فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)
سال هشتم، شماره ۲، بهار ۱۳۹۷
صص: ۳۰۸-۲۹۳

تخصیص بهینهٔ منابع آب با در نظر گرفتن اولویت‌های کاربران در استان قم

محمد حسین نیک سخن[۱]

دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

سید مسعود طایفه

دانشجوی دکتری، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مجتبی علیمددی

کارشناس آب منطقه‌ای استان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۳

چکیده

افزایش روز افزون جمعیت باعث شده است که نیازهای آبی در بخشهای آب شرب، صنعت وکشاورزی افزایش یابد. این شرایط نیاز به اعمال راه کارهایی مؤثر، برای مدیریت بهینه وکارآمد آب با لحاظ مسائل مختلف مانند ارزش آب و مباحث اقتصادی دارد. بنابراین این مقاله یک متدولوژی برای تخصیص بهینه منابع آب در بین نیازهای شرب، کشاورزی و صنعت در استان قم پیشنهاد گردیده است. به دلیل مشکل کم آبی در این استان، آب انتقالی از سرشاخهٔ دز برای این استان در نظر گرفته شده است که در مدل مورد نظر لحاظ شده است. در متدولوژی پیشنهادی، از الگوریتم بهینه‌سازی PSO و تابع هدف مجموع نسبت سود به میزان مصرف‌های مختلف استفاده گردیده است. مدل تخصیص در دو حالت، بدون در نظر گرفتن اولویت‌ها و آب انتقالی و در حالت دوم با در نظر گرفتن این موارد اجرا شده است. اولویت کاربران نیز از دو دیدگاه ارزش آب و مدیریت استراتژیک، بررسی گردیده است. براساس نظر کاربران و تحلیل آماری لازم برای هر یک از نیازها، وزن اولویت‌ها تعیین و در مدل بکار گرفته شده است. نتایج نشان دهنده میزان موثرتری از تأمین نیازها در دیدگاه مدیریت استراتژیک و دیدگاه ارزش آب می‌باشد.

واژگان کلیدی: تخصیص آب؛ اولویت کاربران؛ ارزش آب؛ مدیریت استراتژیک

۱- نویسنده مسئول niksokhan@ut.ac.ir

مقدمه

امروزه تأمین آب یکی از مهمترین چالش‌های تصمیم‌گیری در جهان است. بنا به اظهار مجامع بین المللی تا سال ۲۰۵۰ مساله منابع آبی اصلی‌ترین مشکل و موضوع بحث در جهان خواهد بود. از طرفی با رشد تقاضای آب در بخشهای اصلی یعنی کشاورزی، شرب، صنعت و کاهش امکانات عرضه در سال‌های آتی، رقابت بین مصرف کنندگان آب بروز کرده و تشدید خواهد شد و مسلماً رویکرد تخصیص آب صرفاً بر اساس حقابه اولیه منجر به استفاده کارآمد از آب در کلیهٔ حوضه آبریز نخواهد شد. تخصیص به معنی مقدار آب قابل تحویل در یک زمان مشخص به یک محل مشخص و نوع مصرف مشخص است. به عبارتی حل مساله ی تخصیص به معنی تعیین توزیع مکانی و زمانی سهم و درصد منابع آبی بین انواع مصرف در گستره‌ی حوضه می‌باشد. با توجه به چالش‌های بیان شده و این واقعیت که برخی مناطق کشور در شرایط خشکسالی یا کمبود شدید آب به سر می‌برند و از طرف دیگر، برخی حوضه‌ها دارای مقادیر قابل توجهی آب قابل استحصال می‌باشند، انتقال و تخصیص بین حوضه‌ای منابع آب با در نظرگرفتن مطلوبیت‌ها و تضادهای تأثیرپذیرندگان این سیستم‌ها به یکی از مباحث مهم در بهره برداری از منابع آب تبدیل شده است. اینگونه طرح‌ها به دلیل گستردگی بخش‌های مختلف تأثیرپذیر خود، از حساسیت خاصی برخوردار هستند و لزوم توجه به تمامی جنبه‌های متأثر از آن‌ها می‌تواند به اتخاذ تصمیم‌هایی منجر شود. انتقال آب بین حوضه‌ای یکی از راههای تأمین آب برای رفع نیازهای فزایندهٔ آب در محدوده‌های کم آب است. به کلامی دیگر، انتقال آب از یک حوضه به حوضهٔ دیگر در بعضی از کشورها، از جمله در ایالات متحده آمریکا، شوروی سابق و چین یکی از راههای معمول افزایش منابع آب حوضه‌های خشک بوده است. در ایران، به علت کمی بارندگی و کم آبی، از زمان باستان عملیات انتقال آب از منابع محدود آبی به نواحی کاملاً کم آب معمول بوده است. عملیات فوق به صورت احداث بندها و کانال‌ها و انهار انتقال سطحی و به صورت کانالهای زیرزمینی در مسافت‌های طولانی تعیین قنات انجام می‌شده است. طول این قنوات بعضی اوقات به ۷۰ کیلومتر نیز می‌رسیده است. واضح است که با پیشرفت تکنولوژی و فن مهندسی فکر انتقال آب در مسافت‌های طولانی توسط تونل یا کانال‌های آبرسانی یا خطوط لوله مورد توجه بیشتری قرار گرفته باشد. موضوع انتقال آب و در پی آن تخصیص بهینه از مهمترین موضوعات مدیریت منابع آب می‌باشد. جهت بررسی این موضوعات، دیدگاه‌های مختلفی وجود دارد. با توجه به اهمیت موضوع آب در دو حیطهٔ اقتصاد و توسعهٔ پایدار، و تأثیر غیر قابل انکار این مساله در هر دو موضوع مذکور، به توضیح مختصری از این دو دیدگاه پرداخته می‌شود. مدیریت استراتژیک عبارت است از هنر و علم فرمول بندی، اجرا و ارزیابی تصمیمات چندبعدی–با تاکید بر یکپارچه سازی عوامل مدیریت، بازاریابی، امور مالی، تولید یا خدمات، تحقیق و توسعه وسیستم های اطلاعاتی و غیره– جهت رسیدن به اهداف سازمانی. همچنین جهت ارزیابی مصرف آب به چارچوبی نیاز است که علاوه بر کارایی اقتصادی حاصل از مصرف آب، به عدالت در توزیع و پایداری منابع آب نیز توجه کافی داشته باشد. برای طرح این چارچوب از تفکر اقتصاد اکولوژیک به عنوان تنها تفکر اقتصادی مبتنی بر پایداری در اکوسیستم استفاده می‌گردد. تفکر اقتصاد اکولوژیک بر مبنای محدودیت منابع اکوسیستم شکل گرفته و سه نکته مهم را منتقل می‌کند: مقیاس، توزیع و تخصیص؛ این دیدگاه، بیانگر ارزش آب می‌باشد.

Matete و Hassan (۲۰۰۵) در یک مطالعه موردی انتقال آب بین دو حوضه در آفریقای جنوبی نقش اختلاط جنبه‌های پایداری زیست محیطی و برنامه‌ریزی توسعه اقتصادی را نشان دادند.Carvalho و Magrini (۲۰۰۶) پروژه‌های انتقال آب را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که یک روش استراتژیک در مواردی مناسب است که تصمیم‌گیری‌ها بر اساس یک روند تدریجی در طول زمان در شرایط وجود عدم قطعیت سیاسی، اداری و قانونی انجام شوند.Thatte (۲۰۰۷) جنبه‌های مختلف طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب را مورد بررسی قرار داد. او مطرح کرد که برای یک طرح انتقال بین حوضه‌ای آب لازم است جنبه‌های مختلفی مانند امکان پذیری فنی، نیازمندی‌های اجتماعی، توجیه پذیری اقتصادی وپایداری زیست محیطی در نظر گرفته شود تا در نهایت منجر به رشد و توسعه شود. سعدی نیا و همکاران (۱۳۸۷) اثرات انتقال آب را در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای حوضه‌های بهشت آباد و کوهرنگ با استفاده از مدل Weap شبیه‌سازی کرده و نتجه گرفتند که خروجی حوضه‌های مذکور در آینده در صورتی که طرح‌های توسعه منابع آب اجرا نگردند، ۲۷ درصد کاهش یابد. Gupta و van der Zaag (۲۰۰۸) انتقال بین حوضه‌ای آب را از یک دیدگاه چند معیاره با طرف‌های درگیر مختلف ارزیابی کردند. Niksokhan و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مفاهیم بازی‌های همکارانه روشی مؤثر را برای تجارت مجوز تخلیه آلودگی در سیستم‌های رودخانه‌ای بر اساس اختلاف‌های بین آببران وتصمیم گیرندگان درگیر پیشنهاد دادند.Madani (۲۰۱۰) به کمک مفاهیم بازی‌های غیر همکارانه قابلیت‌های تئوری بازی‌ها را در مدیریت منابع آب و حل اختلاف بررسی کرد. او ساختار پویای مسائل منابع آب و اهمیت در نظر گرفتن مسیر تکامل بازی در بررسی این گونه مسائل را نشان داد.
Mahjouri و Ardestani (۲۰۱۰) سه ساختار جدید برای تخصیص بین حوضه‌ای آب ارائه کردند و کارایی این ساختارها را در طرح انتقال آب از سرشاخه‌های کارون به رفسنجان مورد بررسی قرار داد.Bhaduri و Barbier(۲۰۱۱) در یک پروژه انتقال آب در هند بررسی کردند، آن‌ها به کمک تئوری بازی‌ها و با بررسی چندین سناریو مبتنی بر ارتباط سیاسی بازیکنان دریافتند که تخصیص آب بر اساس بازار فروش مناسب بوده و تخصیص بر اساس قیمت درآمد مناسبی را عاید مشترکان نمی‌کند. دانش یزدی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تئوری بازی‌ها در حل مناقشات آبی حوضه دریاچه ارومیه بین ۳ بازیکن آذربایجان غربی، آذربایجان غربی و کردستان پرداختند. Zhisong و همکاران (۲۰۱۳) به چگونگی استفاده از یک طرح قیمت گذاری دو سطحی جهت توازن در تخصیص آب با استفاده از مدل بازی Stackelberg پرداخت. Weiو Gnauck (۲۰۱۴) مدلی مبتنی بر مفهوم تئوری بازی برای تخصیص آب نمودند. اساس و بنیان تقاضا و تأمین آب، استفاده از یک دیدگاه برای فرمول‌سازی بازی‌های غیر مشارکتی جهت حمایت از طرح‌های مدیریت آب می‌باشد. نتایج چنین بازی‌هایی نه تنها اجازهٔ تخصیص بهتر گروه‌های مختلف آب بر را می‌دهد بلکه سودهایی را نیز نصیب ناظران و شرکت‌های تأمین آب می‌کند. زینلی و همکاران (۱۳۹۴) از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته جهت بهینه‌سازی بهره برداری از مخزن سد درودزن استفاده کردند. افزون بر این، تأثیر اعمال قیود زنجیره‌ای در بدنهٔ این الگوریتم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای تمامی برنامه‌ها منجر به جوابهای شدنی گردیده ولی بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در مواردی الگوریتم قادر به یافتن جواب شدنی نبوده است. Li و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عدم قطعیتهای مدل تخصیص آب با هدف بیشینه کردن راندمان پرداخته است. در این مقاله، از

مدل تخصیص آب مورد نیاز آبیاری به روش سهم‌بندی خطی بازه‌ای جهت حل مسائل چند هدفه برای دستیابی به حداکثر سود خالص و کمترین مصرف آب برای آبیاری بهره گرفته شده است. Adami و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی تئوری بازی تکاملی با استفاده از روش‌های عامل محور پرداخته‌اند. تئوری بازی تکاملی یک ساختار ریاضی موفق برای درک بهتر قیودی است که بر تکامل استراتژی‌های در نظر گرفته شده توسط عوامل مؤثر می‌باشند. در حالیکه بررسی رفتار ریاضی هزینه‌ها و منفعتهای تصمیم‌ها می‌تواند در سیستم‌های منفرد منجر به پیش بینی بهینه‌ترین استراتژی شود، اما سیستم‌های چند بعدی مانند جوامع با در نظر گرفتن نرخ‌های جهش، تصمیم‌گیری در فضاهای غیر قطعی، ارتباطات بین عوامل و اندرکنش‌های مکانی نیازمند خروجی‌های تکاملی می‌باشند تا تأثیر عوامل بر جامعه در طی زمان را تعیین کند.Habibi و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به تخصیص منابع آب به نحوی است که بیشترین تعداد شغل در بخش‌های صنعت و کشاورزی حاصل شود، پرداختند. هدف آنست که توجه تصمیم گیرندگان ذیربط را در تأمین و توزیع آب، جلب بیشینه کردن سودهای مصرف کنندگان شود. مدل مذکور از الگوریتم PSO جهت تعیین مقادیر بهینهٔ تخصیص آب به بخش‌های مختلف متقاضی آب، بهره گرفته است.

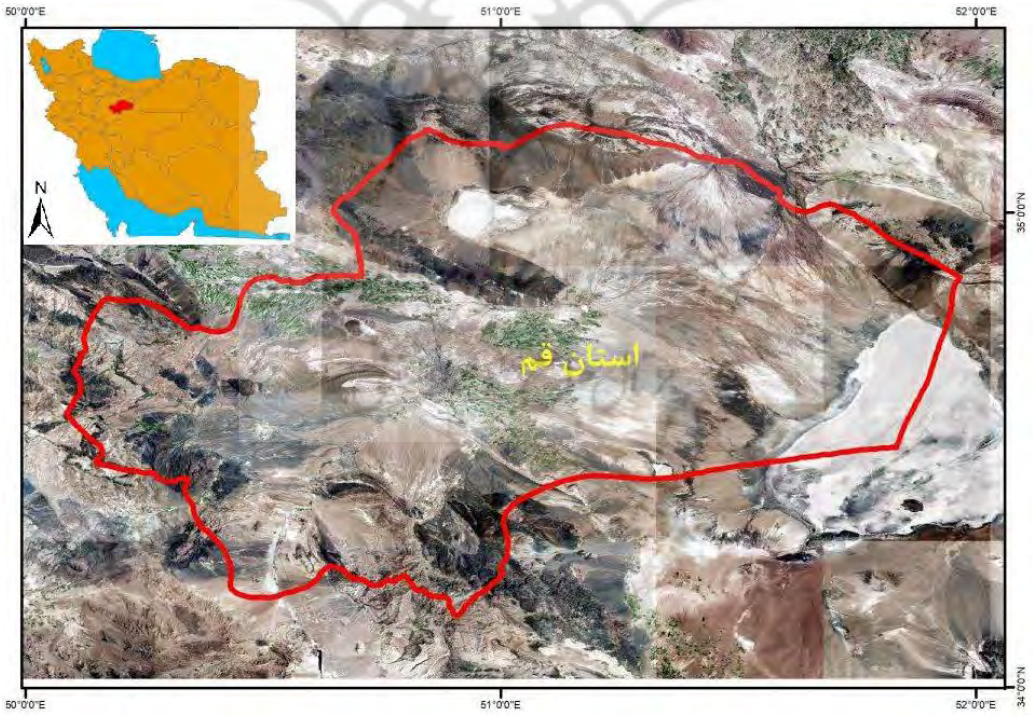
در این مقاله، با توجه به کمبود منابع آب و با توجه به ارزش اقتصادی آب و اهمیت موضوع اقتصاد در کشور، به تخصیص بهینهٔ منابع آب منطقه مورد مطالعه به کمک مدل بهینه‌سازی پرداخته شده است. مدل پیشنهادی در دو حالت اجرا گردیده است: در حالت اول ابتدا به کمک تعیین تابع هدف و قیود مربوط به هر یک از نیازهای آبی که متغیرهای مدل بهینه‌سازی می‌باشند، مدل بدون در نظر گرفتن اولویت کاربران و آب انتقالی اجرا گردید که وضعیت بهینهٔ تخصیص آب به نیازهای آبی عمده منطقه تعیین گردید، سپس در حالت دوم از دو دیدگاه ارزش آب و مدیریت استراتژیک، نظر کارشناسان در رابطه با تخصیص بهینهٔ منابع آب موجود و آب انتقالی از سرشاخهٔ دز، جمع‌آوری گردید. سپس به کمک این نظرات و تحلیل آماری، برای هر یک از نیازها که متغیرهای تابع هدف مدل بهینه‌سازی می‌باشند، وزن‌های تعیین گردید تا تأثیر نظر کاربران در مدل دیده شود.

مواد و روشها

– معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

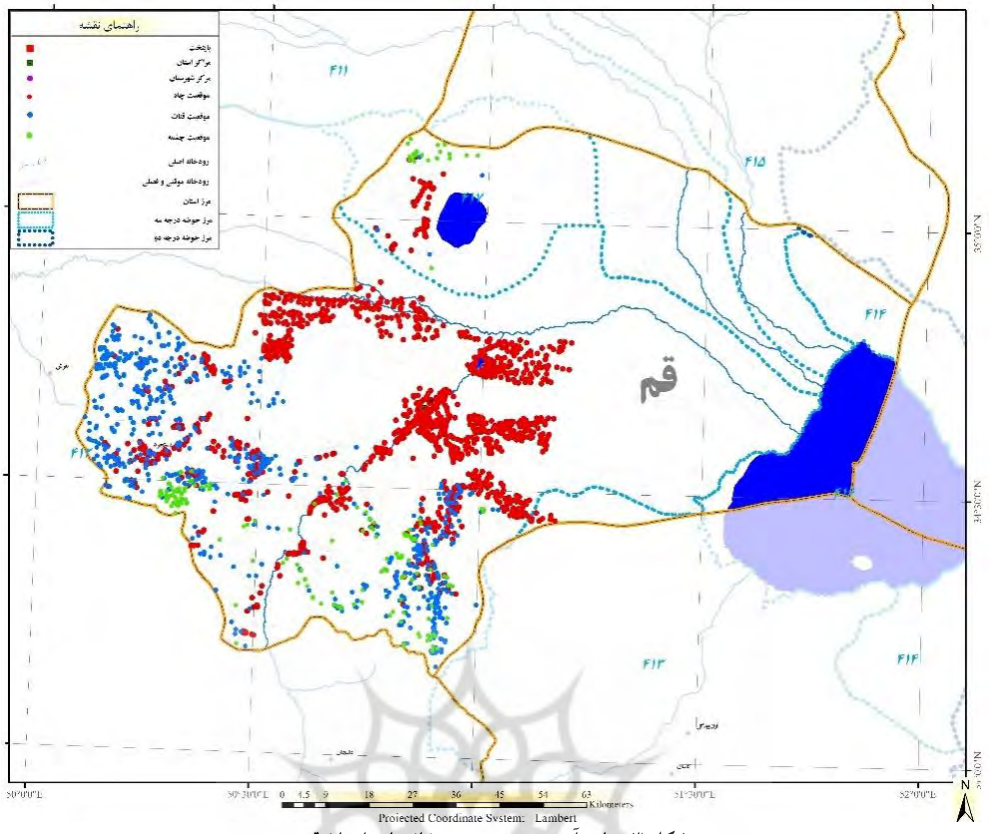
استان قم تقریباً در مرکز ایران قرار دارد و از شمال به استان تهران، از شرق به استانهای سمنان و اصفهان، از جنوب به استانهای مرکزی و اصفهان و از غرب به استان مرکزی محدود می‌باشد و در غرب دریاچهٔ نمک واقع شده است (شکل ۱). مساحت استان برابر ۱۱۲۳۸ کیلومتر مربع می‌باشد که این مقدار ۰/۶۸ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. دشت‌های اصلی استان قم عبارتند از: مسئله، سلفچگان–نیزار، شریف آباد، علی آباد، کوشک–نصرت. آبخوان‌های اصلی استان عبارتند از شریف آباد، قم –کهک، مسئله و دریاچهٔ نمک. استان قم جزء حوضه آبریز اصلی فلات مرکزی از ۶ حوضه اصلی کشور و بخشی از حوضه آبریز درجه ۲ دریاچه نمک می‌باشد. این استان کل یا قسمتی از ۷ محدوده مطالعاتی مسئله، شریف‌آباد، قم، دریاچه نمک، ساوه، سلفچگان– نیزار وکاشان را شامل می‌شود. محدوده‌های مطالعاتی ساوه و کاشان به لحاظ حفر چاه ممنوعه بحرانی، مسئله، شریف‌آباد، دشت قم، و غرب دریاچه حوض سلطان از محدوده دریاچه نمک ممنوعه و شرق حوض سلطان از محدوده دریاچه نمک و

سلفچگان- نیزارآزاد محسوب می‌شوند. منابع آب به طور کلی به دو بخش آب‌های سطحی و آب زیرزمینی تقسیم می‌شود. منابع آب سطحی در استان قم ناچیز است و منابع آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تنها منبع عمدهٔ آب سطحی قابل استفادهٔ منطقه یعنی رودخانهٔ قمرود که در طول مسیر از بالادست به طرف پائین دست به ترتیب نامهای لعل بار، اناربار، قمرود و مسئله را بر خود دارد از ارتفاعات جنوبی گلپایگان سرچشمه می‌گیرد و در طی مسیر طولانی خود با دریافت آب از ارتفاعات شهرستان خمین و نیز رودخانه‌های متعددی چون شور، ازنا و خرهه و عبور از نزدیکی شهرستانهای محلات، نیمور و دلیجان وارد قم شده و بعد در شمال این شهرستان با پیوستن به رودخانهٔ قره چای، راهی دریاچه نمک می‌گردد. قسمت اعظم آبهای زیرزمینی قم و جنوب آن به علت عبور از سفره‌های نمکی، شور شده و در بسیاری از موارد غیر قابل استفاده می‌شود. علت این امر را می‌توان در گسترش بیش از حد تشکیلات میوسن (مارن، ماسه سنگ، گچ، نمک و رس) جستجو کرد. همچنین برداشت از سفرهٔ آب زیر زمینی بیشتر از حجم آب ورودی به آن می‌باشد و در نتیجه سطح آب زیرزمینی به طور مستمر در حال پائین رفتن است. در ضمن، پیش از افتتاح سد، آب شرب شهرستان قم نیز تنها از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردید. از عوامل مؤثر در تغذیهٔ سفره (ورودی) می‌توان تغذیهٔ جانبی از ارتفاعات مجاور، تغذیه توسط رودخانه‌های قمرود و قره چای و نیز دریافت قسمتی از بارندگی سالانهٔ قم (که نیزان متوسط آن حدود ۱۶۰ میلیمتر است) که نفوذ عمقی در خاک دارد را نام برد که نقش بارندگی نسبت به دو مورد دیگر بسیار کمتر است. شکل ۲ موقعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ :موقعیت و محدودهٔ مطالعاتی استان قم

منبع: نگارندگان



شکل ۳: منابع آب زیرمینی و رودخانه‌های استان قم

منبع: نگارندگان

در این تحقیق جهت دستیابی به بهینه‌ترین تخصیص از یک مدل بهینه‌سازی بهره گرفته شد. در این مدل، تابع هدف بیشینه کردن سود اقتصادی حاصل از تخصیص در نظر گرفته شد که متغیرهای این تابع عبارتند از نیازهای آبی شرب، کشاورزی در دشتهای اصلی استان، صنعت و سطح ایستابی آب زیر زمینی در آبخوانهای اصلی. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مدل بهینه‌سازی از مدل و سرعت بالای مدل PSO در دستیابی به پاسخ بهینه، از این مدل بهره گرفته شد. مدل بهینه‌سازی در دو حالت اجرا شده است. در حالت اول مدل برای منابع آب موجود اجرا و نتایج ارائه گردیده است. در حالت دوم، ابتدا نظر کارشناسان بومی در مورد تخصیص بهینهٔ منابع آب و آب انتقالی از دز جمع‌آوری گردید، سپس با استفاده از تحلیل آماری برای هر یک از نیازهای آبی ضرایبی تعیین گردید. نظرسنجی از دو دیدگاه مدیریت استراتژیک و ارزش آب صورت گرفت که برای هر حالت ضرایبی تعیین گردید. در نظرسنجی‌ها، اولویت استفادهٔ آب در بخش‌های مختلف، با توجه به متغیرهای مدل بهینه‌سازی، از کارشناسان منطقه‌ای مورد سؤال قرار گرفت و سپس به کمک شاخص‌های مرکزی در آمار، عددی برای هر متغیر تعیین گردید و به کمک نرمال‌سازی، ضرایبی برای هر یک از متغیرها تعیین شد. سپس مدل بهینه‌سازی با در نظر گرفتن آب انتقالی و ضرایب مذکور اجرا گردید و نتایج آن در بخش بعدی ارائه گردیده است. در شکل ۲ روش انجام تحقیق به صورت شماتیک ارائه شده است.

شکل ۳: روش انجام تحقیق منبع: نگارندگان

- تعیین نیازهای آبی منطقه

در سالهای اخیر، رشد روز افزون جمعیت و توسعه اقتصادی در سرتاسر دنیا منجر به افزایش تقاضا برای منابع محدود شده و مدیریت آنها را با مناقشات جدی مواجه کرده است. علاوه بر این، منابع آب مشترک که توسط دو یا چند آب بر تقسیم شده و به مصرف می‌رسند، باعث تشدید پیچیدگی در مدیریت و برنامه‌ریزی بخش منابع آب شده است. تاکنون، بیش از ۲۰۰ حوضه آبریز در سرتاسر دنیا شناسایی شده که منابع آب آنها به طور مشترک توسط دو یا چند آب بر به مصرف می‌رسد. منشأ مناقشات موجود در مدیریت منابع آب مشترک بین چند آب بر را عمدتاً می‌توان وجود عدم نوعی تقارن در اطلاعات، قدرت و یا موقعیت دانست. مجموعهٔ این نا تقارنی‌ها این امکان را به برخی از ذینفعان داده تا دارای نوعی قدرت استراتژیک در چگونگی تقسیم و استفاده از منابع آب موجود در یک حوضه نسبت به سایرین باشند. گام اول در انجام مسائل تخصیص مشخص کردن و تعیین شرایط و نیازهای موجود منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشد. این نیازها به ۳ نیاز اصلی شهری، کشاورزی و صنعتی تقسیم می‌شوند که مقادیر آنها در استان به صورت کلی در جداول ۱ الی ۳ آورده شده است.

جدول ۱: میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی (منبع: سیمای آب استان قم ۱۳۹۳)

عنوان	مقدار (میلیون متر مکعب)	درصد
میزان آب سطحی مصرفی	۸۸/۰۸	۹/۸
میزان آب زیرزمینی مصرفی	۸۰۳/۴۴	۹۰/۲

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۲: حجم مصرف متوسط ماهانه آب شرب خانگی در استان قم (منبع: دفتر امورمشترکین، شرکت آب و فاضلاب کشور ۱۳۹۳)

	شهری			روستایی				
سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
حجم مصرف (میلیون مترمکعب)	۹/۷	۱۳/۶	۱۰/۴	۱۰/۴	۱/۲	۰/۹	۰/۹	۰/۹
سرانه یک ماه (مترمکعب)	۱۶/۶	۲۲/۶	۱۶/۹	۱۶	۲۴/۴	۱۷/۲	۱۵/۵	۱۳/۵

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳: نیاز آبی صنعت و معدن در استان قم (متر مکعب در سال) (منبع: وزارت نیرو ۱۳۹۱)

نام گروه	نیاز آبی	نام گروه	نیاز آبی
فلزی	۷۴۵۰۳۲	شیمیایی	۸۶۵۷۱۸
سلولزی	۳۹۵۶۸۲	برق و الکترونیک	۱۰۲۹۹۲
خدماتی	۱۲۹۱۷۶	غذایی	۲۷۷۳۳۴۲
نساجی	۲۷۷۸۹۸۳	دامپروری	۱۳۲۲۰۲۱
غیرفلزی	۱۲۱۹۲۹۹	معدن	۱۸۵۰
مجموع نیاز آبی		۱۰۳۳۴۰۹۵	

منبع: یافته‌های پژوهش

از آنجا که مصارف آب در بخش‌های شرب و صنعت به ترتیب در اولویت هستند، کمبود آب در بخش کشاورزی بیشترین نمود را داشته است. رویکرد ناگزیر و غیرقابل اجتناب کشاورزان در رویارویی با کمبود آب، برداشت بیش از حد مجاز از آبخوان‌ها بوده است. برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی اگر چه نتوانسته همه نیازهای بخش کشاورزی را برآورده سازد، ولی به دلیل محدود بودن این منابع، تخریب کمی و کیفی آنها را در پی داشته است. دشت‌های ممنوعه بحرانی، قنات‌های خشک شده و چاه‌های بی‌آب، شورشدن منابع آب، پیامدهای فاجعه‌بار این روند بوده است.

- طرح انتقال آب سد دز به استان قم

بحث انتقال حوضه به حوضه آب یک اصل بسیار حیاتی، مهم و اجرایی در ادبیات آب جهان است. در کشور ما هم به دلیل اینکه آب در قانون اساسی به عنوان یک انتقال و سرمایهٔ ملی تلقی شده است، این اختیار به دولت و وزارت نیرو داده شده که وارد این موضوع بشوند. انتقال حوضه به حوضه آب از دیرباز همیشه از منظر حوضه آبده و آبگیر مباحثه برانگیز بوده است. امروزه حتی در کشورهای پیشرفته نیز اینگونه مباحث همچنان مطرح می‌باشد. در تعداد زیادی از این طرح‌ها در ابتدا مقاومت‌هایی از سوی حوضه آبده در مقابل انجام طرح رخ می‌دهد، اما با تدابیر و توجیهات فنی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی، در بیشتر مواقع دولت‌ها با در نظر گرفتن منافع ملی، متولی انجام این طرح‌ها می‌گردند. با توجه به کاهش حجم آبهای ورودی نسبت به سنوات قبل از احداث سدها و سایر برداشت‌های بالادستی از قمرود قبل از رسیدن به استان، هدف تأمین حقابه از دست رفته به این استان می‌باشد. هدف از اجرای طرح، انتقال ۱۸۱ میلیون متر مکعب آب در سال از سد کوچری جهت تأمین آب شرب شهرهای قم، گلپایگان، خمین، نیم ور و تعدادی از شهرها و روستاهای مسیر و مصارف صنعتی است. از این مقدار حدود ۱۰ میلیون متر مکعب برای شهرها و روستاهای مسیر خط انتقال آب در استان اصفهان و حدود ۱۳ میلیون متر مکعب برای شهرها و روستاهای مسیر خط انتقال آب در استان مرکزی و حدود ۱۴۱ میلیون متر مکعب برای شهرهای قم، ساوه، سلفچگان و روستاهای حومه در نظر گرفته شده است. طول مسیر حدود ۱۹۰ کیلومتر و ظرفیت آن حدود

۶/۵ متر مکعب بر ثانیه است. استان‌های مسیر خط انتقال آب از سرشاخه‌های دز به قمرود نیز از منابع آب انتقالی برای تأمین نیازهای شهرها و روستاهای مسیر خط انتقال آب بهره خواهند برد.

- مدل بهینه‌سازی PSO

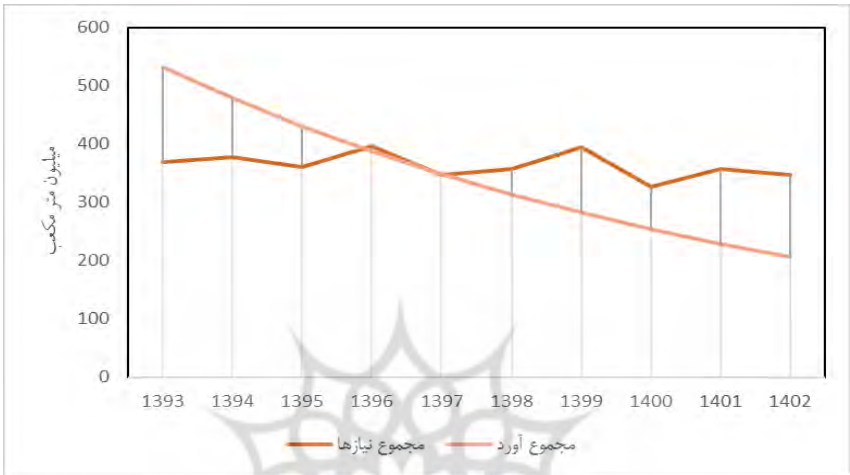
روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Particle Swarm Optimization) یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در ابتدا این الگوریتم به منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز همزمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آنها و تغییر شکل بهینه دسته به کار گرفته شد. در PSO، ذرات در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانایی خودشان و همسایگانشان است. بنابراین موقعیت دیگر ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند. ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانایی بدست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. روش PSO یک الگوریتم روش جستجوی سراسری است که با بهری‌گیری از آن می‌توان با مسائلی که پاسخ آنها یک نقطه یا سطح در فضای n بعدی می‌باشد، برخورد نمود.

نتایج و بحث

- نتایج مدل تخصیص بدون در نظر گرفتن آب انتقالی

مدل تخصیص در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی خطی است که با هدف بیشینه کردن سود اقتصادی خالص ناشی از مصرف آب در بخش‌های مختلف می‌باشد. در این مدل ابتدا بدون در نظر گرفتن اهمیت دشتها و وزن دهی به آنها، مدل اجرا شده است. سپس به کمک وزن‌های به دست آمده از پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای و وزارت جهاد کشاورزی استان، مدل مجدد اجرا شده است و نتایج با یکدیگر مقایسه و ارائه شده‌اند. در مدل مورد مطالعه، ۱۱ متغیر مستقل در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از: نیاز شرب و مصارف خانگی، نیاز کشاورزی دشت قم، دشت مسئله، دشت سلفچگان، شریف آباد و علی آباد، نیاز صنعت، سطح ایستابی آبخوان قم –کهک، دریاچه نمک، شریف آباد و مسئله. هر یک از این متغیرها خود شامل ۱۲۰ متغیر می‌باشد که مقادیر این متغیرها در هر ماه و برای ۱۰ سال آینده می‌باشد. در هر مدل بهینه‌سازی قیدهایی لازم است تعیین شوند. در مورد آب شرب و مصارف خانگی با توجه به اینکه سرانهٔ مصرف ایران بیش از استاندرد جهانی می‌باشد، بنابراین مقدار حداقلی آن برابر استاندارد جهانی و مقدار حداکثری آن را برابر سه برابر مقدار استاندارد جهانی در نظر گرفته شد. برای بهینه‌سازی مدل، از الگوریتم PSO بهره گرفته شده است. همچنین با توجه به تنوع نیازهای آبی، برای هر یک از آنها قیودی مشخص شد. این قیدها برای نیاز شرب مصرف استاندارد جهانی آب شرب، برای نیاز کشاورزی با توجه به سه محصول عمدهٔ کشاورزی منطقه، سطح زیر کشت این محصولات و برای نیاز زیست محیطی، سطح ایستابی آب زیر زمینی در آبخوانهای اصلی منطقه و برای نیاز صنعت، مصرف استاندارد جهانی با توجه به نوع صنایع در نظر گرفته شد. در مدل که برای ۱۰ سال، از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۴۰۲ اجرا شده است، فرض شده است که میزان سطح زمین‌های کشاورزی هر ساله ۵ درصد افزایش یافته و میزان تأمین آب نیز سالیانه درصد کاهش یافته

است. تابع هدف در مدل مورد نظر، مجموع نسبت سود به میزان مصرف‌های مختلف در نظر گرفته شده است. اگر نیازی دارای سود نباشد به صورت عبارتی منفی در مدل معرفی شده است. به کمک مدل بهینه‌سازی، تابع هدف بیشینه شده و مقادیر متغیرها در نتیجهٔ مدل به دست آمده‌اند. در مدل فرض شده است که جمعیت، مساحت زیر کشت و توسعهٔ صنعت به میزان ۵ درصد در سال رشد داشته و این روند برای هر ۱۰ سال، مدت زمان اجرای مدل انجام شده است. در ادامه نتایج حاصل از اجرای مدل در حالتی که آب انتقالی منظور نگردیده است مشاهد می‌شود. همچنین نرخ رشد جمعیت ۵ درصد سالیانه فرض شده است.



شکل ۴: مجموع آورد و نیاز آب در ۱۰ سال و بدون در نظر گرفتن آب انتقالی

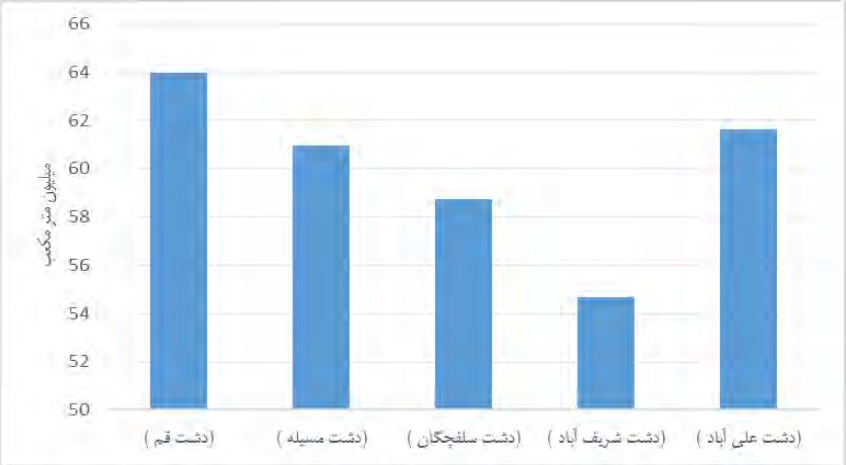
منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل ۴ فرض شده است که میزان آورد آب نسبت به سال قبل آن ۱۰ درصد کاهش داشته باشد. همچنین در محاسبهٔ مقدار آب زیر زمینی فرض شده است که میزان برداشت به میزان تغذیهٔ آن می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، طبق نتایج مدل، تا سال سوم میزان نیازهای آبی از منابع تأمین آب بیشتر می‌باشد اما در سالهای چهارم و پنجم این مقادیر یکسان شده و از سال ششم به بعد میزان تأمین آب بیش از مقدار نیازها می‌باشد. در حقیقت طبق نتایج مدل در حالت بدون در نظر گرفتن آب انتقالی، ازسال ۱۳۹۷ به بعد، مقدار آوردها کمتر از مقدار نیازها بوده و منابع آب موجود قابلیت تأمین نیازها را نخواهد داشت. دلیل این مساله، افزایش جمعیت، افزایش تولید محصولات کشاورزی و صنعت در طول ۱۰ سال آینده و به تبع آن نیاز بیشتر به آب می‌باشد. چنانچه نوع آبیاری دشتها به گونهٔ امروزی باشد این مقادیر قابلیت افزایش نیز دارد.

شکل ۵، مقایسهٔ مقادیر میانگین ۱۰ سالهٔ نیازهای کشاورزی در دشتهای مختلف استان را نشان می‌دهد. دشت شریف آباد کمترین مقدار و دشت قم بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. با توجه به قیود حاکم بر مدل بهینه‌سازی که شامل محدودیت زمین زیر کشت به تفکیک محصول می‌باشد، و با توجه به ایجاد حقابه از این تخصیص، سعی شده است که نتایج به گونه‌ای بهینه تخصیص یابد.

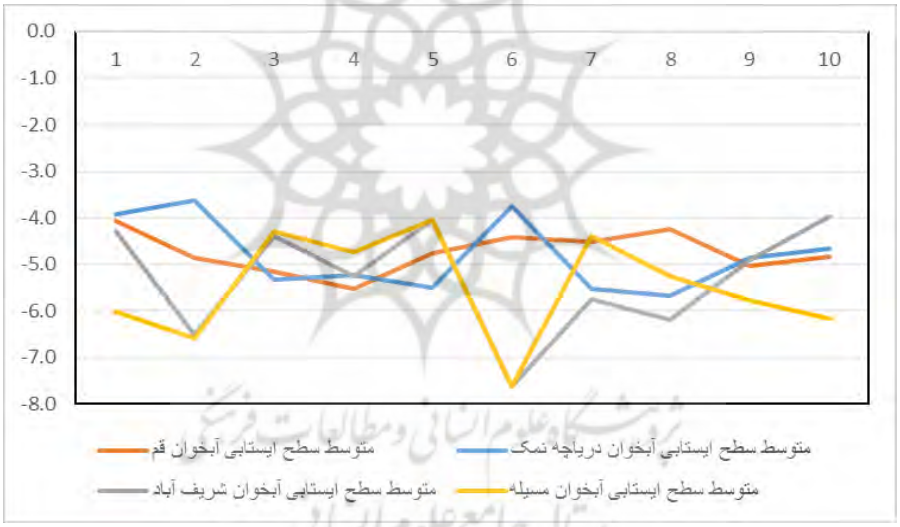
شکل ۶ روند تغییرات متوسط سطح ایستابی در آبخوانهای مختلف استان را نشان می‌دهد. ای نتایج صرفاً آماری بوده و از خروجی مدل بهینه‌سازی حاصل شده‌اند. نتایج مدل تغییراتی حدود ۴ تا ۸ متر را نشان می‌دهد که رقم قابل توجهی می‌باشد. همچنین در انتهای دورهٔ ۱۰ سال این سطح به حدود ۴ تا ۶ متر در آبخوانهای مختلف استان

می‌رسد. این مقادیر بیش از حد مجاز می‌باشد که بیان این مساله است که در مدل مورد نظر بـه دلیـل اهمیـت تـأمین نیازهای آبی، در طول ۱۰ سال میزان برداشت از چاهها بیشتر شده و نیاز بـه تغذیـهٔ آب زیـر زمینـی وجـود خواهـد داشت.



شکل ۵: مقایسهٔ میانگین ۱۰ سالهٔ نیازهای کشاورزی در دشتهای اصلی استان بدون در نظر گرفتن آب انتقالی

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۶: نمودار تغییرات متوسط سطح ایستابی (متر) آبخوان‌های اصلی استان در طی ۱۰ سال بدون در نظر گرفتن آب انتقالی

منبع: یافته‌های پژوهش

- نظرسنجی و تحلیل آماری نتایج

در راستای تحقق اهداف پروژه و دستیابی به نتایج واقعی و دقیق‌تر پرسشـنامه‌ای جهـت نظـر سـنجی از کارشناسـان مجرب منطقه، تهیه شد و در آن سعی بر این بوده تا با طراحی سوالاتی اطلاتی دقیق‌تر در مورد اولویت مصـارف آب در منطقه و همچنین الویت دشت‌های استان جهت تخصیص آب انتقالی بدست آید. در هر نظرسنجی از کارشناسـان درخواست شد تا نظرات خود را در مورد موارد فوق اعلام نمایند.

جهت تحلیل نتایج بدست آمده از نظرسنجی، از شاخصهای مرکزی نظیر مد و میانگین بهـره گرفتـه شـد. بـر اسـاس نتایج به دست آمده از این تحلیل آماری، وزن‌هایی برای متغیرهای مورد نظر در مورد در نظر گرفتـه شـد و مـدل بـر اساس این اولویت‌ها مجدداً اجرا شده است. جهت تعیین وزن‌های متغیرهای مورد بحـث در مـدل بهینـه‌سـازی، بـر

اساس تحلیل آماری ابتدا وزن بالاترین اولویت را برابر ۱ فرض کرده و وزن سایر اولویت‌ها معکوس عدد به دست آمده از تحلیل آماری پرسشنامه‌ها در نظر گرفته شدند که در قالب جدول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که این مقادیر نرمال شده می‌باشند.

جدول ۴: وزن‌های نرمال اولویت‌های مصارف

مصارف	دیدگاه استراتژیک	دیدگاه ارزش آب
شرب	۰/۳۸	۰/۴۳
کشاورزی	۰/۱۱	۰/۱۴
صنعت	۰/۱۹	۰/۲۱
زیست محیطی	۰/۱۳	۰/۱۱
تغذیهٔ سفره زیرزمینی	۰/۱۹	۰/۱۱

منبع: یافته‌های پژوهش

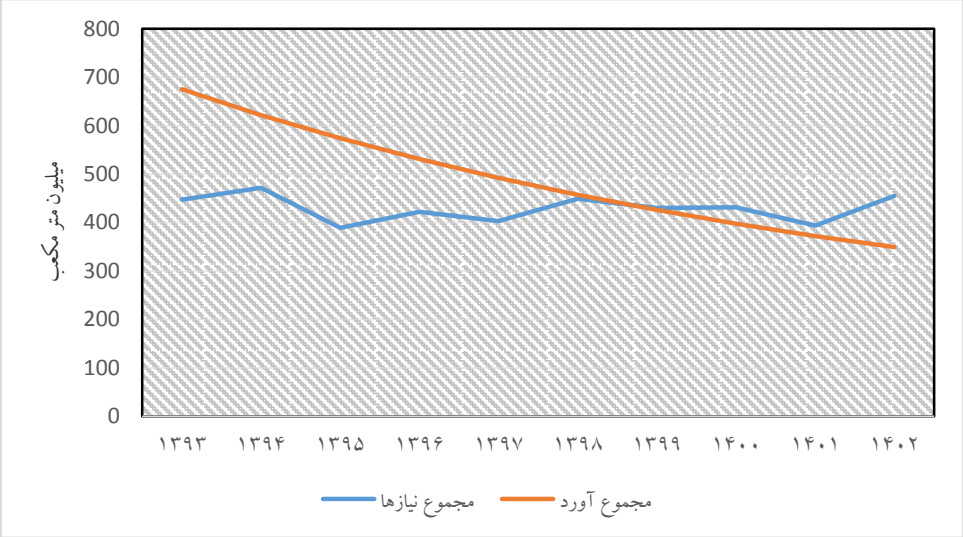
جدول ۵: وزن‌های نرمال اولویت دشتهای استان

دشت	دیدگاه استراتژیک	دیدگاه ارزش آب
قم	۰/۴	۰/۳۶
مسئله	۰/۱	۰/۰۹
سلفچگان-نیزار	۰/۱	۰/۱۲
شریف آباد	۰/۱۳۳	۰/۱۸
علی آباد	۰/۲	۰/۱۸
کوشک-نصرت	۰/۰۶۷	۰/۰۶

منبع: یافته‌های پژوهش

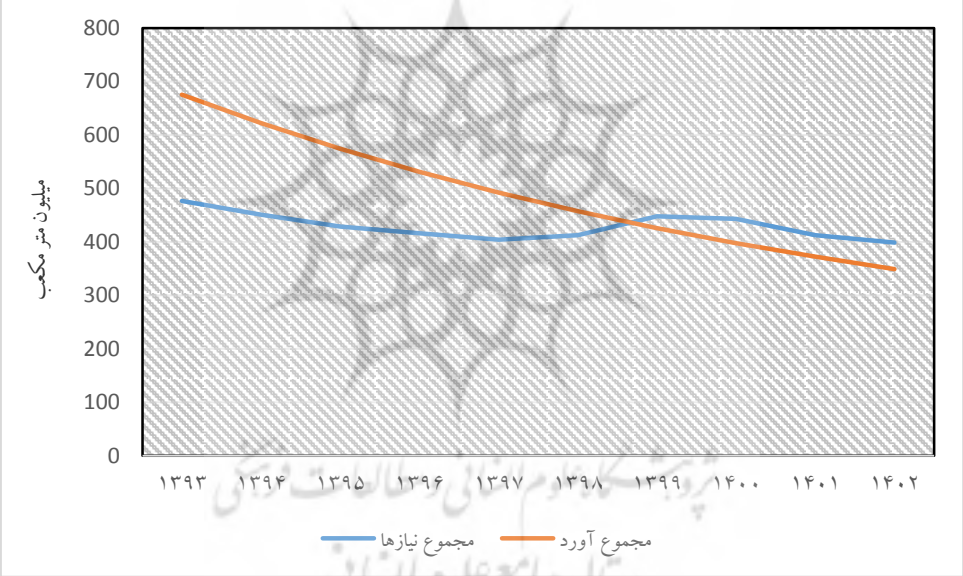
- نتایج مدل تخصیص آب انتقالی با در نظر گرفتن وزن‌ها

با توجه به نتایج تحلیل آماری در بخش قبل و محاسبهٔ وزن متغیرهای اصلی در مدل تخصیص، به تخصیص آب انتقالی از سرشاخهٔ دز پرداخته شده است. در این بخش علاوه بر قیود و شرایط مدل تخصیص در بخش قبل، اقدام به تخصیص آب انتقالی از دودیدگاه مدیریت استراتژیک، ارزش آب می‌پردازد. در مدل جدید وزن‌های محاسبه شده در تابع هدف و قیود تأثیر داده شده و آب انتقالی نیز در محاسبات در نظر گرفته شده است. مدیریت استراتژیک عبارت است از هنر و علم فرمول بندی، اجرا و ارزیابی تصمیمات چندبعدی-با تاکید بر یکپارچه سازی عوامل مدیریت، بازاریابی، امور مالی، تولید یا خدمات، تحقیق و توسعه وسیستم های اطلاعاتی و غیره- جهت رسیدن به اهداف سازمانی. در شکل ۷ مقادیر مجموع نیازها و آوردها به صورت سالیانه. مشاهده می‌شود. نتایج مدل نشان می‌دهد که با توجه به قیود و تابع هدف در مدل، طی ۷ سال اول نیازها برآورده خواهند شد اما طی سالهای هشتم تا دهم مجموع نیازها از مقادیر آورد بیشتر خواهد شد. در محاسبهٔ مقادیر آوردها فرض شده است که به صورت سالیانه ۱۰ درصد با کاهش روبرو می‌شوند. درشکل ۸ مقادیر مجموع نیازها و آوردها به صورت سالیانه. مشاهده می‌شود. نتایج مدل نشان می‌دهد که با توجه به قیود و تابع هدف در مدل، طی ۷ سال اول نیازها برآورده خواهند شد اما طی سالهای هشتم تا دهم مجموع نیازها از مقادیر آورد بیشتر خواهد شد. در محاسبهٔ مقادیر آوردها فرض شده است که به صورت سالیانه ۱۰ درصد با کاهش روبرو می‌شوند.



شکل ۷: مقایسهٔ نیازها و آوردها در مدت ۱۰ سال از دیدگاه مدیریت استراتژیک و با درنظر گرفتن آب انتقالی

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۸: مقایسهٔ نیازها و آوردها در طی ۱۰ سال ازدیدگاه ارزش آب و با در نظر گرفتن آب انتقالی

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری

موضوع آب در کشور، با توجه به وضعیت منابع آب و نحوهٔ توزیع آن در دههٔ اخیر، از اهمیت خاصی برخوردار است. این موضوع تاثیری چشمگیر بر همهٔ فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور دارد و این تأثیر بر اهمیت آن می‌افزاید. بنابراین نیاز به مدیریت بهینهٔ منابع و طرحهای انتقال آب مناسب بیش از پیش احساس می‌شود. در این تحقیق، ابتدا آمار منابع آب، مقادیر آن و نیازهای آبی منطقه تعیین گردید. سپس به کمک مدل بهینه‌سازی PSO، به تخصیص بهینهٔ منابع آب استان در دو حالت پرداخته شده است. در حالت اول برای مصارف و نیازها اولویتی تعیین نگردیده و آب انتقالی از دز نیز لحاظ نشده است. در حالت دوم ابتدا به کمک نظرسنجی از کارشناسان بومی در زمینهٔ موضوع تخصیص، برای نیازها و مصارف اولویت‌هایی تعیین شده، سپس به کمک آنالیز

آماری برای هر یک از نیازها، وزنی تعیین گردید. این نظرسنجی و وزن‌ها بر مبنای دو دیدگاه، مدیریت استراتژیک و ارزش آب، انجام و تعیین گردید. سپس به کمک این وزن‌ها وبا در نظر گرفتن آب انتقالی مدل بهینه‌سازی مجدداً اجرا گردید. خروجی مدل، تعیین بهینهٔ مقادیر مورد نیاز آب، به صورت ماهیانه تعیین شد. نتایج نشان داد که در حالت اول متوسط تخصیص منابع آب موجود به نیاز شرب ۶۲/۴ میلیون مترمکعب در ماه می‌باشد، همچنین متوسط تخصیص به نیازهای کشاورزی دشتهای قم، مسئله، سلفچگان، شریف آباد و علی آباد به ترتیب ۵۵/۷، ۶۰/۹، ۵۶/۹، ۶۱/۲ و ۶۲/۴ میلیون مترمکعب در ماه می‌باشد. متوسط سالیانهٔ نیاز صنعت در این حالت ۵۲/۸ میلیون متر مکعب در ماه می‌باشد. در استان قم، بخش چشمگیری از آب مورد نیاز از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود، از این رو جلوگیری از برداشت مازاد از این منبع، بایستی در مدیریت منابع آب منطقه لحاظ گردد. این موضوع به عنوان یک قید در مدل بهینه‌سازی دیده شده است. در حالت دوم، مدل با در نظر گرفتن آب انتقالی و وزن‌هایی جهت تعیین اولویت مصارف از دو دیدگاه مدیریت استراتژیک و ارزش آب اجرا شد. از دیدگاه ارزش آب مقادیر متوسط تخصیص به نیازهای شرب، دشت قم، دشت مسئله، دشت سلفچگان، دشت شریف آباد، دشت علی آباد و نیاز صنعت به ترتیب برابر ۶۱، ۵۷/۱، ۶۰، ۵۷، ۶۳ و ۵۷، ۵۴ میلیون متر مکعب در ماه می‌باشد. در این حالت مقادیر بهینهٔ تخصیص آب انتقالی به نیازهای مختلف تعیین گردید. متوسط سهم شرب از آب انتقالی ۲/۴ میلیون مترمکعب در ماه به دست آمد. از دیدگاه مدیریت استراتژیک مقادیر متوسط تخصیص به نیازهای شرب، دشت قم، دشت مسئله، دشت سلفچگان، دشت شریف آباد، دشت علی آباد و نیاز صنعت به ترتیب برابر ۶۳، ۵۷، ۶۰، ۵۷، ۶۰ و ۶۳، ۵۴ متر مکعب در ماه می‌باشد. متوسط سهم شرب از آب انتقالی ۲/۶ مترمکعب در ماه به ازای هر نفر به دست آمد. با توجه به هزینه‌های زیادی که در جهت تأمین نیازهای استان و انتقال آب از سرشاخهٔ دز به این استان صورت گرفته است، هدف اصلی این پژوهش تخصیص بهینهٔ منابع آب به بخش‌های مختلف با هدف حداکثر سود حاصل از تخصیص قرار گرفت. با توجه به نتایج مدل بهینه‌سازی که در حالتهای بدون آب انتقالی و با در نظر گرفتن آب انتقالی و اولویت کاربران از دیدگاههای مدیریت استراتژیک و ارزش آب اجرا گردید. نتایج نشان می‌دهد، در حالت بدون انتقال با توجه به وجود قیود کمتر و عدم اولویت‌بندی مصارف، مقدار آب در مجموع بیشتر می‌باشد که این مقدار در دو حالت بعدی با توجه به قیود بیشتر و همچنین تخصیص مقداری از آن به تغذیهٔ سفره‌های زیر زمینی به نصف کاهش یافته است. میزان تخصیص آب کشاورزی به دشتهای استان به جز دشت شریف آباد روند کاهشی داشته و دلیل آن تأثیر وزن‌هایی می‌باشد که در مدل دیده شده است. آب تخصیص یافته به بخش‌های شرب و صنعت با توجه به تخصیص بخشی از آب انتقالی با افزایش روبه رو هستند. اما نکتهٔ مورد توجه در تخصیص آنست که آب مازادی که از منابع آب موجود و آب انتقالی به دست آمده است، صرف تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی در سطح استان شده است تا علاوه بر تأمین بخشی از کمبود آب این سفره‌ها، حقابه ای را برای بخش کشاورزی به وجود نیاورد. برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدلهای چند هدفه عوامل دیگری مانند سطح زیر کشت و الگوی کشت در بهره وری آب لحاظ شود. همچنین پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدلهای عامل مبنا مسائل اجتماعی در نحوه مدیریت منابع آب شبیه‌سازی گردد.

تقدیر و تشکر

این مطالعه با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای قم انجام شده است. بدینوسیله از حمایت آن سازمان و نیز تمام کسانی که در به ثمر رسیدن این مطالعه، همکاری و پشتیبانی نموده‌اند، کمال نشکر و قدردانی را داریم.

منابع

دانش یزدی، م.، احمد 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. آب و فاضلاب، ۲، ۵۷-۴۸.

زینلی، م.ج.، محمدرضاپور، ا. و فروغی، ف. (۱۳۹۴). ارزیابی الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته در بهره برداری بهینه از مخزن سد درودزن. دانش آب و خاک، ۲۵ شماره ۳، ۳۸-۲۷.

وزارت نیرو (۱۳۹۱). مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور، حوضهٔ آبریز دریاچهٔ نمک.

Adami, Ch., Schossau, J. and Hintze, A. (2016). Evolutionary game theory using agent-based methods. Physics of Life Reviews, 19, 1-26.

Bhaduri, A. and Barbier, E.B. (2011). Water Allocation between States in Inter Basin Water Transfer in India. International Journal of River Basin Management, 9(2) 117-127.

Carvalho R.C. and Magrini, A. (2007). A Proposal Indicators for Sustainable Development in the Management of River Basin. Water Resource Management, 22:1191-1202.

Chaves, P., Tsukatani, T., and Kojiri, T. (2004). Operation of Storage Reservoir for Water Quality by using Optimization and Artificial Intelligence Techniques. Math Comput Simul, 67, 419–432.

Chen, Zh, Wang, H. and Qi, X. (2013). Pricing and Water Resource Allocation Scheme for the South-to-North Water Diversion Project in China. Water Resources Management, 27(5): 1457-1472.

Gupta, J. and van der Zaag, P. (2008). Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, sciences and politics interlock. Physics and Chemistry of the Earth 33(1-2): 28-40.

Habibi, M., Banihabib, M.E., Nadjafzadeh, Anvar, A., Hashemi, S.R. (2016). Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. Journal of Hydrology, 533: 430–438.

Kerachian, R. and Karamouz, M. (2006). Optimal Reservoir Operation Considering the Water Quality Issues: A Deterministic and Stochastic Conflict Resolution Approach. Water Resources Research, 42: 1–17.

Li, M., Guo, P. and Sing, P. V. (2016). An efficient irrigation water allocation model under Uncertainty Agricultural Systems, 144: 46–57.

Madani, K. (2010). Game theory and water resources. Journal of Hydrology, 381(3–4): 225–238.

Mahjouri, N. and Ardestani, M. (2010). A game theoretic approach for interbasin water resources allocation considering the water quality issues. Environmental monitoring and assessment, 67(1-4): 527-44

Matete, M. and Hassan, R. (2006). Integrated ecological economics accounting approach to evaluation of inter-basin water transfer: an application to the Lesotho Highlands Water Project. Ecological Economics, 60: 246-59.

Mousavi, S. J., Karamouz, M. and Menhadj, M. B. (2004). Fuzzy-state Stochastic Dynamic Programming for Reservoir Operation. Journal of Water Resources Planning and Management, 130(6): 460–470.

Niksokhan, M.H., Kerachian, R. and Karamouz, M. (2009). A Game theoretic approach for trading discharge permits in rivers. Water Science and Technology, 60(3), 793-804.

Thatte A.A. (2007). Competitive advantage of a Firm through Supply Chain Responsiveness and Supply Chain Management Practices. PhD Dissertation. University of Toledo.

Wei, M.A. (2008). On the Use of Game Theoretic Models for Water Resources Management. PhD Dissertation. Brandenburg University of Technology.

Wei, S. and Gnauck, A. (2014). Water Supply and Water Demand of Beijing - A Game Theoretic Approach for Modeling. Water Research, 44: 2499-2516.

Zhisong et al. (2013). Pricing and Water Resource Allocation Scheme for the South-to-North Water Diversion Project in China. Water Resources Management, 0920-4741.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی