

## تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی حوضه زرینه‌رود به کمک

### روش نش نامتقارن

مهدی ضرغامی، نسیم صفاری\*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۰

#### چکیده

تخصیص نادرست منابع محدود آب، از علت‌های عمده ایجاد تنش و درگیری بین ذینفعان یک حوضه آبریز می‌باشد. در این زمینه استفاده از مدل‌های حل اختلاف یک راهکار مناسب در تخصیص آب به ویژه برای مصرف‌کننده عمده یعنی بخش کشاورزی می‌باشد. لذا در این تحقیق، مسئله حل اختلاف در قالب یک مدل مبتنی بر نظریه بازی ارائه شده و تابع نش نامتقارن به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. تابع مطلوبیت بخش‌های مختلف به صورت غیر خطی مدل شده است. مدل یاد شده در محل سد شهید کاظمی واقع در حوضه رودخانه زرینه‌رود مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل به کمک الگوی ژنتیک حل شده است و میزان بهینه سهم ذینفعان منابع آب این رودخانه در سه پیش فرض مختلف (بر مبنای اهمیت بخش‌های مصرف‌کننده) در دوازده ماه سال استخراج و ترسیم شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، میزان بهینه در بهره‌برداری از منابع آب حوضه وابسته به اهمیت وزن بخش‌های مصرف‌کننده می‌باشد. در صورت اهمیت برابر سهم بخش‌های کشاورزی، آشامیدن، صنعت و محیط زیست در افق سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر ۷۸۰، ۳۲۳، ۷۸ و ۵۰۱ میلیون متر مکعب می‌باشد و در شرایط اهمیت نسبی برابر سهم استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان و دریاچه ارومیه از منابع آب قابل دسترس حوضه به ترتیب ۳۸، ۱۷، ۱۶ و ۳۹ درصد خواهد بود.

طبقه‌بندی JEL: D۷۰، C۷۰، D۶۱، Q۲۵

کلید واژه: تخصیص آب، نظریه بازی‌ها، تعادل نش نامتقارن، زرینه‌رود، بخش کشاورزی.

\* به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری دانشکده عمران دانشگاه تبریز

## مقدمه

محدودیت منابع آب تجدیدشونده در سطح کشور و نیازهای روزافزون برای مصرف آب در بخش‌های مختلف، بر اهمیت و حساسیت مدیریت منابع آب افزوده است. برای مدیریت کارآمد و استفاده بهینه آب بایستی به تخصیص بهینه و اولویت‌بندی آن بین بخش‌ها و مصارف مختلف توجه نمود. تامین هدف‌های مختلف و در عین حال متضاد در مدیریت منابع آب نیاز به ابزار مناسب برنامه‌ریزی دارد. امروزه مدل‌های رفع اختلاف که امکان در نظر گرفتن دیدگاه‌های تصمیم‌گیرندگان مختلف در یک نظام را فراهم می‌سازند، به تدریج جایگزین مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌شوند. به همین منظور استفاده از مدل‌های حل اختلاف که با استفاده از توابع مطلوبیت ذینفعان مختلف به ارائه مناسب‌ترین نقطه تصمیم‌گیری می‌پردازند، به عنوان یک راهکار مناسب برای مسائل حل اختلاف می‌باشند.

در این زمینه کراچیان و کارآموز (۲۰۰۷) مدل‌های رفع اختلاف غیر قطعی را برای بهره‌برداری کمی و کیفی از سامانه‌های مخزن و رودخانه- مخزن ارائه دادند. گنجی و همکاران (۲۰۰۷) برای حل اختلاف از یک مدل پویای غیر قطعی بازی نش با اطلاعات کامل استفاده کرده است. سالازار و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از نظریه بازی‌ها به حل اختلاف در بهره‌برداری از آب زیرزمینی در مکزیک پرداختند. آتوی و چولیز مسئله تخصیص آب حوضه آبریز رودخانه اردن را بین اسرائیل و کشورهای عرب با استفاده از مدل نش نامتقارن بررسی کرده‌اند. ویی و همکاران (۲۰۱۰) از یک مدل مبتنی بر نظریه بازی‌ها برای بررسی حل اختلاف در مورد پروژه انتقال آب در چین استفاده کردند. کراچیان و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل بازی فازی برای حل اختلاف میان مصرف‌کنندگان آب و نیازهای زیست محیطی ارائه کردند. صادق و همکاران (۲۰۱۰) الگویی را برای انتقال آب بین حوضه ای تدوین کرده‌اند.

نوروزیان و کراچیان (۱۳۸۹) با استفاده از مدل حل اختلاف رایبشتین، نقطه بهینه روی منحنی تبادل در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد ۱۵ خرداد را تعیین کردند. همچنین، بقایی و همکاران (۱۳۸۹) با تلفیق مدل همانندسازی کمی و کیفی مخزن و یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه الگوی ژنتیک، منحنی تبادل بین هدف‌های کمی و کیفی ارائه نمودند. صالحی و همکاران (۱۳۸۹)، به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت تایباد و تعیین میزان برداشت بهینه از ذخایر آب‌های زیرزمینی از از چهار روش نظریه‌ی بازی شامل راه حل نامتقارن نش، راه حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای، راه حل نامتقارن مساحت یک نواخت و راه حل نامتقارن زیان

## تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی...۱۰۹

یکسان استفاده کردند. غفاری مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، مدل تخصیص دومرحله‌ای آب را به عنوان یک مدل جامع برای تخصیص کارا و منصفانه آب در یک حوزه رودخانه طراحی کرده‌اند. مرحله اول، تخصیص اولیه آب، که با استفاده از مدل لکسیکوگرافیکی کمینه- بیشینه نسبت کمبود آب، آب بین مصرف‌کنندگان تخصیص داده شده است و مرحله دوم، تخصیص دوباره آب و منافع خالص از راه انتقال آب حوزه رودخانه و نظریه بازی مشارکتی می‌باشد. کوچ محمدلو (۲۰۱۲)، با ترکیب دو مفهوم نظریه بازی‌ها و جبهه پارتو روشی را برای تخصیص منابع آب در حوضه دجله و فرات ارائه کرده است. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده کارایی روشهای مبتنی بر نظریه بازی و محدودیت‌های مربوطه در یافتن راه حل امکان پذیر در فضای جبهه پارتو می‌باشد. صفاری و همکاران (۲۰۱۳)، روش جدیدی را بر پایه نظریه بازی‌ها برای حل اختلاف و حل مسئله تخصیص منابع آب در بین مصرف‌کنندگان و تامین‌کنندگان آب با در نظر گرفتن نیازهای زیست‌محیطی ارائه کرده‌اند. یک مدل رهبر-پیرو دو مرحله‌ای برای بیشینه‌سازی سود سامانه به کار برده شده است ولی تابع مطلوبیت و اولویت‌های مختلف بخش‌های مصرف‌کننده در این بررسی لحاظ نشده است. بررسی موردی این تحقیق، حوضه آبریز زربینه رود می‌باشد. در این مدل، عامل‌های موثر بر سودآوری بازیکنان، گزینش راهبردی قیمت و میزان آب معرفی شده است. نتایج مقایسه این مدل با مدل چانه‌زنی نش، نشان‌دهنده افزایش سود رهبر در مدل رهبر-پیرو در مقایسه با مدل چانه‌زنی نش می‌باشد.

به رغم توانایی تحقیقات گذشته، استفاده از مدل نش نامتقارن به طور همزمان با لحاظ کردن ذینفعان داخل حوضه هم از دید استان‌ها (تقسیم‌بندی سیاسی) و هم بخش‌ها (تقسیم‌بندی نوع مصرف) به ویژه داخل ایران در تحقیقات دیده نشده است.

حوضه آبریز زربینه رود، یکی از قطب‌های کشاورزی ایران و بزرگترین زیرحوضه حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی کشور و دومین دریاچه آب شور جهان، در سال‌های اخیر به علت تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری‌های بیش از حد استان‌های ذینفع حوضه از رودخانه‌های جاری به دریاچه و پائین بودن بازده کشاورزی با شرایط بحرانی روبه رو شده است. در برخی مناطق حوضه دریاچه ارومیه، به دلیل گسترش فعالیت‌های کشاورزی و توسعه شهری، تراز آب زیرزمینی تا ۱۶ متر افت کرده است و سطح آب دریاچه هم اکنون ۲ الی ۳ متر پایین‌تر از تراز بحرانی است (ضرغامی، ۲۰۱۱). جلوگیری از نابودی این دریاچه در صورتی امکان‌پذیر خواهد بود که برنامه‌ریزی اصولی و درستی در بهره‌برداری از منابع

تامین‌کننده آب دریاچه تدوین و اجرا شود. کمبود آب در این حوضه باعث ایجاد تنش‌ها و درگیری‌هایی در بین بخش‌های مصرف‌کننده شده است. استفاده بهینه از منابع آب این رودخانه و تامین آب مورد نیاز در بخش‌های کشاورزی، آشامیدن و صنعت به عنوان عامل موثر و مهمی در حفظ موجودیت دریاچه به شمار می‌آید و کنترل، حسابرسی و تخصیص آب قابل برداشت حوضه آبریز زرینه رود نیز ضرورت دارد. بی توجهی به این ضرورت، علاوه بر هدررفت سرمایه‌های ملی (طرح‌های بهره‌برداری و اجرایی)، موجب ایجاد یا تشدید درگیری‌های منطقه ای در حوضه آبریز و بروز چالش‌های زیست محیطی و در نتیجه ناپایداری بهره‌برداری از منابع آب در حوضه آبریز خواهد بود. در چنین شرایطی یک روش حل اختلاف که علاوه بر در نظر گرفتن مطلوبیت مصرف‌کنندگان مختلف حوضه و نیازهای زیست محیطی، توانایی مدل‌سازی اولویت‌های متفاوت برای بخش‌های ذینفع را داشته باشد، یک راه حل مناسب برای تصمیم‌گیری در بهره‌برداری بهینه از منابع این حوضه می‌باشد. در این پژوهش پس از ارزیابی و برآورد منابع آب موجود در محل طرح‌ها و نگرش دقیق به میزان منابع و مصارف در بخش‌های مختلف موجود در حوضه آبریز به تخصیص منابع و حل اختلاف بین مصرف‌کنندگان با استفاده از نظریه بازی پرداخته می‌شود و برپایه اصول نظریه بازی‌ها، تابع هدف با استفاده از تابع نش نامتقارن مدل شده و شکل تابع مطلوبیت ذینفعان به صورت غیر خطی تحلیل شده است.

### روش تحقیق

اغلب مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب با مسئله وجود هدف‌های متضاد همراه است. تضاد بین هدف‌ها به روش ریاضی، با مجموعه‌ی  $(H, d)$ ، تعریف می‌شود که  $H \subseteq R^2$  مجموعه‌ای از منافع ممکن و  $d \in R^2$  مجموعه بدترین نتایج ممکن می‌باشد. نظریه حل اختلاف نش (نش، ۱۹۵۳) یکی از معمول‌ترین روش‌هایی است که برای حل اختلاف‌ها به کار برده می‌شود.

در زمینه یافتن راهکاری برای مسائل حل اختلاف، راه حل نش نامتقارن توسط هارسانی و سلتن در سال ۱۹۷۲ معرفی شد که برپایه اهمیت هر یک از هدف‌ها، وزن‌های نابرابری نسبت داده می‌شود. فرض شود که  $n$  تصمیم‌گیر وجود دارند و  $X$  فضای تصمیم‌گیری و  $f_i$  تابع هدف یا تابع مطلوبیت تصمیم‌گیر  $i$  ام باشد. فضای هدف به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H = \{u_i = f_i(x), x \in X\} \quad (1)$$

همچنین فرض می‌شود که همه تصمیم‌گیرندگان در بیان تابع مطلوبیت خود، یک کمینه مطلوبیت را تعیین می‌کنند که مقادیر کمتر از آن برای تصمیم‌گیر به هیچ وجه قابل قبول نمی‌باشد. این مقدار از تابع هدف، نقطه نبود توافق نامیده می‌شود. اگر  $f_i^*$ ، نقطه نبود توافق برای تصمیم‌گیر نام باشد،  $f_i = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*)$  بردار نبود توافق تصمیم‌گیرندگان نامیده می‌شود. نش ثابت می‌کند که اگر  $H$  محدب، بسته و محدود باشد در این صورت تنها یک پاسخ  $(\varphi(H, d))$ ، برای مسئله حل اختلاف وجود خواهد داشت که از حل مسئله بهینه‌سازی زیر به دست می‌آید (هارسانی و سلتن، ۱۹۷۲):

$$\text{Maximize } (f_1 - d_1)^{w_1} (f_2 - d_2)^{w_2} \dots (f_n - d_n)^{w_n} \quad (2)$$

$$f_i \geq d_i \quad i=(1, 2, \dots, n) \quad (f_1, f_2, \dots, f_n) \in H$$

در رابطه بالا توان‌های  $w_1, w_2, \dots, w_n$  نشان‌دهنده وزن نسبی مصرف‌کنندگان و توان نسبی تصمیم‌گیرندگان می‌باشند.

### معرفی منطقه مورد مطالعه و الگوی تجربی تحقیق

حوضه آبریز رودخانه زرینه‌رود با گستره‌ای بالغ بر ۱۱۵۷۸ کیلومتر مربع در شمال غربی ایران واقع شده است (نگاره ۱). از نظر تقسیمات کشوری این زیر حوضه در محدوده استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و زنجان قرار گرفته، ولی بیشترین سهم این زیر حوضه متعلق به استان آذربایجان غربی می‌باشد. رودخانه زرینه‌رود از کوه‌های چهل چشمه کردستان سرچشمه می‌گیرد و از گوشه جنوب شرقی به دریاچه ارومیه می‌ریزد. طول رودخانه ۲۴۰ کیلومتر است و میانگین آبدهی این رودخانه ماهانه ۱۳۹/۵ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۹). بر روی رودخانه زرینه‌رود سد مخزنی شهید کاظمی در سال ۱۳۵۰ ساخته شده است که به نام سد زرینه‌رود نیز شناخته می‌شود. این سد در استان آذربایجان غربی و در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بوکان قرار گرفته و بند انحرافی نوروز لو در ۷۰ کیلومتری پایین دست سد مخزن ساخته شده است و آب مورد نیاز کشاورزی جلگه میاندوآب و بخشی از دشت‌های بناب و ملکان را تامین می‌کند. سطح ناخالص کشاورزی این شبکه برابر ۶۴۶۷۰ هکتار می‌باشد که از این مساحت ۵۸۱۷۱ هکتار قابل آبیاری می‌باشد (کارگروه آب و کشاورزی، ۱۳۸۹). حجم مرده مخزن سد شهید کاظمی برابر ۱۳۵ میلیون متر

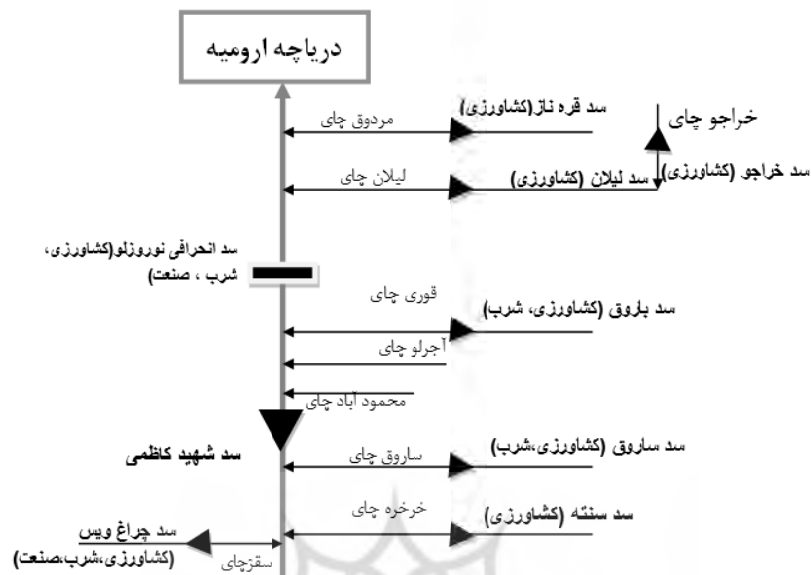
مکعب می‌باشد. علاوه بر مصارف کشاورزی، رودخانه زرینه‌رود تامین‌کننده بیش از ۴۰ درصد آب آشامیدنی شهر تبریز می‌باشد.



نگاره (۱) موقعیت حوضه آبریز زرینه رود

در مدل‌سازی منابع آبی رودخانه زرینه‌رود، سال ۱۴۰۰ به عنوان افق طرح در نظر گرفته شده است. در شرایط آبی علاوه بر سد شهید کاظمی، سدهای لیلان، قره‌ناز، باروق، خراجو، چراغ ویس، سنه و ساروق بترتیب بر روی رودخانه‌های لیلان‌چای، مردق‌چای، قوری‌چای، خراجوچای، سقز، خرخره و ساروق که در شرایط موجود در دست مطالعه و طراحی هستند، در مدل حوضه ملحوظ شده است. هدف‌های عمده بهره‌برداری از این سدها بیشتر گسترش فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. خط دوم انتقال آب رودخانه زرینه‌رود به شهر تبریز که هدف آن تصفیه و انتقال آب آشامیدنی ۲۴ شهر و ۳۳۷ روستا و همچنین تامین آب مورد نیاز مراکز صنعتی واقع در امتداد مسیر خط آبرسانی از زرینه‌رود تا تبریز می‌باشد نیز در مدل آبی حوضه در نظر گرفته شده است. شکل کلی سامانه منابع آب حوضه و مصارف مختلف در نگاره ۲ نشان داده شده است.

تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی... ۱۱۳



نگاره (۲) شکل کلی سامانه منابع آب حوضه و مصارف مختلف در شرایط آبی (۱۴۰۰)

در این تحقیق حل اختلاف در بهره‌برداری بهینه منابع آب حوضه زرينه‌رود با استفاده از تابع هدف نش نامتقارن و تابع‌های مطلوبیت قابلیت اطمینان تامین آب مورد نیاز ماهانه بخش کشاورزی، آشامیدنی، صنعت و نیاز زیست محیطی در شرایط موجود و آینده مدل شده است. با توجه به نرمال‌سازی مقادیر تابع مطلوبیت، کمینه مطلوبیت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. محدودیت‌های مسئله شامل رابطه پیوستگی جریان در مخزن و رعایت کمینه و بیشینه ظرفیت مخزن می‌باشد. ساختار مدل بهینه‌سازی به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Maximize } (f_{agr,t}(Q_{agr,t}) - d_{agr,t})^{w_{agr}} (f_{env,t}(Q_{env,t}) - d_{env,t})^{w_{env}}$$

$$(f_{ind,t}(Q_{ind,t}) - d_{ind,t})^{w_{ind}} (f_{dom,t}(Q_{dom,t}) - d_{dom,t})^{w_{dom}}$$

S.t:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - (Q_{agr,t} + Q_{env,t} + Q_{ind,t} + Q_{dom,t}) \quad (3)$$

$$S_{min} \leq S_{t+1} \leq S_{max} \quad t = 1:12$$

که در تابع بالا  $f_{ind,t}, f_{dom,t}, f_{env,t}, f_{agr,t}$  به ترتیب بیانگر تابع مطلوبیت مربوط به بخش کشاورزی، نیاز زیست محیطی، نیاز آب آشامیدنی و نیاز بخش صنعت در دوره  $t$  ام و

نیاز زیست محیطی، نیاز آب آشامیدنی و نیاز بخش صنعت در دوره  $t$  ام و  $Q_{ind,t}, Q_{dom,t}, Q_{env,t}, Q_{agr,t}$  نشانگر آب تخصیص یافته مربوط به تامین نیاز بخش کشاورزی، نیاز زیست محیطی، آب آشامیدنی و بخش صنعت در دوره  $t$  ام می باشد.  $d_{ind,t}, d_{dom,t}, d_{env,t}, d_{agr,t}$  بیانگر کمینه مطلوبیت قابل قبول تامین آب کشاورزی، نیاز زیست محیطی، آب آشامیدنی و بخش صنعت در دوره  $t$  ام می باشد.  $W_{ind}, W_{dom}, W_{env}, W_{agr}$  اهمیت نسبی بخش کشاورزی، نیاز زیست محیطی، آب آشامیدنی و بخش صنعت و  $S_t$  ذخیره اولیه مخزن در ماه  $t$  ام می باشد.  $Q_t$  حجم آب ورودی به مخزن در دوره  $t$  ام (نگاره ۳)،  $S_{t+1}$  آب ذخیره شده در دوره  $t$  ام،  $S_{min}$  حجم مرده مخزن و  $S_{max}$  بیشینه ذخیره ممکن مخزن را نشان می دهد.



نمودار (۱) حجم آب ورودی به سد شهید کاظمی در ماه‌های مختلف در سال ۸۸

در مرحله بعدی مدل حل اختلاف بین سه استان ذینفع، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان و همچنین با در نظر گرفتن دریاچه ارومیه به عنوان ذینفع زیست محیطی با استفاده از توابع مطلوبیت هر یک از این ذینفعان ساخته شده است. ساختار مدل بهینه‌سازی بین ذینفعان به صورت زیر بیان می شود:

$$\text{Maximize } (f_{1,t}(Q_{1,t}) - d_{1,t})^{w_1} (f_{2,t}(Q_{2,t}) - d_{2,t})^{w_2} (f_{3,t}(Q_{3,t}) - d_{3,t})^{w_3} (f_{4,t}(Q_{4,t}) - d_{4,t})^{w_4}$$

$$S.t: \tag{4}$$

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - (Q_{1,t} + Q_{2,t} + Q_{3,t} + Q_{4,t})$$

$$S_{min} \leq S_{t+1} \leq S_{max}$$

که در تابع بالا  $f_{1,t}, f_{2,t}, f_{3,t}, f_{4,t}$  به ترتیب تابع مطلوبیت مربوط به تامین نیاز آبی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و دریاچه ارومیه در دوره  $t$  ام،



آذربایجان غربی، کردستان و دریاچه ارومیه در دوره  $t$  ام  $d_{1,t}, d_{2,t}, d_{3,t}, d_{4,t}$  و کمینه مطلوبیت قابل قبول تامین آب استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و دریاچه ارومیه در دوره  $t$  ام می‌باشد.  $w_1, w_2, w_3, w_4$  نشانگر اهمیت نسبی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و دریاچه ارومیه،  $S_t$ ، ذخیره مخزن در آغاز دوره  $t$  ام،  $Q_t$ ، حجم آب ورودی به مخزن در دوره  $t$  ام و  $S_{t+1}$  بیانگر ذخیره مخزن در دوره  $t$  ام می‌باشد. این نوع حل مساله که در واقع ذینفعان هم از دید بخشی و هم از دید استانی تقسیم شده باشند، نوآوری تحقیق به شمار می‌آید.

تابع مطلوبیت برای هر مصرف‌کننده تابعی است که دامنه آن، کمیت آب اختصاص یافته به آن و برد آن میزان رضایت مصرف‌کننده را نشان می‌دهد و بازه آن بین صفر و یک می‌باشد. برای محاسبه تابع مطلوبیت بر پایه آمار و اطلاعات به دست آمده از منابع مختلف و نظرات کارشناسان متخصص سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان غربی، حد پائین و بالا برای نیازهای آبی ماهانه مختلف بدست آمده است. بر مبنای این کمینه و بیشینه نیازها برای بخش-های مختلف، تابع هیپربولیک به عنوان تابع مطلوبیت مناسب تشخیص داده شده است (ضرغامی، ۲۰۱۰). توابع مطلوبیت برای ماه‌های مختلف سال با توجه به آمار مصارف سال‌های قبل و در نظر گرفتن نیازهای آبی بخش‌های مختلف به صورت تابع هیپربولیک با صورت کلی رابطه (۵) محاسبه شده است. تابع مطلوبیت مصرف‌کننده  $i$  در ماه  $t$  ام و  $Q_{i,t}$  میزان آب تخصیص یافته به مصرف‌کننده  $i$  در ماه  $t$  ام می‌باشند. ضرایب  $a, b, c, d$  ضرایب ثابت و تعیین شده توسط رگرسیون برای هر یک از مصرف‌کنندگان می‌باشند.

$$f_{i,t} = a \cdot \tanh(b \cdot Q_{i,t} - c) + d \quad (5)$$

در این تحقیق منحنی پارتو برای نمایش نقاط بهینه نامغلوب استفاده می‌شود. برای حل مساله از الگوی بهینه‌سازی ژنتیک که یکی از روش‌های موثر حل مسائل بهینه‌سازی است استفاده شده است. بدین طریق بهترین نقطه روی منحنی پارتو با استفاده از راه حل نش نامتقارن و با در نظر گرفتن اهمیت‌های نسبی مختلف برای هر یک از بخش‌ها به دست می‌آید. سه پیش فرض مختلف برای مدل‌سازی تعریف شده است. در پیش فرض اول، بیشترین اهمیت به بخش کشاورزی داده شده است. در پیش فرض دوم برای کل مصارف اهمیت یکسان در نظر گرفته شده است و پیش فرض سوم بر مبنای اولویت بخش محیط زیست تعریف شده است. وزن‌های

مصرف‌کنندگان مختلف در هر پیش فرض در جدول (۱) آورده شده است. نقطه بدست آمده نشان‌دهنده میزان بهینه تخصیص یافته به هر یک از مصارف خواهد بود. در آغاز میزان مصارف و تابع مطلوبیت هر یک از بخش‌های مصرفی توضیح داده می‌شود.

جدول (۱) اهمیت نسبی هر یک از مصارف

اهمیت نسبی	کشاورزی	شرب	صنعت	محیط زیست
پیش فرض ۱	۰/۵	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۰
پیش فرض ۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
پیش فرض ۳	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۵۰

### توابع مطلوبیت برای مصارف مختلف رودخانه زرينه‌رود در محل سد شهید کاظمی در شرایط موجود

مصرف کشاورزی: در حدود ۹۰ درصد از آب برداشت شده از رودخانه زرينه رود متعلق به مصارف کشاورزی می‌باشد. تابع مطلوبیت این بخش برپایه قابلیت اطمینان تامین آب با کیفیت مناسب برای کل نیازهای کشاورزی در شرایط موجود ساخته می‌شود. نیاز سالانه بخش کشاورزی برای شبکه کنونی زرينه‌رود در شرایط موجود ۵۵۵ میلیون متر مکعب و کل نیازهای آبی با در نظر گرفتن طرح‌های توسعه شبکه زرينه رود ۹۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۹).

مصرف زیست محیطی: هدف اصلی در این بخش تامین آب با کیفیت و کمیت مناسب برای نیاز زیست محیطی رودخانه زرينه‌رود و دریاچه ارومیه می‌باشد. کمینه این نیاز زیست محیطی سالانه برابر ۴۲۰ میلیون متر مکعب می‌باشد (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۵).

مصارف آب آشامیدنی: هدف اصلی در این بخش تامین آب برای کل نیازهای آب آشامیدنی می‌باشد. طرح آبرسانی شهر تبریز از حدود ۱۵ کیلومتری شهر میاندوآب آغاز شده و تا شهر تبریز ادامه دارد. هدف‌های این طرح عبارت‌اند از تصفیه و انتقال ۵ متر مکعب بر ثانیه برای مصارف آشامیدنی و بهداشت شهرها و روستاهای تبریز، میاندوآب، بناب و آذرشهر. بیشینه ظرفیت سالانه انتقال آب شرب به شهر تبریز بر پایه مقادیر طراحی ۱۵۷ میلیون متر مکعب می‌باشد ولی میزان واقعی آن بر پایه میانگین ۵ ساله عملکرد (از سال ۸۸-۸۴) معادل ۹۱/۷۱ میلیون متر مکعب می‌باشد.

## تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی...۱۱۷

**مصارف آب بخش صنعت:** هدف اصلی در این بخش تامین آب برای کل نیازهای بخش صنعت می‌باشد. از هدف‌های دیگر خط انتقال آب آشامیدنی تبریز تامین آب مورد نیاز مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، نیروگاه حرارتی تبریز، نیروگاه سهند و شهرک شهید سلیمی می‌باشد. در ماه‌های فروردین تا مرداد نیاز آبی بخش صنعت برابر صفر می‌باشد. در ادامه میزان نیازها برای سال‌های آتی یعنی افق سال ۱۴۰۰ بررسی می‌شود.

**مصرف کشاورزی:** نیاز سالانه بخش کشاورزی برای شبکه کنونی زرینه‌رود با سطح زیر کشت ۷۱۰۰۰ هکتار در شرایط آبی ۷۵۰ میلیون متر مکعب و کل نیازهای آبی با در نظر گرفتن طرح‌های توسعه با سطح زیر کشت ۱۲۷۰۰۰ هکتار در شرایط آبی ۱۳۰۵ میلیون متر مکعب می‌باشد ( وزارت نیرو، ۱۳۸۹).

**مصرف زیست محیطی:** تابع مطلوبیت این بخش برپایه قابلیت اطمینان تامین آب برای نیازهای زیست محیطی در افق سال ۱۴۰۰ ساخته می‌شود. نیاز زیست محیطی سالانه رودخانه زرینه‌رود ۴۲۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. با توجه به این مسئله که کمینه نیاز آبی دریاچه ارومیه در حدود ۳۰۸۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است ( کارگروه آب و کشاورزی، ۱۳۸۹). برپایه میزان آبدهی سطحی زیرحوضه‌های مختلف، زیر حوضه زرینه‌رود تامین‌کننده حدود ۳۹ درصد از نیاز آبی دریاچه می‌باشد، برای ادامه موجودیت بوم‌شناسی دریاچه ارومیه در شرایط آبی میزان آبدهی رودخانه زرینه‌رود به دریاچه ارومیه باید در حدود ۱۲۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد.

**مصارف آب آشامیدنی:** با توجه به چالش‌های موجود در آب آشامیدنی تبریز و رشد جمعیت خط دوم انتقال آب رودخانه زرینه‌رود به شهر تبریز بطول ۴۷ کیلومتر نیز آغاز شده است. این طرح تامین‌کننده بخشی از نیازهای آب برای ۲۵ سال آینده شهر تبریز خواهد بود.

**مصارف آب بخش صنعت:** هدف اصلی در این بخش تامین آب برای کل نیاز بخش صنعت در آینده می‌باشد. از هدف‌های دیگر خط انتقال آب آشامیدنی تبریز تامین آب مورد نیاز مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، نیروگاه حرارتی تبریز، نیروگاه سهند، شهرک‌های صنعتی تبریز، بناب، شبستر و صوفیان، شهید سلیمی و کارخانه تفلین می‌باشد.

## روش گردآوری اطلاعات

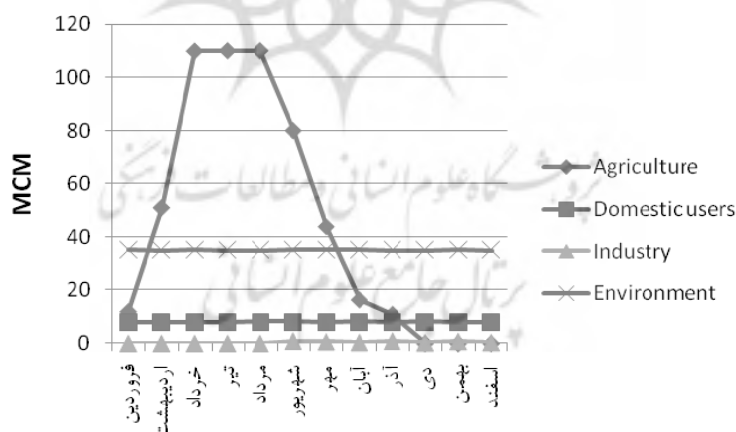
داده‌های مورد استفاده در این بررسی از منابع مختلفی گردآوری شده است. داده‌های مربوط به مصارف و نیازهای کشاورزی، آشامیدنی و صنعت از گزارش بهنگام‌سازی طرح جامع آب و همچنین با نظرخواهی از کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی به دست آمده است. اطلاعات مرتبط با بخش محیط‌زیست نیز از مطالعات پیامدهای زیست‌محیطی و بسته معلومات حفاظت از تالاب‌های ایران گزینش شده است.

## نتایج و بحث

مدل ۳ به کمک روش الگوی بهینه‌سازی ژنتیک در محیط نرم افزار MATLAB حل شده است و نتایج اجرای آن بر حسب میلیون متر مکعب در ماه در شرایط موجود برپایه وزن‌های مختلف مصرف‌کنندگان (جدول ۱) در نگاره‌های ۴، ۵ و ۶ آورده شده است.

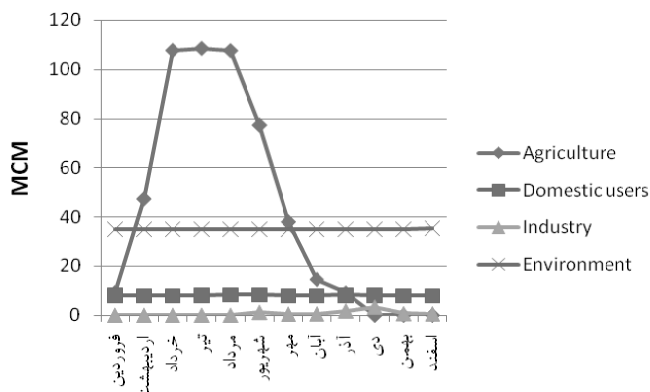
جدول (۲) اهمیت نسبی هر یک از مصارف

اهمیت نسبی	کشاورزی	شرب	صنعت	محیط زیست
پیش فرض ۱	۰/۵	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۰
پیش فرض ۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
پیش فرض ۳	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۵۰

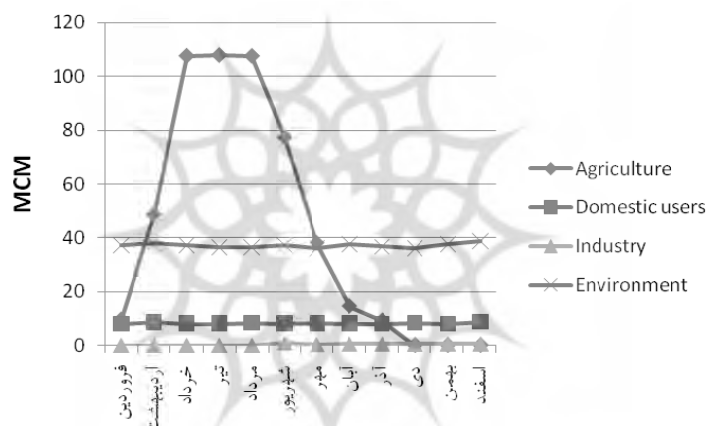


نمودار (۲) سهم بهینه هر یک از مصارف در شرایط موجود (پیش فرض ۱)

### تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی...۱۱۹

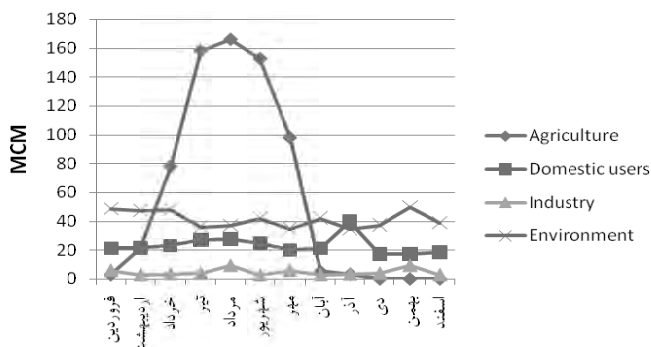


نمودار (۳) سهم بهینه هر یک از مصارف در شرایط موجود (پیش فرض ۲)

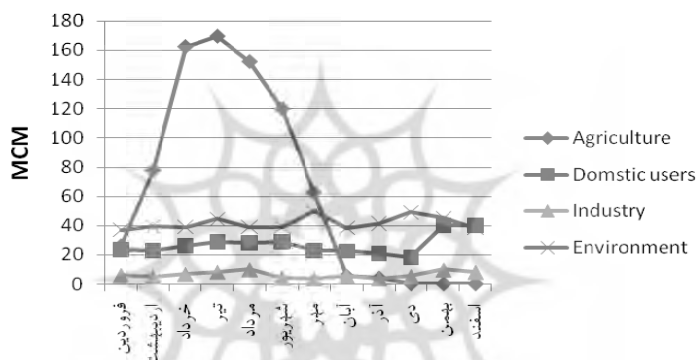


نمودار (۴) سهم بهینه هر یک از مصارف در شرایط موجود (پیش فرض ۳)

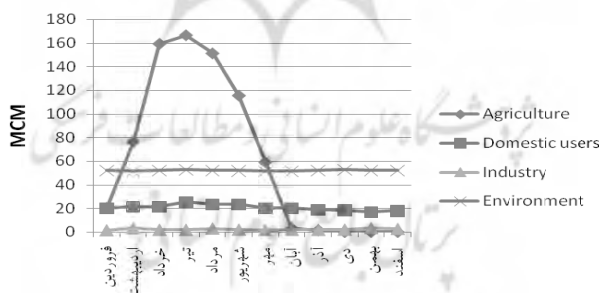
نمودارهای ۲، ۳ و ۴ نشان‌دهنده میزان بهینه آب تخصیص یافته ماهانه به هر یک از مصارف کشاورزی، آشامیدنی، صنعت و محیط‌زیست به عنوان پیش فرض‌های ۱ تا ۳ در سال ۱۳۸۸ می‌باشد. با مقایسه نتایج به دست آمده از تخصیص بهینه در شرایط موجود و برداشت‌های کنونی در ماههای اریب‌هشت، خرداد و تیر در بخش کشاورزی برداشت بیشتر از میزان بهینه صورت گرفته است. با توجه به حجم آب ورودی به مخزن سد شهید کاظمی در سال ۱۳۸۸ (نمودار ۱) حجم آب مورد نیاز دریاچه از رودخانه زرينه‌رود در این سال قابل تامین نمی‌باشد. نتایج اجرای مدل ۳ در شرایط آبی بر حسب میلیون متر مکعب در ماه بر پایه وزن‌های مختلف مصرف‌کنندگان در نمودارهای ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است.



نمودار (۵) سهم بهینه هر یک از مصارف در آینده (پیش فرض ۱)



نمودار (۶) سهم بهینه هر یک از مصارف در آینده (پیش فرض ۲)



نمودار (۷) سهم بهینه هر یک از مصارف در آینده (پیش فرض ۳)

نتایج مدل تخصیص بهینه ماهانه به مصرف‌کنندگان در افق ۱۴۰۰ برای پیش فرض‌های مختلف تعریف شده در نگاره‌های ۵، ۶ و ۷ نمایش داده شده است. با مقایسه نتایج به دست آمده و میزان نیازها در آینده، دیده می‌شود که بیشترین کمبود در بخش کشاورزی است که میزان این کمبود در شرایط اهمیت‌های نسبی برابر در حدود ۳۵٪ می‌باشد که در ماه‌های اردیبهشت تا مرداد با بیشترین

### تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی...۱۲۱

کمبود روبه‌رو هستیم. با مقایسه شرایط موجود و آینده و با توجه به مقادیر تابع هدف به‌دست آمده برای هر یک از نمودارهای ۲، ۳ و ۴ در شرایط موجود و برای نمودارهای ۵، ۶ و ۷ در آینده می‌توان استنباط کرد که در شرایط موجود نیازهای آبی نسبت به آینده در سطح بالاتری تامین می‌شود. نتایج اجرای مدل ۴ برای تخصیص بین ذینفعان در شرایط اهمیت نسبی برابر و در حالت میانگین سالانه برای شرایط آبی در نمودار ۸ نمایش داده شده است.



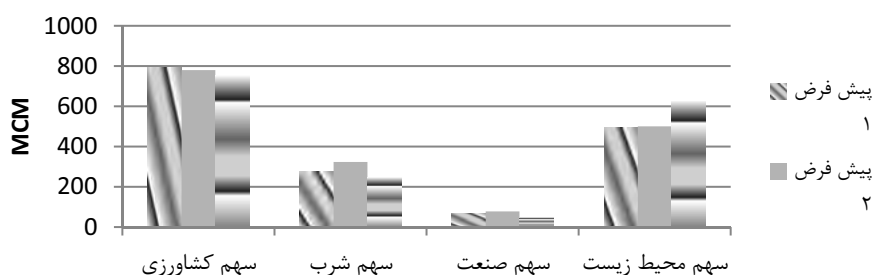
### نمودار (۸) سهم بهینه هر یک از ذینفعان حوضه آبریز زرینه‌رود از منابع آب سطحی حوضه

سهم درصدی استان‌های ذینفع و دریاچه ارومیه به عنوان ذینفع زیست‌محیطی در نمودار ۸ آمده است. با مقایسه نتایج به‌دست آمده برای مقادیر بهینه سهم استان‌های ذینفع و میزان برداشت این استان‌ها، استان کردستان کمتر از سهم بهینه خود و در مقابل استان آذربایجان غربی بیشتر از سهم بهینه خود از منابع سطحی حوضه آبریز زرینه‌رود برداشت می‌نمایند. سهم سالانه اختصاص یافته به هر یک از مصارف در شرایط موجود برای پیش‌فرض‌های در نظر گرفته شده در نمودار ۹ نشان داده شده است.



### نمودار (۹) سهم سالانه مصارف در شرایط موجود

سه‌م سالیانه اختصاص یافته به هر یک از مصارف در آینده برای پیش‌فرض‌های در نظر گرفته شده در نمودار ۱۰ نشان داده شده است.



نمودار (۱۰) سه‌م سالیانه مصارف در شرایط آینده

با بررسی نتایج مدل حل اختلاف در شرایط آتی، دیده می‌شود که با اجرای خط دوم انتقال آب رودخانه‌ی زرینه‌رود به شهر تبریز بخش قابل توجهی از نیازهای آبی آشامیدنی و صنعت مناطق تحت پوشش و طرح تامین خواهد شد. با افزایش اهمیت نسبی بخش زیست‌محیطی، میزان تخصیص یافته به این بخش افزایش می‌یابد و این مسئله می‌تواند شرایط بحرانی دریاچه را بهبود بخشد. سه‌م بوم‌شناختی تعیین شده دریاچه ارومیه از منابع آب حوضه آبریز زرینه‌رود در صورت رعایت میزان بهینه بهره‌برداری نیز، تامین نخواهد شد. بنابراین برای حفظ موجودیت بوم‌شناختی دریاچه، باید راهکارهای مناسبی اندیشیده شود.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق راه حلی برای اختلاف‌های موجود در حوضه آبریز زرینه‌رود ارائه شد. در این حوضه اختلاف‌های اساسی بین سازمان آب منطقه‌ای برای تامین آب آشامیدنی و صنعت و سازمان جهاد کشاورزی که بیشتر به دنبال توسعه کشاورزی است و همچنین سازمان محیط‌زیست که به حفظ دریاچه ارومیه موظف است وجود دارد. با استفاده از نظریه بازی و مدل تعاونی نش غیر متقارن میزان بهینه مصارف کشاورزی، شرب، صنعت و محیط‌زیست در شرایط موجود و آینده تعیین شد. در این روش مطلوبیت هر یک از ذینفعان تا حد امکان بصورت عادلانه تامین می‌گردد. نتایج مدل تحت سه شرایط مختلف که اولی بر مبنای اهمیت بیشتر بخش کشاورزی، دومی برای حالت اولویت‌های برابر و سومی برپایه اختصاص وزن بیشتر به بخش محیط‌زیست بدست آمده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، میزان بهینه به اهمیت نسبی مصارف مختلف بستگی دارد و با



### تخصیص بهینه آب به بخش کشاورزی...۱۲۳

افزایش اهمیت نسبی، مقدار تخصیص یافته به هر یک از بخش‌ها افزایش می‌یابد. گزینش وزن‌های نهایی به نظر تصمیم‌گیر وابسته است. در صورتی که به مصرف‌کنندگان وزن‌های یکسانی اختصاص یابد، میزان تخصیص یافته به بخش‌های کشاورزی، آشامیدنی، صنعت و محیط‌زیست در آینده برابر ۷۸۰، ۳۲۳، ۷۸ و ۵۰۱ میلیون متر مکعب خواهد بود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، با ادامه این روند مصرف در شرایط توسعه طرح‌های کشاورزی، سهم رودخانه زربینه‌رود در تامین کمینه نیاز بوم‌شناسی دریاچه قابل تامین نمی‌باشد. در شرایط آبی با این فرض که میزان مصارف از منابع آب‌های سطحی حوضه به صورت کنونی ادامه یابد و بازده مصارف کشاورزی نیز افزایش چندانی نداشته باشد، کمبود آب در بخش‌های آشامیدنی و صنعت و بویژه در بخش کشاورزی افزایش می‌یابد و در صورت رعایت نکردن این تخصیص بهینه، بوم‌نظام زیستی دریاچه نیز با شرایط بحرانی روبه‌رو خواهد شد. در راستای کمینه‌سازی این کمبودها سازمان‌ها و نهادهای دولتی باید راهکارهای مناسبی را مد نظر قرار دهند. پشتیبانی از سیاست‌های ایجاد بازار آب در منطقه و قیمت‌گذاری بهینه می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش سود اقتصادی گردد. نتایج بررسی‌های انجام شده در زمینه بازار آب در داخل و خارج کشور، نشان‌دهنده کارایی نهادهای بازار به عنوان یک سیاست راهبردی در مدیریت منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی می‌باشد.

در این شرایط بحرانی، باید از توسعه بی‌رویه کشاورزی جلوگیری به‌عمل آید و کشاورزان بایستی توجه بیشتری به اثرگذاری‌های منفی استفاده بی‌رویه از منابع آب حوضه داشته باشند. پیشنهاد می‌شود که با آموزش‌های برنامه‌ریزی شده در زمینه کاربرد بهینه منابع آب و افزایش بازده آبیاری، دورنمای اقتصادی و مدیریتی مصرف بهینه به کشاورزان منطقه ترسیم شود تا با کاهش هدر رفت آب، سود اقتصادی کشاورزان بهبود یابد. همچنین برای ایجاد انگیزه اقتصادی در کشاورزان و حفظ منابع آبی توصیه می‌شود که کشاورزان با روش‌های نوین آبیاری آشنا شوند. اصلاح الگوی کشت منطقه و کاهش سطح کشت محصولات با مصرف فراوان آب و توسعه کشت گیاهان مقاوم به کم آبی و در کنار آن توسعه کشت گلخانه‌ای و اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار و مهار آب‌های فصلی، تا حد قابل توجهی بر بهبود الگوی مصرف آب در کشاورزی تاثیرگذار می‌باشد و مصرف آب در بخش کشاورزی را به شدت کاهش می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده کارایی نظریه بازی با نش نامتقارن در مسائل حل اختلاف و تخصیص بهینه آب می‌باشد و در صورت پذیرش نتایج این بررسی می‌توان حالت درگیری‌ها را به حالت سازش و همکاری بین ذینفعان تبدیل کرد.

## منابع

- بقایی، ف. پورمند، ا. شیرنگی، س. و منصوری، ع. (۱۳۸۹) کاربرد چانه‌زنی گروهی در بهره‌برداری کمی و کیفی از مخازن سد، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، ۱۰-۱۱ آبان‌ماه ۱۳۸۹، دانشگاه تهران.
- کارگروه آب و کشاورزی شورای مدیریت منطقه‌ای حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. (۱۳۸۹) بسته معلومات طرح حفاظت از تالاب‌های ایران. وزارت نیرو. (۱۳۸۹) گزارش بهنگام‌سازی طرح جامع آب حوضه های مازندران و دریاچه ارومیه.
- صالحی، ف.، دانشور کاخکی، م.، شاهنوشی، ن. و رجبی، م. (۱۳۸۹) کاربرد نظریه ی بازی‌ها در تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت تایباد، فصلنامه *اقتصاد کشاورزی*، ۴(۳): ۶۵-۸۹.
- غفاری مقدم، ز.، کیخا، ا.ع. و صبوحی، م. (۱۳۹۱) تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه با استفاده از مدل‌های نظریه بازی‌ها، *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۸(۲): ۲۳-۱۲.
- نوروزیان، ف. و کراچیان، ر. (۱۳۸۹) رفع اختلاف در بهره‌برداری بهینه کمی و کیفی از مخزن سد، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، ۱۰-۱۱ آبان‌ماه ۱۳۸۹، دانشگاه تهران.
- مهندسین مشاور یکم. (۱۳۸۵) مطالعات پیامدهای زیست‌محیطی طرح‌های توسعه منابع آب حوضه دریاچه ارومیه بردریاچه ارومیه، جلد هشتم.
- Atwi, M. and Choliz, J.S. (۲۰۱۱) A negotiated solution for the Jordan Basin. *Journal of the Operational Research Society* ۶۲(۱): ۸۱-۹۱.
- Ganji, A. Karamouz, M. and Khalili, D. (۲۰۰۷) Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation II. *Advances in Water Resources* ۳۰: ۱۵۷-۱۶۸.
- Harsanyi, J.C. and Selten, R. (۱۹۷۲) A generalized Nash solution for two person bargaining games with incomplete information, *Management Science* ۱۸ (۲): ۸۰-۱۰۶.
- Kerachian, R. and Karamouz, M. (۲۰۰۷) A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. *Advances in Water Resources* ۳۰: ۸۶۶-۸۸۲.

- Kerachian, R. Fallahian, R. Bazargan-Lari, M. and Mansoori, A. (۲۰۱۰) A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management, *Resources, Conservation and Recycling* ۵۴: ۶۷۳-۶۸۸.
- Kucukmehmetoglu, M. (۲۰۱۲) An integrative case study approach between game theory and Pareto frontier concepts for the transboundary water resources allocations, *Journal of Hydrology* ۴۵۰-۴۵۱(۰): ۳۰۸-۳۱۹.
- Nash, JF. (۱۹۵۳) Two-person cooperative game. *Econometria* ۲۱: ۱۲۸-۴۰.
- Sadegh, M. Mahjouri, N. and Kerachian, R. (۲۰۱۰) Optimal inter-basin water allocation using crisp and fuzzy Shapley games, *Water Resources Management* ۲۴: ۲۲۹۱-۲۳۱۰.
- Safari, N., Zarghami, M. and Szidarovszky, F. (۲۰۱۳) Nash bargaining and leader-follower models in water allocation: Application to the Zarrinehrud River basin, Iran. *Applied Mathematical Modelling* (In Press).
- Salazar, R. Szidarovszky, F. Coppola, E. and Rojano, A. (۲۰۰۷) Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico, *Journal of Environmental Management* ۸۴: ۵۶۰-۵۷۱.
- Wei, S. Yang, H. Abbaspour, K. Mousavi, J. and Gnauck, A. (۲۰۱۰) Game theory based models to analyze water conflicts in the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project in China, *Water Research* ۴۴: ۲۴۹۹-۲۵۱۶.
- Zarghami, M. (۲۰۱۰) Urban water management using fuzzy-probabilistic multi-objective programming with dynamic efficiency, *Water Resources Management*, ۲۴(۱۵): ۴۴۹۱-۴۵۰۴.
- Zarghami, M. (۲۰۱۱) Effective watershed management; Case study of Urmia Lake, Iran, *Lake and Reservoir Management* ۲۷(۱): ۸۷-۹۴