



تخصیص بهینه آب با بکارگیری منحنی شکست تقاضا و الگوریتم وراثتی در بخش زراعت در حوضه زاینده رود

سمانه نگارچی^۱، محمدرضا زارع مهرجردی^{۲*}، صدیقه نبی‌یان^۳، رحمان خوش اخلاق^۴

مقاله برگرفته از پایان نامه دکترا

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶

چکیده

با توجه به افزایش بحران و کمیابی آب، تخصیص درست آب منابع موجود، چالش‌های بزرگ مسئولان در حوضه زاینده‌رود است. کشاورزی و بخصوص بخش زراعت، بیشترین مصرف آب را در این حوضه به خود اختصاص داده است. بنابراین باید چگونگی تخصیص آب در این بخش به دقت مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعه بدنبال آن است تا با تعیین ارزش اقتصادی و تخمین توابع اقتصادی آب در بخش زراعت با بکارگیری الگوریتم وراثتی و منحنی شکست تقاضا، به تعیین تخصیص بهینه آب بر اساس افزایش رفاه مصرف آب در حوضه زاینده رود بپردازد. جهت کاهش ریسک کشاورزی، از داده‌های چهار سال متوالی و با در نظر گرفتن دو سناریو، استفاده شده است. نتایج نشان داد که تخصیص آب در بیشتر فعالیت‌های زراعی در غرب زاینده‌رود از ارزش اقتصادی آب منفی برخوردار بوده که منجر به کاهش رفاه آب در این منطقه شده است. لذا بهترین تخصیص در بخش زراعت برای مصارف این بخش در مرکز و شرق این حوضه بوده است. همچنین نمودار تابع تقاضای آب در استان اصفهان بالاتر از تابع تقاضای آب در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد و مصرف آب در استان اصفهان مازاد رفاهی برابر با ۶۹۴۹۰۰۲۶۸۸۸۸ ریال در بر دارد. نتایج و پیشنهادات در این مطالعه، به تصمیم‌گیرندگان و مدیران در جهت رسیدن به استفاده بهینه از آب و برنامه ریزی پایدار در این حوضه، یاری خواهد رساند.

واژه‌های کلیدی: حوضه زاینده رود، منحنی شکست تقاضا، رفاه، الگوریتم وراثتی

^۱ . دانشجوی دکتری اقتصاد منابع طبیعی و عضو انجمن پژوهشگران جوان دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: negarchi@gmail.com

^{۲*} . دانشیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: zare@mail.uk.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ . استادیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، Email: snabieian@gmail.com

^۴ . استاد تمام دانشکده اقتصاد دانشگاه اصفهان، Email: r.khoshakhlagh@ase.ui.ac.ir



مقدمه

شده است. مصارف صنعتی، شهری، افزایش سطح زیر کشت، جمعیت، مدیریت منابع آبی، نگرش غیر سیستمی به زاینده رود، عدم توازن در برداشت آب در نواحی مختلف، از بهترین مولفه‌های فشار کمی بر زاینده رود بوده‌اند. در حقیقت الگوی توسعه در مناطق بهره‌بردار از زاینده رود از جمله در استانهای اصفهان، یزد و چهارمحال و بختیاری ناپایدار و مبتنی بر مصرف آب است (اداره آب منطقه‌ای استان اصفهان) در حالیکه چیدمان توسعه باید بر اساس آمایش سرزمین باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در مورد حوضه زاینده رود انجام گرفته است که از مهمترین آنها می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد از آن جمله می‌توان به امینی و میرزایی (۱۳۹۳)، خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۱)، حیات غیبی و همکاران (۱۳۹۱) اشاره کرد. مطالعاتی که در حوضه رودخانه زاینده رود انجام گرفته مربوط به استان اصفهان بوده و در مورد مصرف آب در غرب حوضه مطالعات تخصصی انجام نگرفته است

در این مطالعه قصد آن داریم تا با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ابتکاری در تخمین توابع مورد نظر به تخمین توابع دقیق تری دست یابیم. با توجه به جستجوهای صورت گرفته و مطالعات انجام شده، عمده پژوهش‌های مرتبط با تخمین توابع اقتصادی آب از روشهای کلاسیک اقتصاد سنجی استفاده شده است. با توجه به گسترش روزافزون روشهای نوین و ابتکاری، در راستای بهینه‌یابی توابع مورد نظر از این روشها استفاده خواهد است. تاکنون همه مطالعات انجام شده نشان داده است که الگوریتم‌های ابتکاری در زمینه بهینه‌یابی در مقایسه با روشهای موجود از عملکرد بسیار خوبی برخوردار بوده‌اند و نتایج دقیقتری به همراه داشته‌اند. از مهم ترین مطالعاتی که در سالهای اخیر در حیطه تعیین ارزش اقتصادی آب صورت گرفته می‌توان مقدسی و همکاران (۱۳۹۴)، نجفی و همکاران (۱۳۹۳)، دهقانپور و شیخ زین الدین (۱۳۹۲)، اسلامی و همکاران (۱۳۹۲)، Dai & Li (2013)، Raj et al (2010) و Modellin-Azuaran et al (2010).

در سالهای اخیر به دلیل تحولات اقلیمی، کشور ایران دچار کاهش چشم‌گیر منابع آب در سدها، دریاچه‌ها، منابع آب زیرزمینی گشته است. حال اگر ایران نتواند در بحران کمبود آب، استراتژی مشخصی برای استفاده از منابع آبی تعریف کند، با مشکلات جدی روبرو خواهد شد. با توجه به محدودیت منابع آبی کشور، تخصیص آب بایستی با دقت بیشتری صورت بگیرد و به فعالیت‌هایی اختصاص یابد که دارای صرفه و سود اقتصادی بالاتری باشند. البته این موضوع به معنای چشم‌پوشی از سایر هدفهای اساسی و بلندمدت همچون تامین امنیت غذایی و اشتغال نمی‌باشد؛ اما در کنار این هدفها لازم است موضوع کارایی مالی و اقتصادی آب نیز برای افزایش بهره‌وری آب مورد توجه قرار بگیرد. یکی از منابع آبی مهم کشور که در سالهای اخیر با بحران شدیدی روبرو بوده است؛ حوضه رودخانه زاینده رود می‌باشد. این حوضه از دو استان اصفهان و چهارمحال بختیاری تشکیل شده است. ۹۳ درصد مساحت حوضه در استان اصفهان و ۷ درصد مساحت حوضه در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد (اداره آب منطقه‌ای استان اصفهان). مصوبه غیرکارشناسی تبدیل شرکت‌های آب منطقه‌ای به شرکت‌های آب منطقه‌ای مستقل استانی در مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۸۴ که در دولت‌های نهم و دهم به اجرا درآمد، مدیریت حوضه زاینده رود را به مدیریت‌های دوگانه تبدیل و موجب تشدید بحران در حوضه زاینده رود شد. چنین سوء مدیریت‌هایی در رابطه با تنها منبع آبی حوضه زاینده رود همراه با تشدید و تداوم بی‌مهری‌های اقلیمی، بحران کم‌آبی در این حوضه را تا حد خشک شدن زاینده رود و پیامد آن، وخامت اوضاع معیشتی و سکونتگاهی جوامع روستایی پایین دست این حوضه بزرگ شدت بخشیده است. مصارف آبی متعدد و متنوع از زاینده رود بدون توجه به توان رودخانه در تامین این نیازها و بدون محاسبه نسبت بین مقدار آب رودخانه و مصارف موجود باعث برهم خوردن تعادل بین ورود و خروج و یا منابع و مصارف آب و ایجاد بحران در رودخانه

مواد و روشها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه رودخانه زاینده رود با مساحت حدود ۴۱ هزار کیلومتر مربع با مختصات جغرافیایی ۱۱'، ۳۳° تا ۴۲'، ۳۳° عرض شمالی و ۲'، ۵۰° تا ۲۴'، ۵۳° طول شرقی در منطقه مرکزی ایران قرار گرفته است. این حوضه در دو استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری قرار گرفته است که ۹۳ درصد از مساحت این حوضه در استان اصفهان قرار گرفته شده و ۷ درصد در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. موقعیت حوضه زاینده رود در شکل (۱) نشان داده شده است.

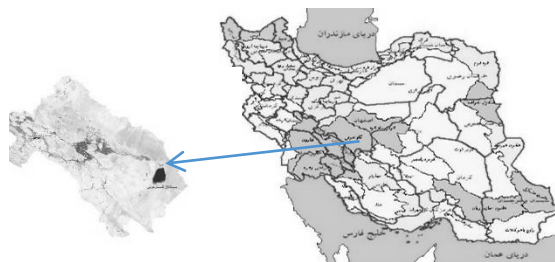
شاخه اصلی این حوضه، رودخانه زاینده رود است که دیگر شاخه ها به این شاخه ورود پیدا می کند. رودخانه زاینده رود از کوههای زاگرس (کوه ننگ) در شرق این حوضه سرچشمه می گیرد و بعد از پیمودن ۳۵۰ کیلومتر در غرب زاینده رود به باتلاق گاوخونی می ریزد. متوسط بارندگی در این حوضه ۱۰۵ mm است. این در حالی است که بیشترین مقدار بارندگی در کوه ننگ ۱۳۶۵ mm بصورت سالانه ثبت شده است.

داده ها و ابزار تحقیق

یکی از مشکلات اساسی و مهم در انجام این مطالعه، نبود اطلاعات و داده های کافی در هر منطقه بصورت سالانه جهت تخمین تابع تقاضای آب در این حوضه، بدلیل بزرگ و گسترده بودن این منطقه است؛ لذا در بعضی موارد مجبور به استفاده از داده های سالانه استانی بجای داده های منطقه ای بوده ایم. داده های مورد نیاز شامل میزان سطح زیر کشت برای هر محصول در هر منطقه، آب خالص مورد نیاز گیاه برای هر محصول در هر منطقه، هزینه تولید هر محصول در هر منطقه و درآمد حاصل از تولید هر محصول

al. (2017) نام برد. در این مطالعات، در ارزیابی اقتصادی و تخصیص بهینه آب بین بخشی از تخصیص آب با استفاده از موقعیت قرار گرفتن توابع تقاضا در این تحقیق استفاده شده است که شاید در مطالعات مربوط به تخصیص بهینه آب کمتر به آن توجه شده است.

با توجه به مشکلات و اختلاف نظرهای متعددی که در زمینه تقسیم بندی آب رودخانه زاینده رود بین شهرها و استان های مختلف بوجود آمده، ارزیابی دقیق و کارشناسانه در مورد نحوه و میزان آب تخصیص داده شده به بخشها و مناطق مختلف توسط کارشناسان و صاحب نظران در این حیطة، کمک شایانی به مدیریت هرچه بهتر این حوضه خواهد نمود و نتایج این ارزیابی ها در تخصیص درست و بهینه این حوضه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. با توجه به مطالب ذکر شده، این پژوهش بدنبال پاسخ به این سوال بوده است که باتوجه به اهمیت آب در حوضه زاینده رود، کدام تخصیص آب در این حوضه جهت کشاورزی، رفاه مصرف آب را افزایش می دهد؟. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی تاثیرات مدیریت دوگانه آب در حوضه زاینده رود است.



شکل (۱): موقعیت حوضه زاینده رود در ایران



شده است. در سناریو اول تنها از متوسط چهار ساله عملکرد محصولات مختلف در هر منطقه استفاده شده است و در سناریو دوم همه اطلاعات و داده های مورد نیاز بصورت متوسط چهار سال در نظر گرفته شده است. برای این کار ارزش حال قیمتها و هزینه های سالهای قبل، با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردیده است:

در هر منطقه بصورت سالانه است. هزینه ها شامل هزینه آماده سازی زمین، بذر، کود، آبیاری، شخم، خدمات کشاورزی، آفت کش، برداشت، حمل و نقل، اجاره زمین،

$$P = A(1 + i)^n \quad (1)$$

سود سرمایه، بیمه و دیگر هزینه های غیر قابل پیش بینی بوده است. داده ها بصورت متوسط سالانه برای یک دوره چهار ساله از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ در نظر گرفته شده است و از وزارت کشاورزی، آمارنامه های کشاورزیو شرکت آب منطقه ای استان اصفهان تامین شده است.

که P ارزش آتی، A ارزش جاری، i نرخ بهره و n تعداد سالهاست.

تابع تقاضای آب

تابع تقاضای آب معرف همان ارزش تولید نهایی آب (ارزش اقتصادی آب) است. تابع تقاضای آب بیان می کند که واحدهای تولیدی باید میزان مصرف آب را تا جایی ادامه دهند که مصرف هزینه واحد از آب (یک متر مکعب آب) حداقل به میزان قیمت آب ارزش تولید نهایی را افزایش دهد. به تعبیر دیگر نتیجه فوق آن است که میزان مصرف بهینه آب جایی است که ارزش تولید نهایی آب با قیمت آب برابر باشد. در یک منحنی تقاضا با شیب نزولی، مصرف کنندگانی وجود دارند که برای به دست آوردن کالا قیمتی بالاتر از قیمت جاری بازار می پردازند. به عبارتی مصرف کنندگان برای کالای مورد نظر مقدار کمتری نسبت به آنچه که برای از دست ندادن کالا حاضر به پرداخت است، می پردازند.

در این مطالعه ۱۵ شهرستان که از آب زاینده رود برای فعالیتهای کشاورزی خود استفاده می کنند، در نظر گرفته شده است. ۱۲ شهرستان در استان اصفهان (اصفهان، شاهین شهر، مبارکه، چادگان، نجف آباد، تیران، برخوار، لنجان، فریدن، فریدون شهر، شهرضا و خمینی شهر) و ۳ شهرستان در استان چهارمحال و بختیاری (بن، سامان، کوهرنگ) واقع شده است. محصولات زارعی اصلی که در این مقاله بررسی شده است شامل برنج، سیب زمینی، گوجه، پیاز، بادمجان، خیار، گندم، سورگوم، چغندر قند، پنجه، آفتابگردان، لوبیا، جو، عدس، ماش، نخود، هندوانه، خربزه، طالبی و گرمک، کلزا، یونجه، شبدر، ذرت، کلرنگ، و سایر علوفه ها است.

توزیع ریسک

استفاده از مدل های اقتصادسنجی برای بیان ویژگی های تابع تقاضای کشاورزی با مشکلات مخصوص به خود مواجه است. واکنش کشاورزان به قیمت های آب می تواند خیلی متغیر باشد زیرا آنها تعداد زیادی استراتژی قابل دسترس دارند. برای یافتن اینکه کدام استراتژی توسط کشاورزان در واکنش به تغییرات قیمت آب بکار برده می شود، یک سوال تجربی است که توسط مدل های اقتصادسنجی مشکل بتوان به آن پاسخ داد. بعلاوه مدل های اقتصادسنجی تنها یک مقدار منحصر به فرد برای کشش

کشاورزی فعالیتی پر ریسک محسوب شده و کشاورزان با شرایط غیر قابل اطمینانی روبرو هستند که باعث می شود نتوانند درآمد و میزان تولیدات خود را پیش بینی کنند. شرایطی همچون تغییرات اقلیمی، تغییرات قیمت، سیاست های دولت بخصوص تصمیمات لحظه ای آنها در زمینه کشاورزی و ... در این مطالعه برای به حداقل رساندن ریسک در محاسبات و کاهش تاثیر آن در نتایج، از آمار و اطلاعات چهارسال بصورت پی در پی استفاده شده است؛ لذا دو سناریو در این پژوهش در نظر گرفته

محدودیت را بر فعالیت و عملکرد کشاورزی اعمال می‌نماید و لذا نتایج واقع بینانه تری ارائه می‌کند.

برای بیان ریاضی این روش تابع تولیدی را در نظر داریم که بطور مثال از ۴ عامل تولیدی به نام‌های K (سرمایه)، L (نیروی کار)، R (منابع طبیعی)، W (آب)، برای تولید یک نوع محصول Y استفاده می‌کند. تابع تولید می‌تواند به صورت زیر نوشته شود (Young, 2005).

$$Y=f(K,L,R,W) \quad (2)$$

اگر فرض شود که بازار محصولات و نهاده‌ها یک بازار رقابت کامل می‌باشند و قیمت‌ها ثابت در نظر گرفته شود و علاوه بر این اگر ارزش کل محصول تولید شده در سهم‌های مختلف بین نهاده‌های تولیدی توزیع شود به طوریکه به هر نهاده تولیدی بر طبق ارزش تولید نهایی آن پرداخته شود و بدین طریق ارزش کل محصول کاملاً بین تمام نهاده‌ها تقسیم شود، بنا بر این اصل می‌توان نوشت:

$$TVP Y = (VMPK \cdot QK) + (VMPL \cdot QL) + (VMPR \cdot QR) + (VMPW \cdot QW) \quad (3)$$

که TVP نشان‌دهنده ارزش نهایی محصول و VMPI ارزش تولید نهایی نهاده A را نشان می‌دهد و Qi مقدار منبع A می‌باشد.

بر طبق اصل $VMPi=Pi$ و با جایگذاری خواهیم داشت:

$$P_w = [TVP_Y - ((P_K \cdot Q_K) + (P_L \cdot Q_L) + (P_R \cdot Q_R))] / Q_W \quad (4)$$

برای موارد عمومی که n نهاده و m محصول داشته باشیم، محاسبه دقت نهاده مورد نظر بصورت زیر بیان می‌شود:

$$X_n P_{Xn} = \sum^m (Y_j P_{Yj}) - \sum^{n-1} (X_i P_{Xi}) \quad (5)$$

تقاضای آب می‌دهند، که با واقعیت اینکه کشش تقاضا ممکن است در طول تابع تقاضا تغییر نکند، تناقض دارد.

هدف اصلی این پژوهش به دست آوردن ارزش اقتصادی آب و تخمین تابع تقاضای آن می‌باشد تا بدین وسیله به رابطه بین قیمت واقعی آب و مقدار تقاضای آن پی برده شود. اکثر تحقیقات گذشته برای بدست آوردن قیمت آب بدین گونه عمل کردند که یا از قیمت‌های رایج پرداختی کشاورزان برای تخمین تابع تقاضا استفاده نموده‌اند یا از قیمت‌های سایه‌ای، به این صورت که با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و یا استفاده از یک تابع سود، ترانسلوگ، با تغییر مقدار آب و اثر آن روی تابع هدف، که تابع سود می‌باشد، قیمت‌های سایه‌ای را استخراج کرده و از آن برای استخراج توابع تقاضا استفاده کرده‌اند. اشکالی که به روش آنان وارد است این می‌باشد که در روش‌های ایشان برای تخمین قیمت آب، برای نمونه در روش برنامه‌ریزی خطی محدودیت‌هایی را بر تابع تولید وارد می‌کردند، که چه بسا ممکن است در عالم واقع این نوع تابع تولید و تکنولوژی متناسب به آن مورد استفاده کشاورزان نبوده است، یا محدودیت‌هایی که خود روش برنامه‌ریزی خطی دارد. در این تحقیق سعی شده که در به دست آوردن قیمت واقعی آب کمترین محدودیت را بر عملکرد کشاورزان اعمال نماید. روش انتخابی در این مطالعه روش باقیمانده است. قیمت آبی که با این روش بدست می‌آید ناشی از رفتارهای خود کشاورزان در پی حداکثر کردن سودشان می‌باشد. در روش باقیمانده هیچ‌گونه فروض نظم‌پذیری درباره تکنولوژی ضروری نیست. در این روش کل محصول مابین هر یک از نهاده‌های مورد استفاده در تولید توزیع می‌گردد. اگر قیمت‌های مناسب برای هر نهاده بجز یکی از آنها بتواند در بازار تعیین شود، آنچه که از ارزش کل محصول تولید شده باقی می‌ماند به نهاده مورد نظر (که قیمت آن در بازار نمی‌تواند تعیین شود) نسبت داده می‌شود. این روش زمانی خیلی مناسب به نظر می‌رسد که نهاده مورد ادعای ما (که در این تحقیق آب می‌باشد) سهم زیادی در ارزش کلی محصول تولید شده داشته باشند (Young and Gray, 1985). این روش برای تعیین قیمت آب یا ارزش اقتصادی آب، کمترین



آب جایی است که ارزش تولید نهایی آب با قیمت آب برابر شود.

شکست تقاضا

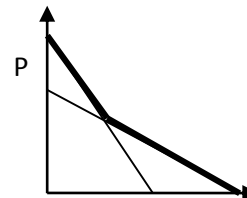
تابع تقاضا بدست آمده رسم شده و در مقایسه با تابع تقاضای آب مصرفی در استان اصفهان به تعیین میزان بهینه و اقتصادی آب برای دو استان اصفهان و چهارمحال بختیاری در بخش کشاورزی خواهیم پرداخت. به بیان دیگر با توجه به اینکه سطح زیر منحنی تقاضا نشاندهنده میزان منافع کل حاصل از مصرف آب می باشد، به مقایسه میزان منافع کل حاصل از دو تابع تقاضا در دو بخش حوضه زاینده رود پرداخته و بیشترین میزان منافع برای قیمتها و مقادیر مختلف انتخاب خواهد شد. در شکل زیر بعنوان مثال به رسم دو تابع تقاضا در دو منطقه مختلف دست یافته و رسم شده است که در نهایت خطوط تیره تر نشاندهنده تخصیص میزان آب تا نقطه برخورد دو تابع به ناحیه اول با تابع تقاضای بالاتر و بعد از نقطه برخورد به ناحیه دوم اختصاص می یابد. پس در نهایت تابع تقاضای ما بصورت شکسته برای کل آن منطقه خواهد بود. در این مطالعه در درجه اول باید شکل و نحوه قرار گرفتن توابع تقاضا مشخص شده و در ادامه نسبت به تخصیص اقتصادی آب مصرفی بین مناطق مورد نظر اقدام شود.

الگوریتم وراثتی

با توجه به اهمیت تابع تقاضا در این مطالعه جهت اتخاذ تصمیم در راستای تخصیص آب حوضه زاینده رود بین مناطق مختلف، تخمین درست و رگرس کردن دقیق تابع تقاضا، از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود. در تخمین تابع تقاضا از الگوریتمهای ابتکاری بهره خواهیم جست چرا که در مطالعات گوناگون که از روشهای تخمین توابع با الگوریتمهای ابتکاری استفاده شده است نتایج حاصل از این روشها در مقایسه با روشهای اقتصاد سنجی،

که در آن X_i دلالت بر مقادیر نهاده i دارد، Y_j دلالت بر مقادیر محصول j دارد. PX_i و PY_j به ترتیب قیمت محصولات و نهاده ها می باشد. X_n دلالت بر مقدار نهاده آب دارد.

اگر از کل درآمد سالانه کشاورز همه هزینه ها غیر از آب کسر شود، مقداری می ماند که این باقیمانده به آب نسبت داده می شود و این مقدار نشاندهنده حداکثر مقداری است که کشاورز می تواند برای آب پردازد و هنوز هم تمام هزینه هایش را پوشش بدهد. در این مطالعه انتقال آب بصورت فیزیکی نمی باشد بلکه انتقال آب صرفا بین بخشی و با انتقال حق آبه از پایین دست به بالا دست انجام گرفته است. لذا در تابع عرضه آب تغییر چشمگیری ایجاد نشده است و تنها بررسی تابع تقاضا و منفعت حاصل از مصرف آب در این دو منطقه برای تصمیم گیری در این زمینه کافی است. با استفاده از این روش به تعیین ارزش نهایی آب برای محصولات مختلف در منطقه مورد نظر پرداخته و با توجه به نقاط بدست آمده به تخمین تابع تقاضا در این منطقه خواهیم پرداخت. تابع تقاضای آب بیان می کند که واحدهای تولیدی باید میزان مصرف آب را تا جایی ادامه دهند که مصرف هزینه واحد آب (یک متر مکعب آب) حداقل به میزان قیمت آب، ارزش تولید نهایی را افزایش دهد. به عبارت دیگر میزان مصرف بهینه نهاده



شکل (۲): تابع تقاضای حوضه زاینده رود.

می‌کنند. یعنی دو جوابی که برای ازدواج، شایسته شناخته و انتخاب شده‌اند؛ با هم ترکیب شده و جواب‌های جدیدی برای جستجو در فضای جواب‌های مسئله تولید می‌کنند (نظام آبادی پور، ۱۳۸۹ و Chun et al., 2005). پس عملگر بعدی، عملگر همبری است. در نهایت نیز روی فرزندان جهش ایجاد می‌شود و نسل بعد ساخته می‌شود. توسط این عمل نیز مقادیر بعضی از ژن‌ها تغییر یافته و نقاط جدید برای جستجو در فضای جواب‌های مسئله تولید می‌شود. پس آخرین عملگر، عملگر جهش خواهد شد. بدین ترتیب بعد از یک مرحله اجرای الگوریتم، یک نسل جدید از جمعیت یا همان دسته جواب‌های جدید در فضای جواب‌های مسئله تولید می‌شود. حال اگر این روند تکرار شود؛ چون به جواب‌های بهتر شانس بیشتری برای حفظ و تکثیر خصوصیات خوب آنها داده می‌شود؛ می‌توان امیدوار بود که پس از طی چند نسل به نسلی بهینه‌تر دست یافت. یعنی رسیدن به دسته جواب‌هایی نزدیک‌تر به جواب بهینه‌ی مورد نظر که می‌تواند شامل خود نقطه‌ی بهینه نیز باشد (Amjadi et al., 2010, Zheng et al., 2009).

ما در این تحقیق به دنبال بدست آوردن ضرایب بهینه برای تابع تقاضا هستیم و در راستای این هدف، تابع هدف و تابع شایستگی ما به صورت زیر تعریف می‌شود (Negarchi et al., 2016).

$$Z = Q - F(X_i) \quad (۶)$$

$$\text{Fitness} = 1 / (1/n * (\sum(z^2))) \quad (۷)$$

در تابع بالا $F(X_i)$ ، تابع تقاضا آب مورد نظر است و Q مقادیر واقعی تقاضا و n تعداد مشاهدات مورد نظر است. الگوریتم ژنتیک با استفاده از تابع شایستگی به

حاکمی از عملکرد بهتر و دقیقتر این روش‌ها در تخمین و بهینه‌یابی ضرایب توابع بوده است. یکی از الگوریتم‌های پر کاربرد در مطالعات بهینه‌یابی الگوریتم وراثتی (ژنتیک) است.

کاشفان الگوریتم ژنتیک سعی کردند با بدست آوردن مدلی شبیه به وراثت طبیعی، به الگوریتمی دست یابند که توسط آن بتوانند به جواب‌های بهینه‌ی مورد نظر در مسائل خود برسند. در وراثت طبیعی ابتدا به یک جمعیت اولیه از نیاکان با خصوصیت متفاوت هستند. در این جا نیز، تعدادی کروموزوم را به عنوان جمعیت اولیه در نظر می‌گیریم؛ که در اصل هر کدام نقطه‌ای در فضای جواب‌های مسئله است. پس یک جمعیت اولیه معادل یک دسته جواب‌های اولیه در فضای جستجوی جواب‌های مسئله می‌باشد. هر جواب اولیه یک کروموزوم هستند که تعدادی ژن دارد و معرف خصوصیات کروموزوم است. هر یک از ژن‌ها نیز یکی از متغیرهای مسئله می‌باشد. حال باید مقدار این متغیرها به گونه‌ای به دست آید که جواب مسئله بهینه باشد یعنی خصوصیات این افراد به گونه‌ای شود، که توانایی آن برای این شرایط مسئله خوب و شایسته است. اما این شایستگی چگونه ارزیابی می‌شود؟ برای این منظور به یک تابع برازندگی (شایستگی) نیاز است که میزان شایستگی هر فرد را محاسبه کند. این تابع باید در راستای تابع هدفی باشد که می‌خواهد بهینه شود (Chan et al., 2015). حال یک جمعیت با شایستگی‌های متفاوت وجود دارد که باید از میان آنها والدین به گونه‌ای انتخاب شوند تا افرادی شایسته برای تولید نسلی شایسته انتخاب گردند. یعنی از بین جواب‌های اولیه، جواب‌هایی که به جواب بهینه مورد نظر نزدیک‌ترند؛ شانس بقای بیشتری داشته باشند. پس یک عملگر انتخاب نیز نیاز است. سپس از بین والدین انتخاب شده، زوج والدین با هم همبری کرده و فرزندان تولید

4. Selection.

5. Cross Over.

6. Offsprings.

1. Initial Generation

2. Fitness Function.

3. Parent.



کمترین مقدار مربوط به محصول کلزا با ارزشی در حدود ۳۱۰۴- برای استان اصفهان و محصول گوجه با ارزش ۱۱۷۲۱- ریال بر متر مکعب در استان چهارمحال و بختیاری بوده است.

در ادامه با استفاده از ارزشهای اقتصادی آب بدست آمده برای محصولات مختلف در شهرهای مختلف در حوضه زاینده رود و همچنین در نظر گرفتن مقدار نیاز آبی خالص هر گیاه برای هر شهر و بعد از مرتب سازی ارزشهای اقتصادی آب برای هر استان بر اساس بیشترین ب کمترین ارزش و سپس تعیین مقدار آب مورد نیاز بصورت مجموع آب به ازای هر ارزش اقتصادی با مقادیر بالاتر، تابع تقاضا آب برای هر استان تخمین زده شده است. این تخمین با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است که در مقایسه با روشهای اقتصاد سنجی از R2 بالاتر و RMSE پایینتری برخوردار است.

گام نخست در حل مسائل بهینه یابی توسط GA تعیین پارامترهای اولیه برای این الگوریتم است. در مدل مورد نظر ۳ وزن وجود دارد. بنابراین GA در مدل لگاریتمی ۳ ژن دارد. جمعیت اولیه یا تعداد کروموزومها ابتدا به صورت اعداد صفر و یک تولید و سپس به اعداد صحیح تبدیل می شوند. همه اعضای جمعیت در تابع برازش امتحان می شود و کمترین مقادیر که بهترینها نیز هستند تعیین می شوند. در ادامه نسل جدید تشکیل می شود. با توجه به اصل داروین، کروموزومهایی که جزء بهترینها هستند شانس بیشتری برای تولید فرزندان بیشتر دارند. در این تحقیق برای تولید نسل جدید از روش ترکیب و جهش استفاده شده است. این فرآیند تکرار می شود تا الگوریتم به بهترین جواب برسد.

همان طوری که در مبانی نظری الگوریتم ژنتیک گفته شد، با رفتن از یک نسل به نسل دیگر مقدار تابع هدف بهبود می یابد با توجه به این که در مدل پیشنهادی هدف، حداقل کردن تابع هدف است، انتظار می رفت که با افزایش نسل، نمودار روند نزولی را طی کند، اما با توجه به

دنبال انتخاب بهترین ضریب برای تابع تقاضا آب مورد نظر است.

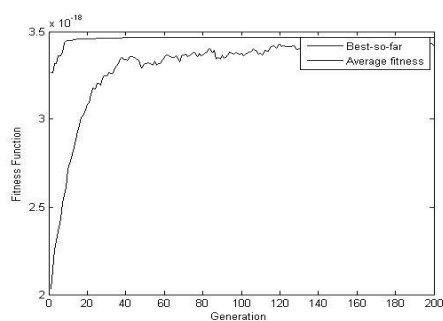
نتایج و بحث

در این مطالعه به تعیین ارزش اقتصادی آب برای ۲۳۳ محصول در ۱۵ شهرستان در حوضه زاینده رود پرداخته شده است. برای اینکار، بعد از محاسبه هزینه و درآمد حاصل از تولید هر محصول، با استفاده از روش باقیمانده، ارزش اقتصادی آب برای هر محصول در هر منطقه بدست آمده است. در سناریو اول، بررسی ارزشهای اقتصادی آب برای محصولات زراعی، نشان داده است که بیشترین ارزش اقتصادی مربوط به محصول پیاز در استان اصفهان و در حدود ۵۱۵۹۱ ریال بر متر مکعب و محصول خیار در استان چهارمحال و بختیاری در حدود ۳۳۴۱۵ ریال بر متر مکعب محاسبه شده است. این در حالی است که بعضی از محصولات از ارزش اقتصادی منفی برخوردار بوده است. کمترین مقدار در استان چهارمحال و بختیاری مربوط به محصول گوجه با ارزش ۱۳۷۲۵- ریال بر متر مکعب و در استان اصفهان محصول ماش با ارزش ۴۵۵۳- ریال بر متر مکعب بوده است. نتایج نشان می دهد که در حدود ۳۰ درصد از محصولات زراعی در استان چهارمحال و بختیاری در حوضه زاینده رود دارای ارزش اقتصادی آب منفی است. در حالی که در استان اصفهان تنها ۹ درصد از محصولات از ارزش منفی برخوردارند.

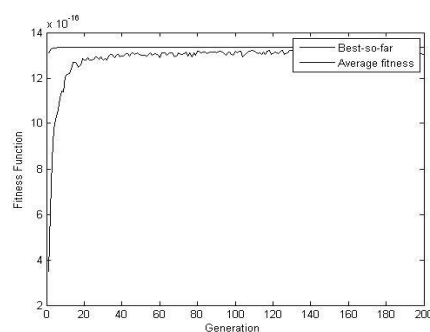
همچنین در سناریو دوم، ارزش اقتصادی آب برای محصولات مختلف زراعی محاسبه و نتایج بررسی شده است. نتایج نشان داد که بیشترین ارزش اقتصادی آب در استان اصفهان مربوط به محصول پیاز با ارزشی در حدود ۶۵۷۸۰ ریال بر متر مکعب و در استان چهارمحال و بختیاری محصول خیار با ارزش ۳۵۷۲۹ ریال بر متر مکعب بوده است. از طرفی در حدود ۳۳ درصد از محصولات زراعی در استان چهارمحال و بختیاری از ارزش اقتصادی آب منفی برخوردار است در صورتی که در استان اصفهان تنها ۷ درصد از محصولات دارای ارزش منفی است.

روند هم گرایی به جواب بهینه را به خوبی نشان می دهد، زیرا در آخرین نسل به یکدیگر نزدیک شده اند، نمودار بالایی بهترین جواب تا آن نسل و نمودار پایینی متوسط بهترین جواب تا آن نسل را نشان می دهد.

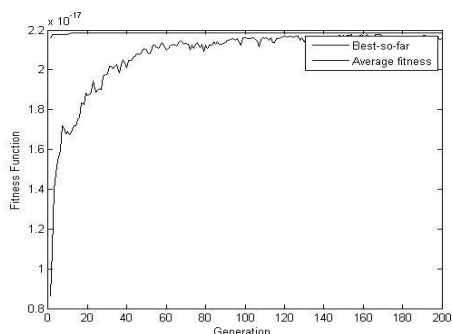
این که تابع شایستگی در داخل الگوریتم، حداکثر سازی معکوس تابع هدف در نظر گرفته شده است، در نتیجه نمودار سیر صعودی را طی کرده ، که نشان دهنده عملکرد در ست عملگرهای الگوریتم می باشد. شکل (۳)



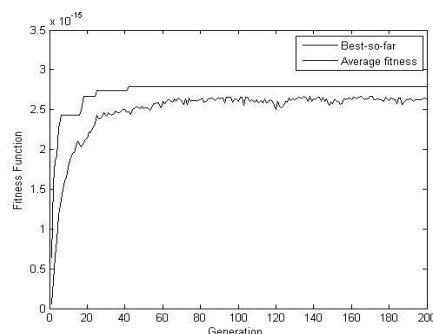
الف (۲)



الف (۱)



ب (۲)



ب (۱)

شکل (۳): روند هم گرایی الگوریتم در یافتن جواب بهینه در دو سناریو برای دو استان اصفهان (الف) و استان چهارمحال و بختیاری (ب)



جدول (۱) نشان داده شده است؛ به انتخاب بهترین ضریب برای تابع تولید دست یافته‌ایم

در الگوریتم ژنتیک با استفاده از تابع شایستگی معرفی شده و با استفاده از پارامترهای در نظر گرفته که در

جدول (۱): پارامترهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک

۱۰۰	جمعیت اولیه
۰/۹	احتمال عملگر همبری (تقاطع) (p_c)
۰/۰۰۵	احتمال عملگر جهشی (p_m)

توابع تقاضا آب در سناریو اول بصورت زیر است:

$$q = -1210p + 2893450 \quad (11)$$

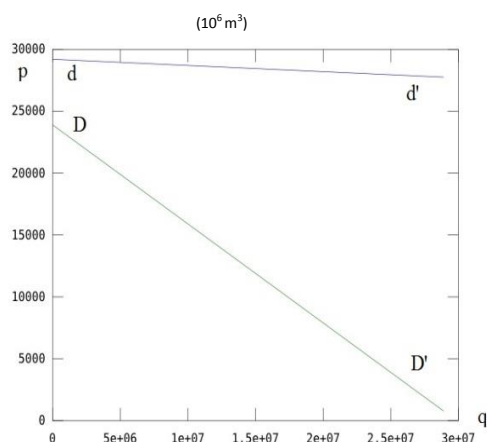
رابطه (۱۰) تابع تقاضا آب محصولات زراعی در استان اصفهان و رابطه (۱۱) تابع تقاضا آب محصولات زراعی در استان چهارمحال و بختیاری در حوضه زاینده رود است. با اختیار داشتن توابع تقاضا و رسم آنها در یک نمودار بر اساس مدل منحنی شکست تقاضا، به تخصیص بهینه آب در این حوضه پرداخته شده است. در شکل (۴)، dd' ، منحنی تقاضا آب مصرفی در استان اصفهان و DD' ، منحنی تقاضای آب در استان چهارمحال و بختیاری در حوضه زاینده رود در بخش زراعت را نشان می‌دهد.

$$q = -13152p + 502932551 \quad (8)$$

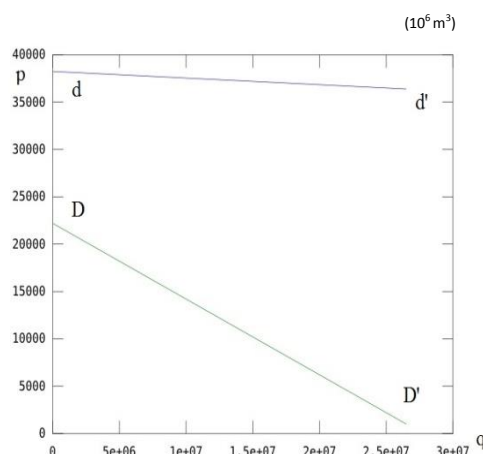
$$q = -1194p + 26510263 \quad (9)$$

رابطه (۸) تابع تقاضا آب محصولات زراعی در استان اصفهان و رابطه (۹) تابع تقاضا آب محصولات زراعی در استان چهارمحال و بختیاری در حوضه زاینده رود است. همچنین توابع تقاضا تخمین زده شده با الگوریتم ژنتیک در سناریو دوم به صورت زیر می‌باشد:

$$q = -18747p + 547409580 \quad (10)$$



سناریو اول



سناریو دوم

شکل (۴): توابع تقاضای آب در بخش زراعت در دو استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری در حوضه زاینده رود

با تعیین ارزش تولید نهایی یک واحد آب به کار رفته در بخش کشاورزی برای محصولات عمده زراعی مشخص می‌گردد که این محصولات، در هر منطقه دارای چه مقدار ارزش اقتصادی برای آب می‌باشد. از این طریق مسئولان می‌توانند جهت اخذ آب بها تصمیمات صحیح و لازم را اعمال نمایند. با مشخص کردن ارزش اقتصادی آب و ارائه آن به مسئولین منطقه، آنها می‌توانند تفاوت قیمت پرداختی و واقعی را ملاحظه نموده و تصمیمات جدی در مورد آب بها و نحوه و مقدار تخصیص یارانه اتخاذ نمایند.

نتایج تحقیق نشان داد که قیمت واقعی آب کشاورزی به مراتب بیشتر از آب بهای رایج آن است. تفاوت در ارزش تولید نهایی آب با قیمت پرداختی کشاورزان بابت آن، باعث از بین رفتن انگیزه کشاورزان برای سرمایه گذاری جهت افزایش بازده آبیاری و استفاده از فناوریهای نوین آبیاری شده است که نتیجه آن استفاده از روشهای سنتی آبیاری و هدر رفت بیش از حد آب در مزرعه می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود به منظور بهبود و پایداری نظام تولید کشاورزی، با تعدیل آب بها براساس ارزش اقتصادی آب، شرایط استفاده صحیح از آب و صرفه جویی در مصرف این

در هر دو سناریو، تابع تقاضای آب بخش زراعت در استان اصفهان بالاتر از تابع تقاضای آب استان چهارمحال و بختیاری در این حوضه قرار دارد. این بدان معناست که تخصیص آب به استان اصفهان یک تخصیص بهینه از رفاه اقتصادی و ارزش اقتصادی برای آب در حوضه زاینده رود در بخش زراعت است و تخصیص آب به استان اصفهان رفاه بیشتری را برای مصرف کنندگان آب به همراه دارد. همان گونه که در نمودار بالا پیداست، این دو تابع تقاضا بافاصله زیادی از یکدیگر قرار گرفته است که این اختلاف نشان دهنده مازاد و تفاوت بسیار زیاد و فاحش در عملکرد پایین اقتصادی آب در تولید محصولات زراعی در استان چهارمحال و بختیاری در این حوضه است. رفاه حاصل از مصرف آب در بخش زراعت در حوضه زاینده رود در استان اصفهان برابر با ۹۸۹۱۵۰۹۳۳۰۵۶ ریال است در حالی که رفاه حاصل از مصرف همان مقدار آب در استان چهارمحال و بختیاری برابر با ۲۹۴۲۵۰۶۶۴۱۶۸ ریال است و این بدان معنی است که مصرف آب در استان اصفهان مازاد رفاهی برابر با ۶۹۴۹۰۰۲۶۸۸۸۸ ریال در بر دارد.

نتیجه گیری و پیشنهادات



اجرائی شدن تجارت حق آبه، می تواند در ذخیره آب، افزایش بهره‌وری آب، کاهش مصرف آب، بهبود مدیریت آب و کاهش بحران آب در این منطقه موثر باشد.

نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت آگاهی به سرمایه گذاری در این نوع فعالیت‌ها و نیز در جریان برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاریهای اقتصادی کلان کشور در این بخش مورد استفاده قرار گیرد. سیاست‌گذاران و مدیران در این حوضه بخصوص در وزارت نیرو، می‌توانند تصمیمات خود را بر اساس اطلاعات دقیق تر و جامع تری و همچنین برپایه مستندات علمی اتخاذ نمایند. با توجه به محدودیت و بحران آب و اهمیت مدیریت تقاضا در حوضه زاینده رود، باید در تخصیص این نهاده ارزشمند به فعالیتهای گوناگون دقت عمل زیادی به خرج داد و فعالیت‌ها و طرحهایی که از صرفه اقتصادی بالاتری برخوردارند در اولویت قرار گیرند و تخصیص آب بصورت بهینه و بر اساس طرحهای پایدار صورت گیرد.

تقدیر و سپاس

جا دارد از زحمات از اعضای هیئت علمی دانشگاه پلی تکنیک دانشگاه کارتاخنا اسپانیا که دلسوزانه در این مطالعه یاری رسانده‌اند، و همچنین مدیر عامل محترم اداره آب منطقه‌ای استان اصفهان جناب آقای دکتر مسعود میرمحمد صادقی که این مطالعه را مورد حمایت قرار داده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نمود.

نهاده فراهم آید. این سیاست با توجه به شکاف بسیار زیاد بین قیمت حقیقی و آب بهای کشاورزی در کوتاه مدت ممکن است موجب نارضایتی کشاورزان شود و تأثیر منفی در انگیزه تولید آنها بگذارد؛ اما در بلندمدت می‌تواند انگیزه لازم را برای استفاده از فناوریهای آب اندوز و حذف روشهای کم بازده آبیاری و انتقال آب - که مقدار قابل توجهی از آب را هدر می‌دهد- ایجاد کند. این سیاست باید به گونه‌ای اعمال شود که اولاً باعث ایجاد عدم انگیزه در کشاورزان برای تولید نشود و ثانیاً از مشارکت کشاورزان در اجرای آن استفاده شود. بخاطر وجود ارزشهای اقتصادی منفی برای آب، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی باید افزایش یابد و به دنبال آن شاهد کاهش مصرف آب در این بخش باشیم. در این حوضه، بسیاری از بهره‌برداران از روشهای قدیمی و سنتی جهت آبیاری مزارع خود استفاده می‌کنند. بنابراین تشویق کشاورزان و همچنین اعطای تسهیلات ویژه برای استفاده از تجهیزات مدرن و روشهای نوین، باید در دستور کار مسئولان و مدیران در این بخش باشد. همچنین ایجاد بازار آب یکی از راههای موثری است که باعث افزایش کارایی آب و تخصیص بهینه آن می‌شود. برای انجام و اجرائی کردن آن در ابتدا باید حق آبه بهره‌برداران بخصوص کشاورزان به رسمیت شناخته شود. متأسفانه در چند سال اخیر بدون توجه به سهم و حق آبه کشاورزان در شرق زاینده رود، به واگذاری آب به بهره‌برداران جدید پرداخته شده است. اگر بازار آب ایجاد شود، مصرف کنندگان جدید باید آب مورد نیاز خود را از حق آبه داران قدیمی خریداری و تامین کنند. این انتقال حتی می‌تواند در بین بخشهای مختلف اقتصادی صورت گیرد.

منابع

- اسلامی، ا.، مهرابی، ع.ا.، زهتابیان، غ. و قربانی، م.، ۱۳۹۲. برآورد تابع تقاضای آب کشاورزی باغات انار روستای چرخاب یزد. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۶(۱)، ۲۶-۱۷.
- امینی فسخودی، ع.، میرزایی، م.، ۱۳۹۳. پیامدهای بحران کم آبی و خشک شدن زاینده رود در مناطق روستایی (مطالعه موردی: جلگه برآن در شرق اصفهان)، توسعه روستایی، ۵(۲)، ۱۸۰-۱۵۸.



- حیات غیبی، ف.، شاهنو شی، ن.، زیبایی، م.، دانشور، م. و اکبری، ن.ا.، ۱۳۹۱، برآورد سهم آب زاینده رود استان اصفهان، اقتصاد کشاورزی، ۶، ۴، ۲۴-۱.
- خوش اخلاق، ر.، سجادی، م.س.، رجبی، م. و م. خاشعی، ۱۳۹۱، ارزیابی تابع تقاضای کلی آب (مطالعه موردی استان اصفهان)، مجله اقتصاد منابع طبیعی، سال اول، ۱، ۲۰-۱.
- دهقانپور، ح.، شیخ زین الدین، آ.، ۱۳۹۲، تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی در دشت یزد- اردکان استان یزد، اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۱، ۸۲، ۴۵-۶۸.
- مقدسی، م.، مرید، س.، دلاور، م. و ف.، عرب پور، ۱۳۹۴، "رویکرد مدیریت مصرف آب بخش کشاورزی در راستای احیای دریاچه ارومیه"، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال یازدهم، شماره ۱ (پیاپی ۳۲)، ۱۳-۱.
- نجفی علمدارلو، ح.، احمدیان، م. و خلیلیان، ص.، ۱۳۹۳، ارزیابی اقتصادی تخصیص بهینه آب کشاورزی در دشت ورامین (مطالعه موردی سد لیتان)، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۳، ۹، ۱۶۷-۱۵۱.
- نظام آبادی پور، ح.، ۱۳۸۹، الگوریتم وراثتی (مفاهیم پایه و مباحث پیشرفته). انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- H. and M. M. Farsangi. 2010. Estimation of Electricity Demand of Iran Using Two Heuristic Algorithms. *Energy Conversion and Management*. 51: 493-497.
- Dai, Z. Y., Li, Y. P. (2013); "A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty". *Agricultural Water Management* 129: 69-79.
- Chan, F. T. S., Tibrewal, R. K., Prakash, A., & Tiwari, M. K. (2015). A biased random key genetic algorithm approach for inventory-based multi-item lot-sizing problem. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229(1), 157-171.
- Chan, T. M., Man, K. F., Tang, K. S., & Kwong, S. (2005). A jumping gene algorithm for multiobjective resource management in wideband CDMA systems. *The Computer Journal*, 48(6), 749-768.
- Modellin-Azuaran, J., Harou, J. J., & Howitt, R. E., 2010, Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation, *Journal of Science of the Total Environment*, 408: 5639-5648.
- Negarchi, S., Zare Mehrjerdi, M., Mehrabi Boshrabadi, H., & Nezamabadi Pour, H. (2016). A comparison of genetic algorithm and auto-regressive distributed lag model in determination of total factors productivity growth in the agricultural sector of Iran. *Iran Agricultural Research*, 34(2), 101-107.
- Raj, R., Kumar, A., Solanki, I. S., Dhar, S., Dass, A., Gupta, A. K., ... & Pandey, U. C. (2017). Influence of crop establishment methods on yield, economics and water productivity of rice cultivars under upland and lowland production ecologies of Eastern Indo-Gangetic Plains. *Paddy and Water Environment*, 15(4), 861-877.
- Zheng, S. Y., Yeung, S. H., Chan, W. S., Man, K. F., & Tang, K. S. (2009). Design of broadband hybrid coupler with tight coupling using jumping gene evolutionary algorithm. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(8), 2987-2991.



Optimal Allocation of Water Using Kinked Demand Curve and Genetic Algorithm in Cultivation Sector in Zayanderud Basin.

Samane Negarchy^۱, M.R. zare Mehrjerdy^۲, Sedighe Nabieian^۳, Rahman Khosh Aghlaq^۴

Abstract

Due to the increasing crisis and scarcity of water, the proper allocation of available water resources is a major challenge for authorities in the Zayandehrood Basin. Agriculture, especially cultivation, has the highest water use in the basin. Therefore, how to allocate water in this section should be carefully considered. This study seeks to determine optimal water allocation based on increasing the welfare of consumption by estimating the economic value and functions of water in the cultivation sector using the Genetic algorithm method and the Kinked demand curve model in the Zayandehrood basin. In order to reduce agricultural risk, four years of data were considered and for this, two scenarios were considered. The results showed that the water allocation in most of the agricultural activities in the west of Zayandehrud has a negative economic value, which has led to a decrease in water welfare in this area. So, the best allocation in the agriculture sector was in the center and east of the basin. Also, the water demand function graph in Isfahan province is higher than the water demand function in Chaharmahal and Bakhtiari province and welfare surplus due to water consumption in Isfahan province is about 694900268888 Rials. The results and suggestions in this study will help decision makers and managers to achieve optimal water use and sustainable planning in this basin.

Keywords: Zayanderud basin, Kinked demand curve, Genetic algorithm, Welfare

^۱PH.D in Agricultural economics of shahid bahonar kerman university

^۲ Assiciat prof, Dept. of Agricultural Economics , Faculty of Shahid Bahonar Kerman university
(Corresponding author)

^۳Assistant prof, Dept. of Agricultural Economics , Faculty of Shahid Bahonar Kerman university

^۴Prof, Dept. of Economics , Esfahan university