز مصرف‌کننده ژام به‌طور کامل تأمین شده و یا کمبود آب برابر صفر بوده است ( $D_t^j = 0$ )؛ و  $T$  تعداد کل گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی یا دوره مورد بررسی است.

برگشت‌پذیری یا انعطاف‌پذیری: توانایی سیستم در تغییر شرایط آن سیستم است. در واقع این پارامتر رابطه (۵) نشان می‌دهد سیستم چقدر قادر است که پس از شکست سیستم آن را به‌حالت مطلوب بازگرداند (۲۷).

$$Res^j = \frac{\sum_{t=1}^T N(D_{t+1}^j = 0 | D_t^j > 0)}{\sum_{t=1}^T N(D_t^j > 0)} \times 100\% \quad (5)$$

$$t = 1, 2, \dots, T; \quad 0 \leq Res^j \leq 100\%$$

که در آن  $N()$  تعداد گام‌های زمانی در طول مطالعات است که شرط درون پرانتز در آنها اتفاق افتاده است که  $(D_t^j)$  میزان کمبود تأمین آب را نشان می‌دهد.

آسیب‌پذیری: میزان شکست سیستم را بیان می‌کند (۱۷) و طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

جدول ۲. تصمیم‌گیرندگان، گزینه‌ها در مناقشه آبی حوضه رودخانه زاینده‌رود

گزینه‌ها	تصمیم‌گیرندگان
توسعه سطح کشت اراضی کشاورزی	۱ سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان
مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی	۲
کنترل برداشت آب از چاه‌ها	۳ سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان
قرار دادن صنعت در اولویت بالاتر از کشاورزی	۴ اداره حفاظت از محیط زیست
نیاز زیست‌محیطی در اولویت دوم	۵
میزان حقاچه بیشتر از آب	۶ استان چهارمحال و بختیاری
توقف طرح انتقال آب تونل بهشت‌آباد	۷

چهارمحال و بختیاری خواستار آن است. در عوض سیاست مدیریت تأمین آب با در نظر گرفتن طرح انتقال آب تونل بهشت‌آباد (از سد بهشت‌آباد در حوضه کارون) به شدت مورد نظر ذینفعان واقع در استان اصفهان است که استان چهارمحال و بختیاری با آن مخالف است، ضمن اینکه از نظر اداره محیط زیست اصفهان نیز این طرح با معیارهای زیست‌محیطی هماهنگی ندارد. دلیل انتخاب این چهار دسته از ذینفعان به‌عنوان تنها بازیکنان موجود در مسئله اختلاف، به تصویر کشیدن مناقشات و کشمکش‌های واقعی موجود بین ذینفعان عمده حاکم بر منطقه در حال حاضر است. در جدول (۲)، تصمیم‌گیرندگان و گزینه‌های مورد نظر هر تصمیم‌گیرنده ارائه شده است.

از رویکرد GMCR، به منظور رسیدن به سناریویی که بتواند اختلافات پیش‌آمده را رفع کند و حالتی پایدار را برای جواب مسئله مورد اختلاف معرفی کند، استفاده شد. تمام حالت‌های موجود مناقشه در GMCR، تعداد  $2^n$  حالت، (n معرف تعداد کل استراتژی‌ها و گزینه‌های بازیکنان است)، یعنی ۱۲۸ حالت است، که بازیکنان با انتخاب گزینه بلی (Y) یا خیر (N) به استراتژی اشاره شده، یک حالت را ایجاد می‌کنند.

با مشخص شدن حالات به‌وجود آمده، می‌توان حالت‌هایی که پیشامد آنها غیرممکن است را از بازی حذف کرد. حالات غیرممکن در این بازی مربوط به شرایطی است که سازمان جهاد کشاورزی گزینه (۱) را انتخاب نکرده و گزینه (۲) را انتخاب

برخی از مناقشات بین ذینفعان بر سر برداشت از منابع آب در حوضه به شرح زیر است:

سازمان جهاد کشاورزی به‌منظور حمایت از کشاورزان، سیاست توسعه سطح زیر کشت کشاورزی در افق زمانی طرح را دنبال می‌کند که سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان و اداره محیط زیست با آن مخالف است. با توجه به راندمان پایین آبیاری در بخش کشاورزی و تلفات آب در صنعت و شرب، سیاست مدیریت تقاضا در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب (با محاسبه پتانسیل کاهش مصرف آب) مدنظر کلیه ذینفعان است. اما سیاست تعادل‌بخشی آبخوان‌ها با محدودسازی میزان برداشت از آبخوان به‌میزان تغذیه آبخوان، که مطلوب سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان است، مخالف اهداف سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان است. از طرفی سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان ادعا دارد سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان جهت افزایش سود خود، صنعت را نسبت به کشاورزی در اولویت قرار داده است. اما اداره حفاظت از محیط زیست استان اصفهان با اولویت تأکید بر حقاچه زیست‌محیطی، تمایل به قرارگیری ذینفع زیست‌محیطی در اولویت دوم پس از شرب در تخصیص منابع آب دارد، ضمن اینکه با سیاست‌های مدیریت تقاضا و تعادل‌بخشی آبخوان‌ها نیز مخالفتی ندارد. در نتیجه ذینفعان استان اصفهان مخالف اجرای طرح‌های ایجادکننده حقاچه جدید در حوضه (مانند اجرای طرح انتقال آب شرب به شهرهای بن و بروجن) هستند اما استان

وضعیت به‌عنوان نقطه تعادل بازی بیشتر بوده و این، نشانگر آن است که احتمال آنکه بازیکنان، آن وضعیت را به‌عنوان راه‌حل مناقشه بپذیرند، افزایش می‌یابد. در جدول (۵) نقاط تعادل مناقشه آبی حوضه زاینده‌رود نشان داده شده است.

در مجموع، شش نقطه تعادل شامل وضعیت‌های ۱۵، ۲۸، ۳۲، ۴۷، ۵۲ و ۵۶ برای بازیکنان شناسایی شده است. در این بین وضعیت ۵۶ و ۲۸ بر اساس تمامی روش‌های R، GMR، SMR، SEQ، SMR، NM و LM پایدار اعلام شدند ولی در حالات ۳۲، ۲۸، ۴۲ و ۵۲ به‌غیر از روش تعادل نش (R) بر اساس پنج روش دیگر پایدار اعلام شدند و به این دلیل این حالات به‌عنوان نقاط تعادل شناسایی شدند که در روش تعادل نش از ریسک‌پذیری و انعطاف‌پذیری کمتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است و این روش‌ها دیدگاه بازتری به مسائل رفع اختلاف دارند. به‌همین دلیل این حالات نیز به‌عنوان نقاط تعادل شناسایی شدند. جدول (۶) پایداری نقاط تعادل براساس تعاریف تعادل را نشان می‌دهد.

### نتایج مدل WEAP

در ادامه براساس نقاط تعادل معرفی شده با استفاده از مدل GMCR در جدول (۵)، شش سناریو در مدل WEAP توسعه داده شد و نتایج خروجی مدل WEAP با استفاده از معیارهای ارزیابی عملکرد و شاخص پایداری در سیستم منابع آب حوضه تحلیل و بررسی شد. اطلاعات لازم برای اعمال سناریوهای پایدار در مدل WEAP در جدول (۷) نشان داده شده است که این اطلاعات از طریق سازمان‌های جهاد کشاورزی، آب منطقه‌ای، آب و فاضلاب، مصاحبه با کارشناسان، گزارش‌های مطالعاتی، مقالات و پایان‌نامه‌های مربوط به حوضه، جمع‌آوری و محاسبه شده است.

در این پژوهش دوره شبیه‌سازی از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ لغایت ۱۳۹۴-۱۳۹۳ انتخاب شد که فرایند واسنجی مدل نیز براساس داده‌های موجود در این بازه انجام شد. در نتیجه بعد از واسنجی مدل، میزان تأثیرات سناریوهای پایدار بر حوضه

کند. در مقابل سازمان آب منطقه‌ای با انتخاب گزینه (۳) عکس‌العمل از خود نشان دهد، زیرا اصلاح راندمان آبیاری و عدم توسعه اراضی لزومی به کنترل برداشت از چاه‌ها در این بخش ندارد. از جمله شرایط غیرممکن دیگری که می‌توان در این بازی اشاره کرد این است که استان چهارمحال و بختیاری گزینه (۷) را انتخاب نکرده و گزینه (۶) را نیز انتخاب نکند، چون این استان در صورت عدم افزایش حقبه این استان دلیلی ندارد که با طرح انتقال آب تونل بهشت‌آباد موافقت کند. از طرفی انتخاب گزینه‌های (۶) و (۷) توسط استان چهارمحال و بختیاری نیز غیرممکن است، چون دلیلی ندارد که استان اصفهان در صورت متوقف شدن طرح انتقال آب بهشت‌آباد با افزایش سهم حقبه استان چهارمحال و بختیاری از آب موافقت کند.

پس از اولویت‌بندی گزینه‌ها برای تصمیم‌گیرندگان حوضه زاینده‌رود براساس جدول (۳) و حذف حالات غیرممکن، درنهایت در جدول (۴) مشاهده می‌شود، تعداد وضعیت‌های ممکن مناقشه که در سایر مراحل مدل‌سازی و تحلیل به‌کار گرفته می‌شود، تنها ۵۶ حالت از ۱۲۸ حالت، قابل قبول است.

### نتایج و بحث

#### نتایج مدل GMCR

پس از تعیین وضعیت‌های پایدار برای هر بازیکن بر مبنای تعاریف تعادل معین شده، بایستی نقاط تعادل بازی را مشخص کرد. نقطه تعادل بازی، حالتی است که به‌ازای یک تعریف تعادل معین برای تمامی بازیکنان، پایدار باشد و در واقع در اشتراک تعادل فردی آنها قرار بگیرد. این بدان معنا است که بازیکنانی که دارای ویژگی‌های آن تعریف تعادل هستند، وضعیت مذکور را به‌عنوان راه حل مناقشه پذیرفته و مایل به تغییر آن نیستند. از آنجاکه تعاریف تعادل گوناگون، نشانگر رفتارهای متفاوتی است که بازیکنان ممکن است در طول مناقشه ارائه دهند، هر چه وضعیتی براساس تعاریف تعادل بیشتری، برای همه بازیکنان، پایدار باشد، میزان قوت آن



جدول ۳. ارجحیت گزینه‌ها برای تصمیم‌گیرندگان حوضه زاینده‌رود

ذینفع	اولویت	
سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان	جهاد کشاورزی تمایلی به رخدادهای همزمان گزینه‌های توقف طرح انتقال آب، اعمال محدودیت برداشت از چاه‌ها، در اولویت قرار داشتن صنعت نسبت به کشاورزی، اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید و اولویت‌بندی جدید در تخصیص آب ندارد.	۳- ۴- ۵- & ۶- ۷-
	جهاد کشاورزی تمایلی به توقف طرح انتقال آب ندارد.	۷-
	جهاد کشاورزی تمایلی به اعمال محدودیت برداشت از چاه‌ها ندارد.	۳-
	جهاد کشاورزی تمایلی به اولویت صنعت نسبت به کشاورزی در تخصیص آب ندارد.	۴-
	جهاد کشاورزی تمایلی به اعمال طرح جدید اولویت‌بندی در تخصیص آب ندارد.	۵-
	جهاد کشاورزی تمایلی به اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید ندارد.	۶-
	جهاد کشاورزی تمایل به توسعه اراضی تحت کشت برای حمایت از کشاورزان دارد.	۱
	جهاد کشاورزی تمایل به اجرای طرح‌های مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی دارد.	۲
	آب منطقه‌ای تمایل به اجرای طرح‌های مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی دارد.	۲
	آب منطقه‌ای تمایلی به توسعه اراضی تحت کشت کشاورزی ندارد.	۱-
سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان	آب منطقه‌ای تمایلی به توقف طرح انتقال آب ندارد و با اولویت صنعت نسبت به کشاورزی موافق است.	۴ & ۷-
	آب منطقه‌ای تمایل به رخدادهای همزمان سیاست‌های محدودیت برداشت از چاه‌ها، اولویت‌بندی جدید تخصیص آب و در نتیجه اولویت صنعت نسبت به کشاورزی دارد.	۳ & ۴ & ۵
	آب منطقه‌ای تمایل به اعمال طرح محدودیت برداشت از آب زیرزمینی دارد.	۳
	آب منطقه‌ای با توقف طرح انتقال آب مخالف و با اولویت‌بندی جدید تخصیص آب موافق است.	۵ & ۷-
	آب منطقه‌ای با توقف طرح انتقال آب و با اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید مخالف است.	۶- & ۷-
	آب منطقه‌ای تمایل به اعمال طرح جدید اولویت‌بندی در تخصیص آب دارد.	۷-
	آب منطقه‌ای تمایلی به اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید ندارد.	۶-
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به اجرای طرح‌های مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی و اعمال طرح جدید اولویت‌بندی در تخصیص آب دارد.	۲ & ۵
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به اعمال طرح جدید اولویت‌بندی در تخصیص آب دارد.	۵
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به اجرای طرح‌های مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی دارد.	۲
اداره حفاظت از محیط زیست	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به توقف طرح انتقال آب و توسعه اراضی تحت کشت و اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید ندارد و با اعمال محدودیت برداشت از چاه‌ها موافق است.	۳ & ۱- & ۷-
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به توقف طرح انتقال آب ندارد.	۷-
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به توسعه اراضی تحت کشت ندارد.	۱-
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایل به اعمال محدودیت برداشت از چاه‌ها دارد.	۳
	سازمان حفاظت از محیط زیست تمایلی به اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید ندارد.	۶-
	استان چهارمحال و بختیاری تمایل به اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید دارد.	۶
	استان چهارمحال و بختیاری تمایل به اجرای طرح‌های مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی و اعمال طرح‌های ایجادکننده حبابه جدید دارد.	۶ & ۲
	استان چهارمحال و بختیاری تمایل به اجرای طرح‌های مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی و توقف طرح انتقال آب دارد.	۷ & ۲
	استان چهارمحال و بختیاری تمایل به طرح جدید اولویت‌بندی در تخصیص آب ندارد.	۵-
	استان چهارمحال و بختیاری تمایل به توقف طرح انتقال آب دارد.	۷
استان چهارمحال و بختیاری		

جدول ۴. وضعیت‌های ممکن مناقشه آبی حوضه آبریز زاینده‌رود

تصمیم گیرندگان و گزینه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	
سازمان جهاد کشاورزی	۱	۲																											
اداره آب منطقه‌ای	۳	۴																											
اداره حفاظت از محیط زیست	۵																												
چهارمحال و بختیاری	۶	۷																											
تصمیم گیرندگان و گزینه‌ها	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	
سازمان جهاد کشاورزی	۱	۲																											
اداره آب منطقه‌ای	۳	۴																											
اداره حفاظت از محیط زیست	۵																												
چهارمحال و بختیاری	۶	۷																											

نشان داده شده است. در این شکل میزان دبی شبیه‌سازی شده رودخانه در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های

زاینده‌رود در افق طرح ۱۳ ساله بررسی شد. نتایج حاصل از واسنجی مدل به‌عنوان نمونه برای ایستگاه پل‌کله در شکل (۲)

جدول ۵. نقاط تعادل مناقشه آبی حوضه زاینده‌رود

گزینه‌ها ▼	حالات پایدار ◀	حالت ۱۵	حالات ۲۸	حالت ۳۲	حالات ۴۷	حالت ۵۲	حالات ۵۶
توسعه اراضی کشاورزی	خیر	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	بلی
مدیریت تقاضا	خیر	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	بلی
محدود کردن برداشت آب از چاه‌ها	خیر	بلی	خیر	خیر	بلی	خیر	بلی
اولویت تخصیص صنعت نسبت به کشاورزی	خیر	بلی	خیر	خیر	بلی	بلی	بلی
نیاز زیست‌محیطی (اولویت دوم تخصیص آب)	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی	بلی	بلی
طرح‌های ایجادکننده حقبه جدید در حوضه	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر	خیر
توقف طرح انتقال آب بهشت‌آباد	خیر	خیر	خیر	بلی	بلی	بلی	بلی

جدول ۶. تجزیه و تحلیل پایداری نقاط تعادل براساس تعاریف تعادل

حالت	۱۵	۲۸	۳۲	۴۷	۵۲	۵۶
R (Nash)	✓	✓				✓
GMR	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SMR	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SEQ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NM	✓	✓	✓	✓	✓	✓
L (۲)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

هیدرومتری حوضه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج حاکی از عملکرد بسیار خوب مدل است و با توجه به کالیبره بودن مدل می‌توان از آن برای تحلیل و بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده کرد.

پس از توسعه سناریوهای پایدار در مدل WEAP، نتایج به‌دست آمده براساس معیارهای عملکرد سیستم و شاخص پایداری حوضه محاسبه و رده‌بندی شد. جدول (۸)، پایداری سیستم را در تأمین نیاز شش سناریوی مذکور نشان می‌دهد.

براساس نتایج به‌دست آمده در جدول (۸)، سناریوی ۲ شامل اعمال سیاست‌های مدیریت توأمان تقاضا و تأمین، محدودیت برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی، اولویت‌بندی جدید تخصیص ذینفعان و طرح‌های ایجادکننده حقبه جدید در حوضه به‌عنوان سناریوی مناسب در تأمین نیازها و تخصیص منابع آب معرفی شد. حداکثر بودن میزان شاخص پایداری این سناریو در مقایسه با سایر سناریوها نشان‌دهنده وجود کمترین سطح نارضایتی‌ها بین ذینفعان در این سناریو در مقایسه با سایر

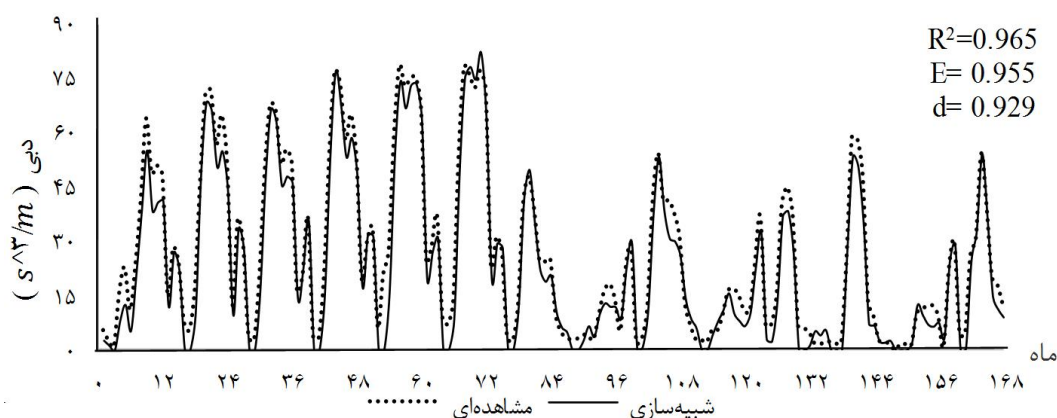
سناریوها است. در نتیجه پس از سناریوی ۲ به‌ترتیب سناریوهای ۱، ۵، ۶، ۴ و ۳ پایدارترین سناریوها هستند. سناریوی ۲، تأکید بر اجرای توأمان سیاست‌های مدیریت عرضه و تقاضا و اولویت‌بندی جدید در تخصیص منابع آب در قالب مدیریت یکپارچه منابع آب را نشان می‌دهد. جدول (۹) نتایج تخصیص و شکل ۳ معیارهای عملکرد و شاخص پایداری در سناریوی ۲ برای ذینفعان مختلف را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

پس از انجام مطالعات مقدماتی و بررسی کلی شرایط حوضه زاینده‌رود، مناقشه آبی حوضه شناسایی شد و سپس در این پژوهش، تلاش شد تا بهره‌گیری از روش GMCR، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری GMCR II، مدل WEAP، معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم و شاخص پایداری، این مناقشه حل گردیده و بهترین سناریو برای رفع اختلاف و اعمال در حوضه و راه‌حل‌های احتمالی آن، تعیین شود.

جدول ۷. پارامترهای لازم برای اعمال سناریوهای پایدار در مدل WEAP

پارامترهای مدل WEAP	گزینه‌های موجود در مدل WEAP
محاسبه میزان افزایش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در افق طرح با توجه به نرخ رشد توسعه زیر کشت کشاورزی در شهرستان‌های واقع در حوضه و تبدیل آنها به تفکیک دشت‌ها بر اساس ضرایب درصد سطح زیر کشت هر دشت از کل سطح زیر کشت هر یک از شهرستان‌ها و اعمال آنها در WEAP	توسعه اراضی کشاورزی
برآورد پتانسیل کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب و اعمال آنها در WEAP برای افق طرح	مدیریت تقاضا
محدود شدن میزان برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی به‌میزان تغذیه دشت‌های مختلف محدوده مورد مطالعه و اعمال آنها در WEAP برای افق طرح	محدود کردن برداشت آب از چاه‌ها
اعمال اولویت‌بندی تخصیص موجود برای ذینفعان مختلف با توجه به سیاست‌های فعلی آب منطقه‌ای در افق طرح	اولویت تخصیص صنعت نسبت به کشاورزی
تغییر اولویت‌بندی تخصیص ذینفعان با توجه به سیاست‌های اداره حفاظت از محیط‌زیست در افق طرح	نیاز زیست‌محیطی (اولویت دوم تخصیص آب)
افزایش میزان حقایبه استان شهرکرد از آب رها شده از سد زاینده‌رود در افق طرح	طرح‌های ایجادکننده حقایبه جدید در حوضه
عدم اجرای خط انتقال آب تونل بهشت‌آباد به داخل حوضه در افق طرح	توقف طرح انتقال آب بهشت‌آباد



شکل ۲. میزان آورد رودخانه محاسبه شده در مدل و مشاهده‌ای در ایستگاه آب‌سنجی پل کله

در بین سناریوها (۸۱/۳۷ درصد) دارد. بنابراین موارد زیر به‌عنوان راهکار برای برون‌رفت از مناقشات موجود به تصمیم‌گیرندگان توصیه می‌شود:

۱- با توجه به وضعیت سال‌های اخیر حوضه، خشکسالی‌های موجود و مشکلات موجود در تأمین نیاز ذینفعان، استان اصفهان با طرح‌های ایجاد حقایبه جدید موافقت کند، در عوض استان چهارمحال و بختیاری نیز با طرح انتقال آب

در بحث پیرامون نقاط تعادل باید در نظر داشت که برای جواب مناقشه و راه‌حل پیشنهادی فقط پایداری نقاط را نباید در نظر گرفت بلکه به این نکته که آن حالت از نظر پایداری ذینفعان و سیستم منابع آب چه وضعیتی دارد را نیز بررسی کرد. با توجه به آنچه گفته شد و نتایج خروجی جال از مدل مناقشه توسط مدل GMCR و جدول (۸) می‌توان بهترین جواب و راه‌حل مناقشه را سناریو ۲ (حالت ۲۸) دانست که بیشترین پایداری را

جدول ۸. پایداری ذینفعان حوضه آبریز زاینده‌رود در شش سناریوی پایدار (درصد)

سناریوها ▼ ذینفعان ◀	کشاورزی	صنعت	شرب خارج از حوضه	شرب حوضه	محیط زیست (تالاب)	مجموع
سناریو ۱	۴۸/۲۵	۴۳/۳۸	۹۹/۷۴	۹۲/۲۷	۱۰۰	۷۶/۷۳
سناریو ۲	۴۶/۶۰	۶۸/۶۷	۹۹/۷۴	۹۱/۸۵	۱۰۰	۸۱/۳۷
سناریو ۳	۴۶/۲۹	۴۱/۸۰	۷۵/۳۸	۹۰/۶۸	۱۱/۰۳	۵۳/۰۴
سناریو ۴	۳۹/۹۳	۳۶/۲۹	۷۵/۳۸	۹۰/۹۳	۸۴/۸۸	۶۵/۶۱
سناریو ۵	۵۴/۶۷	۶۱/۵۷	۷۵/۳۸	۹۰/۶۸	۸۴/۸۸	۷۳/۴۴
سناریو ۶	۴۳/۲۲	۶۵/۹۶	۷۵/۳۸	۹۱/۲۲	۸۸/۸۴	۷۲/۱۳

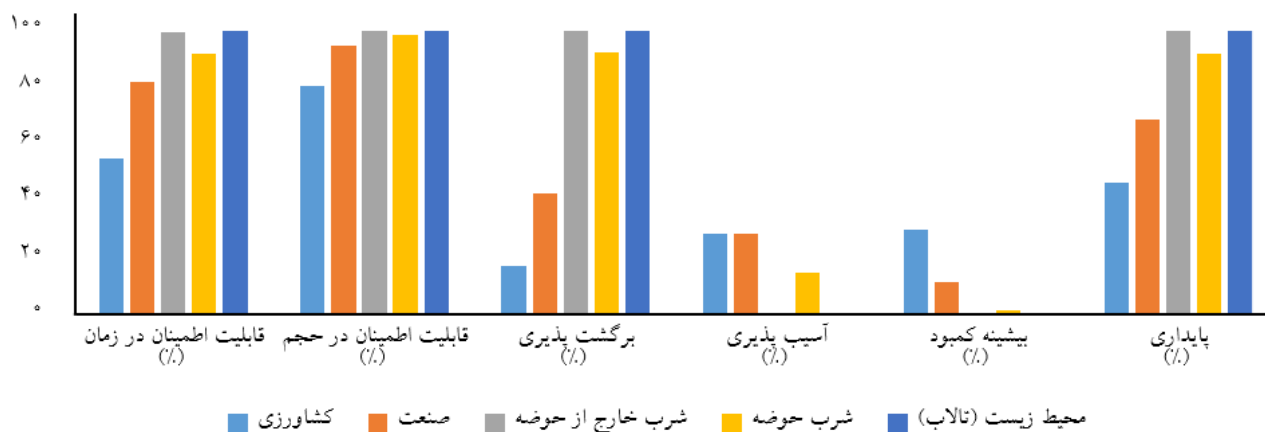
جدول ۹. نتایج تخصیص در سناریوی ۲

سال ▼	ذینفعان ◀	کشاورزی	صنعت	شرب خارج حوضه	شرب حوضه	زیست‌محیطی
سال ۱	۳۳۸۵/۱	۱۷۸/۵	۱۳۵	۴۸۲/۹	۱۴۱/۱	۱۴۱/۱
سال ۲	۳۴۰۷/۱	۱۷۸/۵	۱۳۵	۴۳۸/۸	۱۴۱/۱	۱۴۱/۱
سال ۳	۳۵۲۸/۶	۱۷۸/۵	۱۳۵	۴۸۸/۸	۱۴۱/۱	۱۴۱/۱
سال ۴	۳۵۹۹/۹	۱۷۸/۵	۱۳۵	۴۹۵/۵	۱۴۱/۱	۱۴۱/۱
سال ۵	۳۶۰۴/۸	۱۷۸/۵	۱۳۵	۵۰۲/۳	۱۴۱/۱	۱۴۱/۱
سال ۶	۲۹۷۶	۱۶۷/۲	۱۳۵	۵۰۹/۲	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۷	۲۸۰۲/۱	۱۶۷/۲	۱۳۵	۵۱۶/۳	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۸	۲۹۲۹/۴	۱۶۷/۲	۱۳۵	۵۲۳/۴	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۹	۲۷۳۰/۱	۱۶۶/۳	۱۳۵	۵۳۰/۶	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۱۰	۲۷۱۷/۱	۱۶۱/۴	۱۳۵	۵۳۸	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۱۱	۲۷۹۶	۱۶۹	۱۳۵	۵۴۵/۴	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۱۲	۲۷۶۸/۳	۱۶۷/۲	۱۳۴/۸	۵۵۲/۹	۵۹/۴	۵۹/۴
سال ۱۳	۲۷۸۹/۱	۱۵۹/۶	۱۳۵	۵۶۰/۷	۵۹/۴	۵۹/۴

۲- راهکار دوم برای برون‌رفت از مشکلات زیست‌محیطی و جلوگیری از خشک شدن تالاب بین‌المللی گاوخونی، موافقت کلیه ذینفعان با سیاست اولویت‌بندی جدید تخصیص منابع آب با در نظر گرفتن حقایق زیست‌محیطی الزامی است.

۳- یکی از راهکارهای مهم دیگر این است که اداره جهاد کشاورزی استان اصفهان، مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی را عملی کند.

تونل بهشت‌آباد موافقت کند که این مهم منافع دو استان را به همراه دارد زیرا از طرفی مشکلات شهرهای استان چهارمحال و بختیاری مرتفع و از طرف دیگر مشکلات تأمین نیاز ذینفعان استان اصفهان به شکل مناسبی برطرف می‌شود. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی که انتقال آب تونل بهشت‌آباد به وجود می‌آورد در صورتی که مقرر شود با این طرح انتقال آب بین استانی موافقت شود بهتر است این انتقال اصولی و با استفاده از لوله انجام شود که مشکلات زیست‌محیطی به حداقل برسد.



شکل ۳. معیارهای عملکرد و شاخص پایداری سیستم در تأمین نیاز ذینفعان حوضه در سناریوی ۲

توسعه اراضی زیر کشت کشاورزی را داشته باشد، باید مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی را اجرایی کند و در عوض سازمان آب منطقه‌ای نیز می‌تواند سیاست محدودیت برداشت از آبخوان‌ها را به‌منظور جلوگیری از افت آبخوان‌ها اعمال کند.

۴- با توجه به دو سناریوی برتر، از آنجا که در استان اصفهان صنعت سوددهی بیشتری نسبت به کشاورزی دارد و با توجه به کمبود منابع آب در حوضه، صنعت در اولویت بالاتری نسبت به کشاورزی قرار داده شود. در صورتی که سازمان جهاد کشاورزی درخواست سیاست

## منابع مورد استفاده

- Adgolign, T., G. Srinivasa Rao and Y. Abbulu. 2016. WEAP modeling of surface water resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia. *Journal of Water Resources Management* 2: 55-70.
- Ahmadi A., N. Zadehvakili, H. R. Safavi and S. A. Ohab Yazdi. 2015. Development of a dynamic planning model for surface and groundwater allocation, case study: zayandehroud river basin. *Journal of Iran-Water Resources Research* 11(1): 21-31 (In Farsi).
- Bhave, A. G., A. Gajanan, A. Mishra, N. Singh and N. S. Raghuwanshi. 2012. Integrated assessment of climate change adaptation options for water resources management using, In: Proceeding of the Berlin Conference on Human Dimensions of Global Environmental Change, <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/18928>.
- Chu, Y., Hipel, K., Fang, L. and H. Wang. 2015. Systems methodology for resolving water conflicts: The Zhanghe River water allocation dispute in China. *International Journal of Water Resources Development* 1(31):106-119.
- Danesh yazdi M., A. Abrishamchi and M. Tajrishy. 2014. Conflict resolution of water resources allocations using the game theoretic approach: the case of orumieh river basin. *Journal Water and Wastewater* 25(2): 48-57 (In Farsi).
- El-Baroudy, I. and Simonovic, SP. 2004. Fuzzy criteria for the evaluation of water resource systems performance. *Journal of Water Resources Research* 40(10): W10503, doi :10.1029/2003WR002828.
- Fang, L., K. Hipel and D. Kilgour 1993. Interactive decision making: the graph model for conflict resolution. Wiley, New York, USA.
- Gholami M., A. Shahnazari, Morteza pour, M. R. and M. M. Shahnourian. 2017. Conflict resolution of sefidrud irrigation and drainage network using games theory. *Journal of Iran-Water Resources Research* 13(3): 101-111. (In Farsi).
- Hipel K. and L. Fang. 2005. Multiple participant decision making in societal and technological systems, PP: 3-31. In: Arai, T., S. Yamamoto and K. Makino, (Eds.), Systems and human science-for safety, security, and dependability: selected papers of the 1st international symposium. SSR2003. Osaka. Japan. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- Hipel, K. and A. Obeidi. 2005. Trade versus the environment: strategic settlement from a systems engineering perspective. *Systems Engineering* 13: 211-233.

11. Hipel, K. W., D. M. Kilgour and R. A. Kinsara. 2014. Strategic investigations of water conflicts in the Middle East, *Group Decision and Negotiation* 23(3): 355–376.
12. Kilgour, D. and K. Hipel. 2005. The graph model for conflict resolution: past, present, and future. *Group Decision and Negotiation* 14: 441-460.
13. Kilgour, D. M., K. W. Hipel and N. M. Fraser. 1984. Solution concept in none-cooperative games. *Large Scale Systems* 6: 49-71.
14. Kremes, V., Srikanthan R. and McMahon TA. 1981. Long memory flow models in reservoir analysis: What is their practical value? *Journal of Water Resources Research* 17(3): 737-751.
15. Loucks, D. P. 1997. Quantifying trends in system sustainability. *Journal of Hydrological Science* 42(4): 513-530.
16. Madani, K. and K. Hipel. 2011. Non-cooperative stability definitions for strategic analysis of generic water resources conflicts. *Journal of Water Resource Management* 25(8): 1949–1977.
17. McMahon, T. A., J. Adebayo and Z. Sen-Lin. 2006. Understanding performance measures of reservoirs. *Journal of Hydrology* 324: 359–382.
18. Moy, W. S., J. L. Cohon and C. S. Revelle. 1986. A programming model for analysis of reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. *Journal of Water Resources Research* 22(4): 2135–2141.
19. Omar, M. and A. Moussa. 2016. Water management in Egypt for facing the future challenges. *Journal of Advanced Research* 7: 403–412.
20. Safaee, A. and B. Malek Mohammadi. 2014. Game theoretic insights for sustainable common poll water resources governance (case study: lake urmia water conflict). *Journal of Environmental Studies* 40(1): 121-138. (In Farsi).
21. Safavi, H. R. and M. Rastghalam. 2017. Solution to the water crisis in the zayandehrud river basin; joint supply and demand management. *Journal of Iran-Water Resources Research* 12(4): 12-22. (In Farsi).
22. Safavi, H. R., M. H. Golmohammadi and S. Sandoval-Solis. 2015. Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the Zayandehrud River Basin. *Journal of Hydrology* 528: 773–789.
23. Safavi, H. R., M. H. Golmohammadi and S. Sandoval-Solis. 2016. Scenario analysis for integrated water resources planning and management under uncertainty in the Zayandehrud river basin. *Journal of Hydrology* 539: 625–639.
24. Samadi-Boroujeni, H. and M. Saeedinia. 2013. Study on the impacts of inter-basin water transfer: Northern Karun. *African Journal of Agriculture Resaerch* 8(18): 1996–2002.
25. Sandoval-Solis, S., D. C. McKinney and D. P. Loucks. 2011. Sustainability index for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 137(5):381-390.
26. Sarhadi, A. and S. Soltani. 2013. Determination of water requirements of the Gavkhooni wetland, Iran: A hydrological approach. *Journal of Arid Environments* 98: 27-40.
27. Vigerstøl, K. L. 2003. Drought Management in Mexico's Rio Bravo Basin. Doctoral dissertation, University of Washington, Seattle, WA.
28. Zayandab Consulting Engineers. 2009. Water demand and supply in Zayandehrud Basin. Isfahan Water Company, Isfahan, Iran. (In Farsi).

## Conflict Resolution of Water Resources Allocation in Zayandehrood Basin Using Game Theory and WEAP Model

D. Salehi<sup>1</sup>, M. Goodarzi<sup>2</sup> and H. Montaseri<sup>1\*</sup>

(Received: February 16-2018; Accepted: September 23-2018)

### Abstract

This research tried to provide a sustainable solution for the allocation of water resources of Zayandehrood basin in a way ensuring minimal conflicts and tension between the stakeholders in use of the water resources, four main decision makers of the basin, comprising Regional Water Company, conflicts among Agricultural Jihad Organization, and Department of Environment of Isfahan Province and Chaharmahal and Bakhtiari Province, were reviewed and 128 possible cases according to 7 scenarios were constructed and applied in the GMCR model. According to the GMCR approach, 6 balanced sustainable scenarios in different climatic periods of the basin were presented. Finally, the results were generalized for choosing the best mode in the form of a scenario within the WEAP model; also, the results obtained from these scenarios were presented using the criteria of system performance assessment. On the basis of the findings, Scenario II was developed, comprising the application of new simultaneous management of demand and supply, restrictions in drawing water from water tables, new prioritization in stakeholder allocation and new water portion plans in the basin as the best scenario with 81.4% sustainability index.

**Keywords:** Water allocation, Conflict resolution, Game theory, WEAP model, Performance criteria, Index of sustainability, Zayandehrud Basin

---

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.

2. Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: hmontaseri@gmail.com