

## تخصیص بهینه اقتصادی آب با بکارگیری خوارزمی های فراابتکاری انتخابات و رقابت استعماری

سمیه امامی<sup>۱\*</sup>، یحیی چوپان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم و مهندسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

<sup>۲</sup> گروه علوم و مهندسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴-۰۵-۱۳۹۷

بازنگری: ۰۷-۰۶-۱۳۹۷

پذیرش: ۱۸-۰۷-۱۳۹۷

ارائه آنلاین: ۲۱-۰۷-۱۳۹۷

### کلمات کلیدی:

منابع آب

خوارزمی انتخابات

خوارزمی رقابت استعماری

بهینه سازی

سودآوری اقتصادی

**خلاصه:** در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، اصلی ترین عامل محدود کننده توسعه اقتصادی، آب است. در پژوهش حاضر، از روشی نوین و در حین حال با کارایی بالا مبتنی بر خوارزمی انتخابات (EA) جهت تخصیص بهینه منابع آب شبکه آبیاری و زه کشی دشت مغان در بخش کشاورزی طی سال های آماری ۹۵-۱۳۸۶ استفاده شد. خوارزمی انتخابات یک خوارزمی تکرارشونده بوده و از انتخابات ریاست جمهوری الهام گرفته و با مجموعه ای از راه حل های شناخته شده به عنوان جمعیت کار می کند. نتایج حاصل از این روش با نتایج خوارزمی رقابت استعماری (ICA) مورد مقایسه قرار گرفت. تابع هدف در بخش کشاورزی بر اساس هر یک از محصولات و عملکرد آن ها، بر اساس درآمد حاصله از هر محصول و سطح زیر کشت، تابع تقاضا مشخص و سپس بهینه سازی تابع هدف و تخصیص بهینه منابع آب توسط خوارزمی های انتخابات و رقابت استعماری انجام شد. نتایج اعمال خوارزمی های بهینه سازی EA و ICA به مسأله تخصیص بهینه آب نشان داد با اعمال سیاست های اقتصادی همانند تغییر الگوی کشت می توان به درآمدهای بالاتری در بخش کشاورزی رسید. در حالت کلی، نتایج خوارزمی انتخابات در مقایسه با خوارزمی رقابت استعماری نشان داد که در مورد دشت مغان می توان اظهار نمود با اعمال ضریب ۰/۹، ۱۳۵ میلیارد ریال، یعنی حدود ۴۰٪ درآمدهای حاصله از تخصیص بهینه منابع آب بین بخش کشاورزی نسبت به وضعیت کنونی بهبود می یابد.

### ۱-مقدمه

آب منبعی حیاتی برای هر پدیده زیستی و انسانی به شمار می رود. کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، وابسته به آبیاری است. از این رو محدودیت منابع آبی یکی از مهم ترین عواملی است که می تواند توسعه ی کشور را تحت تأثیر قرار دهد، لذا نیاز به روش های نوین جهت تخصیص بهینه آب می باشد. تخصیص آب عبارت از میزان آبی است که در هر یک از محدوده های مطالعاتی و حوزه های آبریز با لحاظ حقوق مصرف کنندگان قبلی، برای مصارف مختلف به وسیله وزارت نیرو مشخص و به شرکت ها ابلاغ می شود. (کیافر و همکاران، ۱۳۹۰ [-]). یکی از اساسی ترین \* نویسنده عهده دار مکاتبات: somayehemami70@gmail.com

مسائل پیش روی سیاست گذاران، مدیریت کارآمد، برنامه ریزی شده و هدفمند سیستم تخصیص منابع آب می باشد. تخصیص آب از نکته نظر اقتصادی در شرایط ایده آل بایستی کارآمد باشد. بدین معنی که توزیع آب به بهینه سازی سود اقتصادی و تخصیص با عدالت اجتماعی به توزیع برای حفظ منافع و تخصیص عادلانه آب به گروه هایی که از نظر اقتصادی ضعیف هستند، تمایل دارد. بنابراین وجود یک سیستم تخصیص آب مناسب مستلزم این است که آب در آن به عنوان یک کالای اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته شود. در برنامه ریزی های اقتصادی و کلان کشورهای مختلف، افزایش بهره وری استفاده از منابع یکی از مهم ترین شاخص های مورد توجه در توسعه کشاورزی بوده است (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۴ [-]).



بهبود کشت، اهداف زیست محیطی و اهداف کشاورزان شامل افزایش بازده ناخالص (درآمد) و ریسک مورد نظر را تعیین نمود. داده های مورد استفاده شامل الگوی تولید و استفاده از نهاده ها و قیمت هر یک از آن ها از میان بهره برداران منتخب که به طور تصادفی انتخاب شدند. در نهایت ارزش اقتصادی آب برابر با ۲۵۰ ریال، ۱۵۰۰ ریال و ۳۰۵۰ ریال تعیین شد.

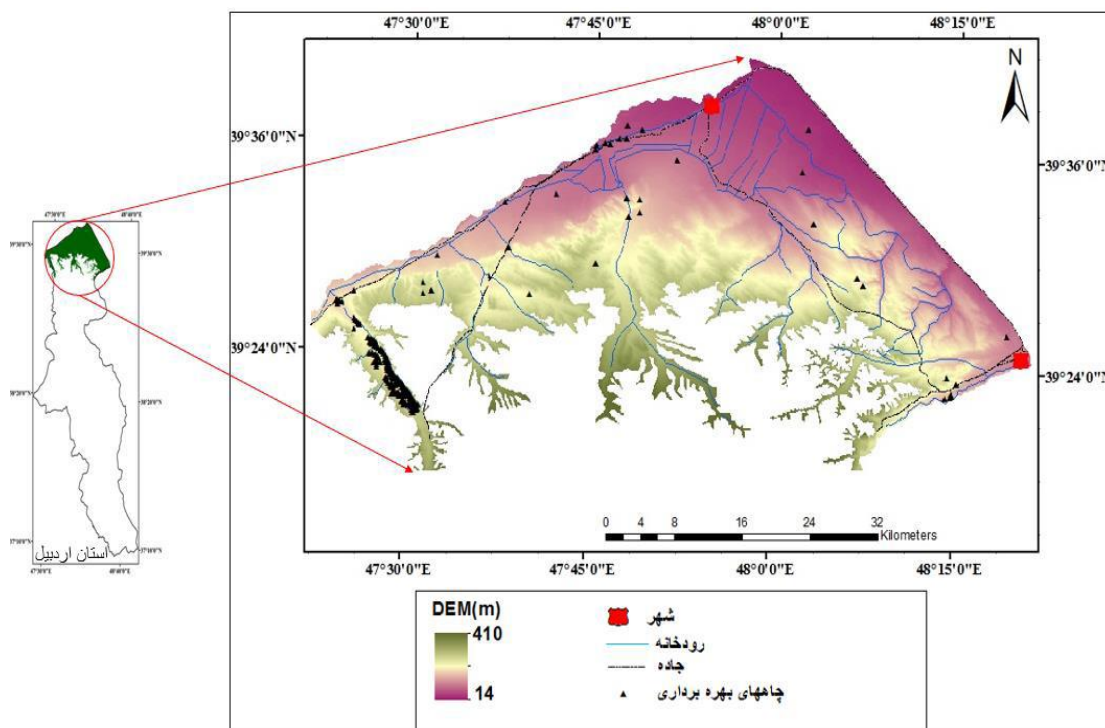
نصیری قیداری و معروفی (۱۳۹۵) [-]، با رویکرد چانه زنی چندهدفه و برنامه ریزی فازی با هدف بیشینه سازی سود اقتصادی کل آب بران به تخصیص بهینه منابع آب اقدام نمودند. نتایج بیانگر آن بود که با کاهش انتظارات اقتصادی، از ۵۵۳۶۳۶ به ۴۹۶۲۱۶ هزار دلار در سال می توان دست یافت. در پژوهشی سالازار و همکاران (۲۰۰۷)، راه حل همکارانه ارائه داده اند که سود اقتصادی حاصل از تولیدات کشاورزی را با در نظر گرفتن تأثیرات مخرب زیست محیطی متعادل ساخته اند. جانگا و کومار (۲۰۱۰) [-]، آب مصرفی با هدف بیشینه کردن منافع اقتصادی از طریق تخصیص آب آبیاری درون فصلی در دوره زمانی معین در شرایط چند محصولی را با استفاده از خوارزمی PSO ارائه نمودند. حبیبی داویجانی و همکاران (۲۰۱۳) [-]، با استفاده از خوارزمی پیشرفته GAPSO، مدل بهینه سازی تخصیص منابع آب در بخش های کشاورزی، صنعت و خدمات را ارائه نمودند. ایشان با استفاده از خوارزمی تلفیقی ژنتیک-هوش جمعی (GAPSO)، بیشینه سازی تابع هدف و تخصیص بهینه منابع آب بین بخش کشاورزی و صنعت را انجام دادند. نتایج نشان داد الگوی کشت، حذف سطح زیر کشت بعضی از محصولات و استفاده از منابع آبی بیش تر در حوضه صنعت می تواند در بالا بردن درآمدهای حاصله تا ۱۱۴ میلیارد ریال تأثیرگذار باشد. بگری و همکاران (۲۰۱۵) [-]، یک روش تخصیص بهینه آب تحت شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه آلفیوس<sup>۳</sup> گرجستان توسعه دادند. روش پیشنهادی آنان متشکل از سه تکنیک بهینه سازی، برنامه نویسی چند مرحله ای، برنامه نویسی فازی و پارامترهای فاصله ای بود. احمد و همکاران (۲۰۱۸) [-]، از یک برنامه چند هدفه دو مرحله ای خطی برای تخصیص بهینه منابع آب در حوضه رودخانه Swat پاکستان استفاده نمودند. نتایج مطالعه ی ایشان نشان داد که مدل استفاده شده یک رویکرد ساده، کاربردی، عملی و در عین حال کارآمد برای تخصیص بهینه آب می باشد.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان می دهد مدل های سری زمانی، خوارزمی های بهینه سازی، همبستگی، شبکه عصبی مصنوعی و دیگر روش های نوین بالاترین کارایی را در خصوص تخصیص و مدیریت بهینه منابع آب دارند.

روند یافتن جواب مسأله با توجه به پیچیدگی های حاکم بر مسائل منابع آب، به خصوص مسائل به شدت مقعر، گاه با مشکل روبرو است. به منظور رفع این مشکل استفاده از روش های تکاملی و فراکاوشی گسترش یافته است. تکنیک های محاسبات تکاملی، بر خلاف خوارزمی های جستجوی متداول، روی یک مجموعه از جواب ها در فضای جستجو عمل می کنند و با استفاده از همکاری و رقابتی که بین جواب ها ایجاد می کنند، می توانند خیلی سریع جواب بهینه را برای مسائل بهینه سازی پیچیده پیدا کنند. لذا امروزه، به دلیل پیچیدگی ها و مشکلات مختلف در حل مسائل بهینه سازی فعالیت های گسترده ای جهت استفاده از خوارزمی های فراکاوشی صورت گرفته است. در زمینه بهینه سازی اقتصادی تخصیص آب نیز در طی سال های اخیر، پژوهش های متعددی انجام گرفته است. خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۲) [-]، کاربرد تخصیص و مدیریت آب کشاورزی را با استفاده از تکنیک بهینه سازی PSO<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از مدل بیلان آب زیرزمینی معادلات مورد نیاز جهت تخمین نوسانات سطح آب را تعیین نمودند. نتایج مدل بر مبنای یک سال نرمال نشان داد که می توان با کاهش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت اغلب محصولات بهره و افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت گندم و جو و کلزا بیش ترین درآمد را از آب استحصال از آبخوان کسب نمود. حبیبی داویجانی و همکاران (۱۳۹۲) [-]، مدل بهینه سازی تخصیص منابع آب در بخش های کشاورزی، صنعت و خدمات را با استفاده از خوارزمی پیشرفته GAPSO<sup>۲</sup> ارائه نمودند. سپس براساس توابع تولید، سطح زیر کشت، عملکرد محصول و درآمد حاصله از هر محصول، تابع هدف تلفیقی مشخص گردید. نتایج تحقیق ایشان نشان داد در مجموع با تخصیص بهینه منابع آب بین بخش های مختلف (کشاورزی، صنعت و خدمات) می توان درآمدهای حاصله در منطقه کویر مرکزی ایران را ۵۶ درصد نسبت به وضعیت فعلی بهبود بخشید. زراعت کیش (۱۳۹۵) [-]، قیمت آب کشاورزی در منطقه لیشر را ضمن برآورد الگوی

1 Particle Swarm Optimization

2 Genetic- Particle Swarm Optimization Algorithm



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت مغان  
**Fig. 1. The geographical location of Moghan plain**

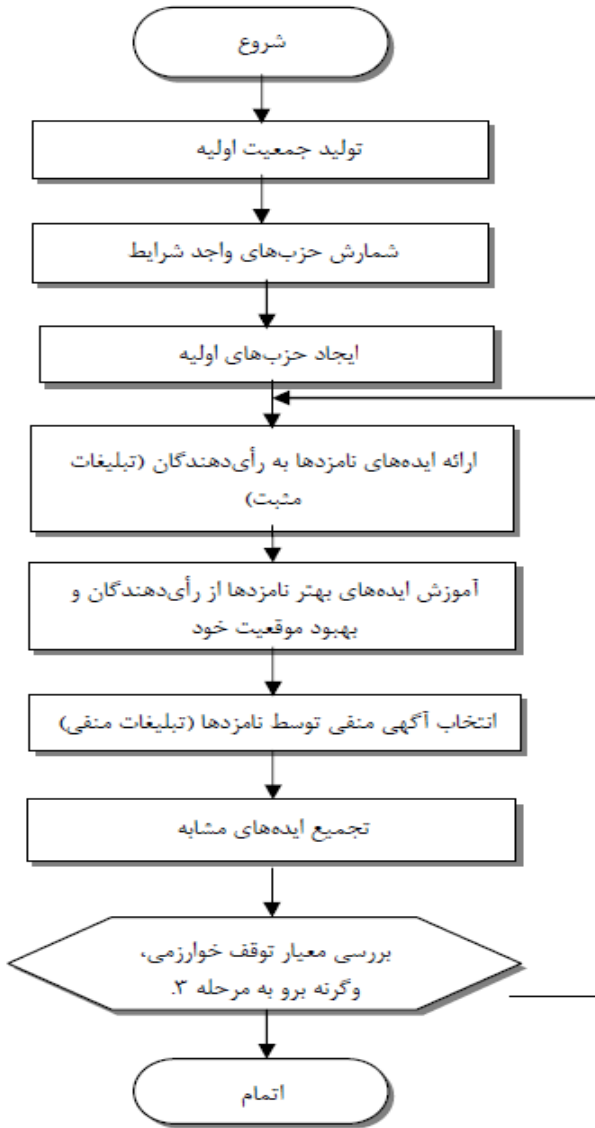
۳۹/۴۲ درجه نصف النهار شمالی واقع شده و به واسطه عبور رودخانه مرزی ارس این دشت به دو قسمت مغان ایران و میل جمهوری آذربایجان تقسیم گردیده است. مساحت منطقه ای که دشت مغان اطلاق می شود در حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار هکتار برآورد گردیده که پروژه توسعه بهره برداری از منابع آب رودخانه ارس در سطح ۹۰ هزار هکتار اجرا گردیده است. دشت مغان در ساحل راست رودخانه ارس واقع شده که از شمال به رود ارس و دشت میل در جمهوری آذربایجان و از شرق در امتداد خط مرزی به جمهوری آذربایجان، از جنوب به شهرستان گرمی و مشگین شهر و دامنه های رشته جبال سبلان و از غرب به شهرستان اهر محدود می باشد (شکل ۱).

جهت نیل به اهداف پژوهش حاضر، از آمار و اطلاعات منابع و مصارف در منطقه طرح و آمار بهره برداری دشت مغان استفاده شد. نوع غالب محصولات کاشته شده شامل گندم، جو، ذرت (سه نوع) و پنبه می باشد. در این تحقیق از آمار سال های ۹۵-۱۳۸۶ استفاده شده است. این اطلاعات شامل جریان ورودی سالانه به مخزن سد ارس، متوسط جریان خروجی سالانه از سد، متوسط ذخیره ماهانه، متوسط حجم آب سالیانه و متوسط سالانه آب تخصیص یافته

با توجه به پژوهش های انجام شده، بخش کشاورزی بیش ترین سهم مصرف منابع آب را به خود اختصاص می دهد، در همین راستا، در پژوهش حاضر تابع هدف غیر خطی، با توجه به میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی در نظر گرفته شده است. با توجه به این که تابع هدف و محدودیت های دیگر موجود در پژوهش حاضر از روندی غیر خطی پیروی می کنند، لذا جهت حل این مسأله و به منظور بررسی عملکرد و اثبات کارایی خوارزمی انتخابات (برای اولین بار) به عنوان روش تکاملی نوین و هم چنین سازگاری این خوارزمی با تعداد کم تری از پارامترها، با هدف بهبود وضع اقتصادی از طریق حداکثرسازی سود خالص برای تخصیص بهینه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی دشت مغان واقع در استان اردبیل استفاده شده است و نتایج حاصل از آن با نتایج روش خوارزمی رقابت استعماری مورد مقایسه قرار گرفت.

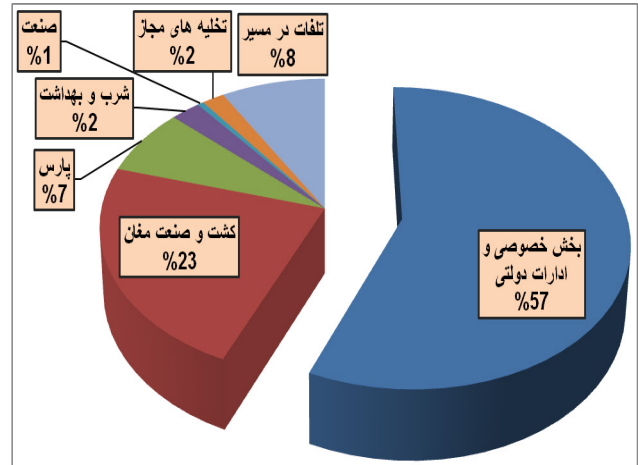
## ۲-مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه (شبکه آبیاری و زهکشی دشت مغان)  
 شبکه مغان جلگه وسیعی است که در شمال استان اردبیل و در غرب دریای خزر بر روی مدار ۴۸-۴۷/۵ درجه شرقی و ۳۹/۲۰-



شکل ۳. فلوچارت خوارزمی انتخابات  
Fig. 3. Flowchart of the election algorithm

انتخابات می باشد که در سال ۲۰۱۵ توسط امامی ابداع شد. این خوارزمی از انتخابات ریاست جمهوری الهام گرفته شده است. در سطح ملی، رئیس جمهور به عنوان رئیس کشور به طور مستقیم توسط مردم انتخاب می شود. پس از اعلام اسامی کاندیداهای تأیید صلاحیت شده، تبلیغات انتخاباتی در یک محدوده زمانی مشخص آغاز می شود. تبلیغات شامل دو بخش تبلیغات مثبت و منفی است که تبلیغات مثبت به ارائه ایده های نامزدها به رأی دهندگان و تبلیغات منفی به صورت انتخاب آگهی منفی توسط نامزدها اطلاق می شود (امامی و درخشان، ۲۰۱۵ [-]).



شکل ۲. سهم بخشهای مختلف مصرف در شبکه مغان (بر حسب درصد)  
Fig. 2. Part of different consumption in Moghan network (in percentage)

می باشد. تقاضای تخصیص آب از سد ارس در بخش های شرب، کشاورزی اراضی پایین دست، صنایع و محیط زیست تقسیم بندی می شود. همان گونه که قبلاً ذکر شد و با توجه به اطلاعات موجود، بیش ترین نیاز آبی در محدوده بخش کشاورزی (آبیاری مناطق پایین دست) می باشد. این گونه می توان بیان نمود که با توجه به این که مقادیر نیاز آب در بخش صنایع، شرب و محیط زیست تغییر چندانی نمی کند، بنابراین به تخصیص آب سد ارس در بخش کشاورزی پرداخته شد. کلیه اطلاعات مربوط به تبخیر و تعرق، نیاز آبی گیاهان مورد کشت در منطقه و هم چنین شیوه های کشاورزی مرسوم در منطقه، از شرکت بهره برداری از شبکه آبیاری و زه کشی دشت مغان استعلام و مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲).

از کل ۱۲۰۲/۶۹ میلیون متر مکعب حجم آب ورود به شبکه ۱۰۰/۲۴ میلیون متر مکعب آن (معادل ۸٪) در مسیر کانال اصلی شبکه هدر و مابقی به میزان ۱۱۰۲/۲۴ میلیون متر مکعب (معادل ۹۲٪) در شبکه توزیع شده است که از این مقدار ۸۶۸/۱۸ میلیون متر مکعب (معادل ۷۲/۲٪ کل آب ورودی) در بخش کشاورزی و باغات و ۲۳۴/۲۸ میلیون متر مکعب (معادل ۱۹/۵٪ آب ورودی به شبکه) در بخش غیرکشاورزی توزیع شده است.

## ۲-۲- خوارزمی انتخابات (EA)

یکی از خوارزمی های جستجو و بهینه سازی جدید، الگوریتم

آن‌ها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگ‌تر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات، از لحاظ قدرت به امپراطوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و یک نوع همگرایی به وجود خواهد آمد. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا وجود داشته باشد، با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند (آتش‌پز گرگری، ۲۰۰۷ [-]).

مراحل خوارزمی ICA به صورت زیر می‌باشد:

- چند نقطه تصادفی روی تابع انتخاب کرده و امپراطوری‌های اولیه را تشکیل بده.

- مستعمرات را به سمت کشور امپریالیست حرکت بده (سیاست همسان‌سازی).

- اگر مستعمره‌ای در یک امپراطوری، وجود داشته باشد که هزینه‌ای کم‌تر از امپریالیست داشته باشد؛ جای مستعمره و امپریالیست را با هم عوض کن.

- هزینه‌ی کل یک امپراطوری را حساب کن (با در نظر گرفتن هزینه‌ی امپریالیست و مستعمراتشان).

- یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب کرده و آن را به امپراطوری‌ای که بیش‌ترین احتمال تصاحب را دارد، بده.

- امپراطوری‌های ضعیف را حذف کن.

- اگر تنها یک امپراطوری باقی مانده باشد، توقف کن و گرنه به ۲ برو.

#### ۲-۴- نرمال‌سازی داده‌ها

هدف از نرمال‌سازی داده‌ها، یکسان‌سازی اهمیت ورودی‌های مختلف به مدل‌های مورد استفاده است. از آن جایی که وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می‌شود، بنابراین ورودی‌ها و خروجی‌ها باید بین ۰ و ۱ استاندارد شوند، از این رو داده‌های مورد استفاده به مدل به صورت رابطه ۱ نرمالیزه شدند.

$$Z_n = \frac{Z - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}} \quad (1)$$

برنده شدن یک کاندیدا در مرحله اول انتخابات ریاست جمهوری، نیازمند کسب اکثریت مطلق آرای شرکت‌کنندگان در انتخابات است. یعنی برای برنده شدن در انتخابات، یک کاندیدا بایستی بیش از ۵۰٪ آرای کسانی که در انتخابات مشارکت می‌کند، را به دست آورد. در صورتی که هیچ کدام از کاندیداها نتواند اکثریت مطلق آرا را کسب نماید، انتخابات به دور دوم کشیده می‌شود و بین دو کاندیدایی که بیش‌ترین تعداد آرا آورده باشند، صورت می‌گیرد. خوارزمی انتخابات یک خوارزمی تکرار شونده است که با مجموعه‌ای از راه حل‌های شناخته شده به عنوان جمعیت کار می‌کند. مبارزه‌ی تبلیغاتی هسته‌ی خوارزمی است و شامل سه گام تبلیغات مثبت، تبلیغات منفی و ائتلاف می‌باشد. این فرآیندها به قدری تکرار می‌شوند تا خوارزمی به بهینه سراسری همگرا گردد (امامی و درخشان، ۲۰۱۵ [-]).

فلوچارت خوارزمی EA در شکل ۳ ارائه شده است.

#### ۳-۲- خوارزمی رقابت استعماری (ICA)

همانند دیگر خوارزمی‌های تکاملی، این خوارزمی نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک «کشور» نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در خوارزمی ژنتیک) به عنوان امپریالیست<sup>۱</sup> انتخاب می‌شوند. باقی مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره<sup>۲</sup>، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه در صدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سبب در آوردن

1 Imperialist

2 Colony

$t$  بدون تنش آبی است. اندیس  $C$  معرف نوع محصول،  $J$  منطقه زراعی و  $t$  اندیس زمان (ماه) می باشد.

#### ۲-۷- قیود و محدودیت ها

- در حالت اولیه، ذخیره ی مخزن سد پر در نظر گرفته شده و سپس برداشت ها، کم می شود.

- آب مورد نیاز شرب و خدمات به طور کامل تأمین گردد.

- مقدار آب موجود در منطقه، بیش تر از مقدار آب لازم برای

محصولات در هر منطقه است.

- مجموع سطوح زیر کشت نباید از سطح کل منطقه بیش تر

باشد و همواره ثابت در نظر گرفته می شود.

- حجم ذخیره ی سد در انتهای سال کم تر از حجم اولیه آن نباشد.

روابط زیر بیانگر صورت ریاضی قیود و محدودیت های ذکر شده

می باشد:

$$W dem_{jt} \leq W av_{jt} \quad (5)$$

$$W dem_{jt} \equiv \sum_{c=1}^8 W dem_{jt} \quad (6)$$

$$W av_{jt} = SW_{jt} + GW_{jt} \quad (7)$$

$$GW_{jt} \leq PGW_{jt} \quad (8)$$

$$SW_{jt} = RDR_{jt} + BW_{jt} + Var_{jt} \quad (9)$$

$$BW_{jt} \leq PBW_{jt} \quad (10)$$

که در این روابط،  $W dem_{jt}$  آب تخصیص داده شده به منطقه

$W av_{jt}$  آب موجود در منطقه  $J$  در ماه  $t$ ،

$GW_{jt}$  آب تخصیص داده شده به محصول  $C$  در منطقه  $J$  در ماه  $t$ ،

آب زیرزمینی استفاده شده در منطقه  $J$  در ماه  $t$ .

#### ۲-۸- متغیرهای تصمیم

در مدل های بهینه سازی EA و ICA، متغیرهای تصمیم شامل

مقدار جریان تحویلی و مدت زمان تحویل آب می باشند. پس از تعریف

قیدها و محدودیت ها، برای قسمت های مختلف خوارزمی های EA و

ICA باید گزینه های مناسب را انتخاب نمود که البته انتخاب صحیح

در این رابطه،  $Z$  معرف داده به صورت خام،  $Z_n$  داده های نرمالیزه

شده،  $Z_{min}$  کمینه داده ها و  $Z_{max}$  بیشینه داده ها می باشد.

#### ۲-۵- نحوه ورود داده ها در خوارزمی های انتخابات و رقابت استعماری

در پژوهش حاضر، هدف بیشینه کردن درآمد ناخالص حاصل از

فروش محصولات زراعی و کمینه کردن خسارات ناشی از کمبود در

تخصیص منابع آب در بخش کشاورزی می باشد. روش انجام کار

به صورت زیر است:

- آماده سازی و آنالیز داده ها شامل بررسی همبستگی

- نرمال سازی داده ها

- ارزیابی و مقایسه خوارزمی های انتخابات و رقابت استعماری

درپیش بینی و ارائه برنامه تخصیص بهینه منابع آب شبکه آبیاری و

زه کشی دشت مغان در ماه های بهره برداری مشخص

#### ۲-۶- تابع هدف

با توجه به این که پس از شروع فصل زراعی، سطح زیر کشت

محصولات زراعی و هزینه های کشاورزی مقادیر ثابتی است، تابع هدف

به صورت بیشینه کردن درآمد ناخالص حاصل از فروش محصولات

زراعی و کمینه کردن خسارات ناشی از کمبود در تخصیص یه

مصارف شرب، صنایع و ... تابع هدف مدنظر در این پژوهش به صورت

رابطه های (۲) تا (۴) در نظر گرفته شده است.

$$\text{Maximize: } TB - TCE - TCS \quad (2)$$

$$TB = \sum_{j=1}^4 \sum_{c=1}^8 (Y * A) * P_c \quad (3)$$

$$Y_c = Y \max_c \left( 1 - \sum_{t=1}^n ky_{ct} \left( 1 - \frac{ET_c}{ET_{\max_c}} \right)_t \right) \quad (4)$$

در این روابط، TB سود ناخالص شبکه، TCS هزینه های کمبود

در تخصیص به بخش شرب و صنایع، TCE هزینه های کمبود در

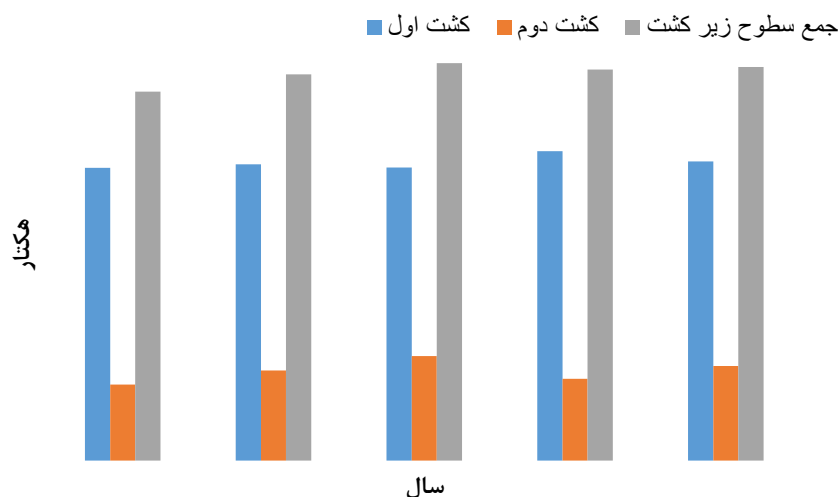
تخصیص بخش زیست محیطی،  $Y_c$  مجموع وزن محصول تولید شده

$C$  در منطقه  $J$  به ازای واحد سطح زیر کشت،  $Ac_j$  مجموع سطح

زیر محصول  $C$  در منطقه  $J$ ،  $P_c$  قیمت واحد وزن تولیدی محصول

$c$ ،  $Tmax_c$  حداکثر تولید محصول  $C$  بدون تنش آبی،  $ky_{ct}$  ضریب

حساسیت گیاه  $C$  در ماه  $t$  و  $Et_{max}$  مقدار تبخیر واقعی گیاه  $C$  در ماه



شکل ۴. نمودار سطح زیر کشت شبکه در پنج سال گذشته  
 Fig. 4. Graph of network cultivation area in the last five years

جدول ۱. پارامترهای مورد استفاده در خوارزمی های EA و ICA  
 Table 1. Parameters used in EA and ICA algorithms

ICA		EA	
100	تعداد کشورهای اولیه	100	تعداد جمعیت اولیه
6	تعداد استعمارگران اولیه	0/7	$N_c$ (تعداد منتخبین به عنوان نامزد اول)
6-100=94	تعداد مستعمرات	0/2	نرخ ائتلاف
2	$\beta$	0/3	نرخ انتخاب
$\pi/4$	$\gamma$	-	-
0/01	$\zeta$	-	-

تخصیص منابع آب مورد استفاده قرار می گیرند، به صورت جدول ۱ می باشند:

که  $N_c$  معرف تعداد افرادی است که در خوارزمی انتخابات به عنوان نامزد اول انتخاب می شوند، پارامترهای  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\zeta$  جهت مدل سازی سیاست جذب در خوارزمی رقابت استعماری مورد استفاده قرار می گیرند.  $\gamma$  پارامتری دلخواه می باشد که افزایش آن باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست شده و کاهش آن نیز باعث می شود تا مستعمرات تا حد ممکن، به بردار واصل مستعمره به استعمارگر، نزدیک حرکت کنند.  $\beta$  عددی بزرگ تر از یک و نزدیک به ۲ می باشد.

این گزینه ها تأثیر مستقیمی در نحوه عملکرد و سرعت این مدل در مسأله مدنظر خواهد داشت. هم چنین در این مطالعه برای هر یک از قسمت های خوارزمی های EA و ICA با توجه به قابلیت های بالای آن، گزینه های مختلف برای رسیدن به بهترین راه حل مورد امتحان قرار گرفت و در برخی موارد با آنالیز حساسیت انجام شده بهترین گزینه در هر مورد انتخاب شده است.

در شکل ۴، سطح زیر کشت در پنج سال زراعی گذشته را نشان می دهد.

پارامتر های خوارزمی های EA و ICA که در عمل بهینه سازی

مقدار ایده آل به ترتیب برای  $R^2$  و  $RMSE$  برابر یک و  $1-10\%$  می باشد. مقدار معیار نش ساتکلیف (NSE) از ۱ تا منفی بی نهایت تغییر می کند، به طوری که محدوده های  $0.75-0$  و  $0.36-0.75$  کم تر از  $0.36$  به ترتیب بیانگر عملکرد بسیار خوب، رضایت بخش و ضعیف مدل مورد استفاده می باشد.

### ۳- نتایج و بحث

در پژوهش حاضر از ۹ سال آمار ماهانه برای دوره آماری سال های ۸۶ تا ۹۵ جهت انجام تجزیه و تحلیل استفاده شد. ابتدا بر اساس رابطه و تناسب، داده های پرت کنار گذاشته شدند و بر این اساس، مجموعه داده گردآوری شده شامل ۱۰۶۴ داده حاصل شد. از ۷۵ درصد داده های موجود به منظور آموزش شبکه و از ۲۵ درصد داده ها برای صحت سنجی مدل استفاده شد. وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می شود. از این رو داده های ورودی به مدل به صورت رابطه (۱) نرمالیزه شدند.

#### ۳-۱- صحت سنجی

پس از معرفی تابع هدف و انجام تحلیل حساسیت و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم و به کار گیری آن ها در مدل ها، متغیرهای تصمیم مسأله، محاسبه گردید. هم چنین جهت تخصیص منابع آب، از تعداد تکرار ۱۰۰۰ که دارای عملکرد مناسب و خطای کم تری برای مدل های به کار گرفته بود، استفاده شد.

به منظور صحت سنجی نتایج حاصل از مدل سازی، با فرض ثابت بودن تمامی ضرایب و پارامترهای به دست آمده، نتایج حاصل از مدل ها با داده های مشاهداتی، مقایسه شد. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر مشاهده ای در شکل ۵، نشان داده شده است.

با توجه به شکل بالا، مشاهده می شود نتایج حاصل از اجرای خوارزمی EA در مقایسه با خوارزمی ICA بسیار نزدیک به مقدار اندازه گیری شده مقدار آب تخصیص یافته می باشد و این مسأله بیانگر قدرت، کارایی و راندمان بسیار بالای این روش در سیستم های منابع آب می باشد.

بر اساس نتایج حاصله، میانگین مقادیر حاصل از پارامترهای ارزیابی خوارزمی های EA و ICA،  $R^2$ ،  $RMSE$  و NSE به ترتیب

$\beta=2$  یک انتخاب مناسب می تواند باشد. وجود ضریب  $\beta>1$  باعث می شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت های مختلف به آن نزدیک شود.  $\beta$  عددی مثبت است که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می شود. کوچک در نظر گرفتن  $\beta$  باعث می شود که هزینه ی یک امپراطوری، تقریباً برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور امپریالیست) شود و افزایش  $\beta$  نیز باعث افزایش تأثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین هزینه ی آن می شود.

مقادیر عددی پارامترهای ارائه شده در جدول ۱ برای خوارزمی های EA و GA پس از بررسی مقادیر مختلف برای پارامترها و اجرای هر دو خوارزمی به ازای این مقادیر تا رسیدن به بهینه ترین جواب انتخاب شدند.

#### ۹-۲- شاخص های ارزیابی

جهت مقایسه نتایج خوارزمی های EA و ICA با یکدیگر و مقادیر مشاهداتی و نیز ارزیابی آن ها نیاز به شاخص هایی است که بتواند کارکرد مدل ها را در کل مجموعه داده ها در مقایسه با نتایج تجربی، مورد قضاوت قرار دهد. در پژوهش حاضر از شاخص های ضریب هم بستگی ( $R^2$ )، مجذور مربعات خطا (RMSE) و معیار نش-ساتکلیف (NSE) برای این منظور استفاده شد.

#### ضریب هم بستگی

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

#### مجذور مربعات خطا

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (12)$$

#### معیار نش-ساتکلیف

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (13)$$

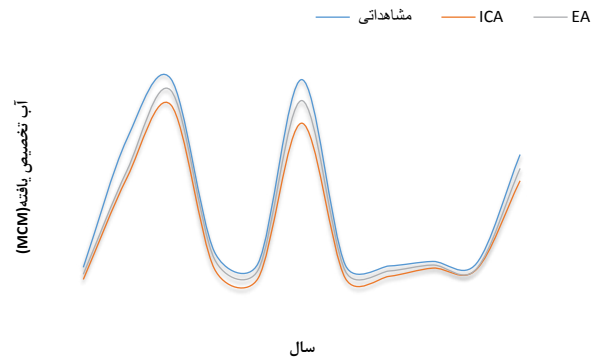
که در این روابط،  $x_i$  مقادیر پیش بینی شده،  $y_i$  ها مقادیر مشاهده شده،  $\bar{x}$  میانگین  $x$  و  $\bar{y}$  میانگین  $y$  ها می باشد.



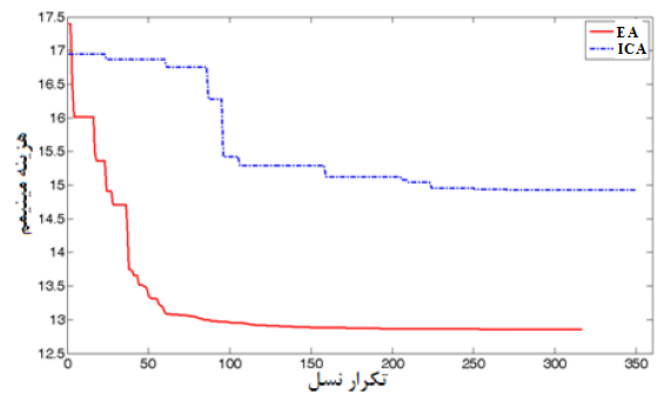
برابر با ۰/۹۳، ۰/۰۲۷، ۰/۷۴، ۰/۹۰، ۰/۳۸ و ۰/۷ به دست آمد که نتایج حاصل از خوارزمی EA در مقایسه با نتایج خوارزمی ICA در محدود ایده آل تر و رضایت بخش تری قرار دارند و روند خاصی در خطاها که حاکی از تجمع خطا در مدل ها باشد، ملاحظه نمی گردد. شکل ۶، هزینه مینیمم خوارزمی های EA و ICA را بر حسب تکرار نسل نشان می دهد. همان گونه که در این شکل نیز نشان داده شده است، حد نهایی همگرایی خوارزمی EA تقریباً برابر با ۱۲/۸۱۲۲ که در مقایسه با خوارزمی ICA (۱۴/۹۳۸۴۵) کمتر و نیز نرخ همگرایی خوارزمی EA، بیش تر از خوارزمی ICA می باشد. در شکل ۷، سود خالص در هر سال با اعمال ضرایب ۰/۶، ۰/۷۵ و ۰/۹ برای دو خوارزمی EA و ICA و مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شده است. با توجه به شکل، مقدار سود در بازه زمانی ۸۸-۱۳۸۶ با روند صعودی و رو به رشد مواجه بوده ولی سپس روند نزولی را طی می کند. اعمال ضریب ۰/۹ در مقایسه با اعمال دو ضریب ۰/۷۵ و ۰/۶، در بردارنده سود بیشتر حاصل از فروش محصولات می باشد. در بین سال های مورد بررسی کمترین مقدار سود مختص سال ۱۳۹۰ می باشد که دلیل آن را می توان در سطح زیرکشت بهینه و مقدار آب تخصیص داده شده در منطقه دانست. هم چنین بیشترین مقدار سود حاصل شده مربوط به سال های ۱۳۷۶، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ می باشد که حاکی از رشد کشاورزی در منطقه بوده است.

با توجه به نتایج حاصله (جدول ۲ و شکل ۷)، خوارزمی EA با تخصیص ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب حجم در سال دارای ۸/۸٪ استفاده از منابع آب در حالت بهینه در بخش کشاورزی می باشد. در حالت کلی باتوجه به تخصیص های صورت گرفته توسط روش خوارزمی EA، ۱۳۵ میلیارد ریال درآمد حاصل در حالت بهینه تخصیص منابع آب در مقایسه با روش ICA (۱۱۴ میلیارد ریال)، حاصل می شود که برابر با ۴۰ درصد رشد اقتصادی در بخش کشاورزی می باشد (شکل ۷).

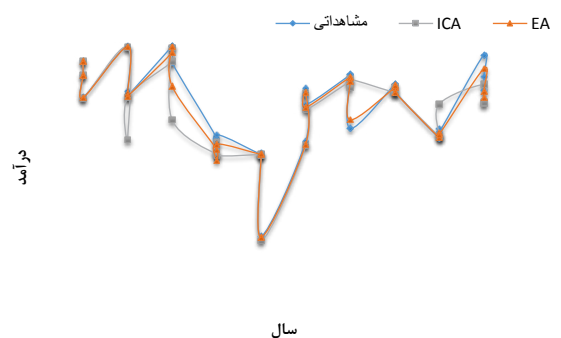
پس از اثبات کارایی و دقت خوارزمی EA در تخصیص بهینه و اقتصادی منابع آب دشت مغان در مقایسه با خوارزمی ICA در شکل ۷، سطح زیرکشت بهینه در ابتدای هر ماه بر حسب هکتار توسط خوارزمی انتخابات پیش بینی ارائه شده است. با بررسی شکل ۸، مشخص می شود که کل سطح زیر کشت بهینه محصولات معادل ۲۴/۶۹۵۳۳ هکتار می باشد. با توجه به نتایج حاصل



شکل ۵. مقایسه مقادیر آب تخصیص یافته مشاهده‌ای و حاصل از اجرای خوارزمی های EA و ICA  
Fig. 5. Comparison of observed allocated water values from the implementation of EA and ICA algorithms



شکل ۶. هزینه مینیمم EA و ICA بر حسب تکرار نسل  
Fig. 6. Minimum cost of EA and ICA in terms of generation repetition

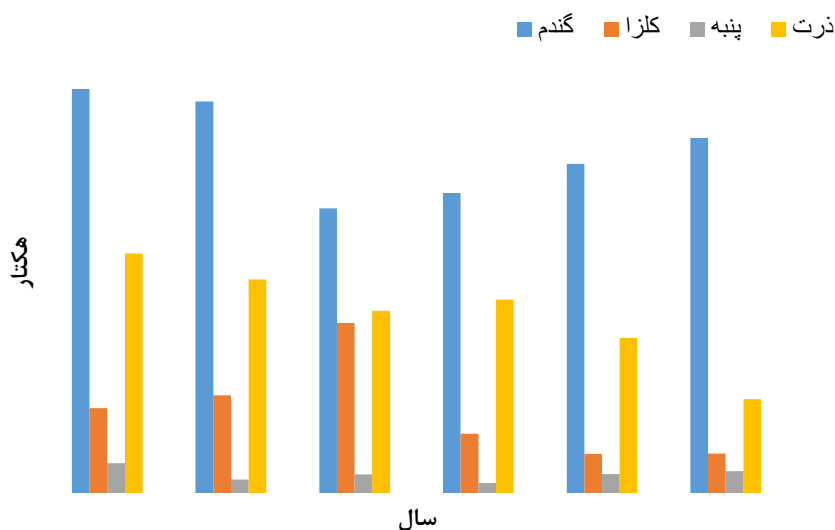


شکل ۷. سود خالص در هر سال با اعمال ضرایب ۰/۶، ۰/۷۵ و ۰/۹ برای دو خوارزمی EA و ICA  
Fig. 7. Net profit for each year for applying coefficients of 0.6, 0.75, and 0.9 for two EA and ICA algorithm

جدول ۲. مقایسه اقتصادی خوارزمی های EA و ICA در بخش کشاورزی

Table 2. Economic comparison of EA and ICA algorithm in the agricultural sector

مدل	مصارف آبی	مقدار مصرف آب در بهینه‌ترین حالت (میلیون مترمکعب)	درآمد حاصل (میلیارد ریال)	رشد اقتصادی (%)
ICA	کشاورزی	1420	114	33
	خدمات	-	-	-
EA	کشاورزی	1800	135	40



شکل ۸. کل سطح زیرکشت بهینه در ابتدای هر ماه بر حسب هکتار، براساس مقادیر تخمینی حاصل از خوارزمی انتخابات

Fig. 8. Total optimal cropping area at the beginning of each month based on the predicted values of the EA algorithm

زیر کشت (۳۴۸۰۰ هکتار) به خاطر سودآوری اقتصادی بالای این محصول ایجاد شده است. در مجموع بنابراین لازم است که الگوی سودآوری اقتصادی در این منطقه باید از سمت محصولات زراعی به سمت محصولات با درآمد بالا و اقتصادی تمایل پیدا کند.

### ۳-۲- مقایسه مطالعه حاضر با نتایج سایر پژوهشگران

مقادیر درآمد حاصله (رشد اقتصادی) حاصل از تخصیص اقتصادی در حوزه منابع آب تحقیق حاضر با نتایج به دست آمده از مطالعه

این گونه استنباط می شود که محصول پنبه به دلیل بازده اقتصادی پایین نسبت به سایر محصولات دارای سطح زیر کشت کمتری است. با توجه به شکل ۸ مشاهده می شود که طی سال های زراعی ۸۹ تا ۹۵، محصول ذرت با کاهش سطح زیر کشت ۴۰٪ (۱۸۰۰ هکتار)، محصول گندم با افزایش ۱۵٪ (۲۹۵۵۱ هکتار) و محصول پنبه و کلزا به ترتیب با کاهش ۲۵٪ (۲۲۰۰ هکتار) و ۵۰٪ (۳۸۶۰ هکتار) سطح زیر کشت مواجه بوده اند. لذا محصول گندم به سبب سود اقتصادی بالا به عنوان محصول زراعی پر درآمد منطقه تلقی شده و سطح

## مراجع

- [1] A. Parhizkari, M. Mozaffari, M. Khaki, H. Taghizadeh-Ranjbari, Optimal water resource and land allocation in Roodbar-Alamut area using GGFP model, *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(4) (2015) 11-24.
- [2] H. Emami, F. Derakhshan, Election algorithm: A new socio-politically inspired strategy, *AI Communications*, 28 (2015) 591-603.
- [3] E. Atashpaz-Gargari, Development of social optimization algorithm and its efficiency review, Master's Thesis, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, (2007).
- [4] I. Ahmad, F. Zhang, J. Liu, M. N. Anjum, M. Zaman, M. Tayyab, M. Waseem, H. U. Farid, A linear bi-level multi-objective program for optimal allocation of water resources. *Water Resources*, Plos One, 13(2): e0192294.
- [5] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192294> (2018).
- [6] A. Khasheie-Siuki, B. Ghahreman, M. Kucheckzadeh, Application of agricultural water allocation and management using PSO optimization technique (case study: Neishabour plain), *Soil and Water journal*, 27(2) (2013) 292-303.
- [7] Jihad Keshavarzi, Report of water, (2015).
- [8] M. Janga Reddy, D. Nagesh Kumar, Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using elitist-mutated particle swarm optimization, *Hydrology Science Journal*, 52(4) (2010) 686-701.
- [9] E. Bekri, M. Disse, P. Yannopoulos, Optimizing water allocation under uncertain system conditions for water and agriculture future scenarios in Alfeios river basin (Greece), Part B: Fuzzy-boundary intervals combined with multi-stage stochastic programming, *Water*, 7 (2015) 6427-6466.
- [10] H. Kiafar, S. A. Sadreddini, A. H. Nazemi, H. Sanikhani, Water allocation in irrigation and drainage network using genetic algorithm (case study: Sofi-Chay network), *Irrigation and Water Engineering Journal*, 2 (5) (2010) 52-61.

حبیبی داویجانی و همکاران (۱۳۹۲) [-] مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بیانگر آن است که در منطقه دشت مغان با توجه به وضعیت منابع آب در مقایسه با بخش های مرکزی و کویری ایران، محصول گندم به سبب سود اقتصادی بالا به عنوان محصول زراعی پردرآمد منطقه تلقی شده و در نتیجه تخصیص اقتصادی منابع آب توسط خوارزمی EA در این منطقه با رشد اقتصادی ۴۰ درصدی روبرو خواهد بود.

## ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، برای اولین بار جهت تخصیص بهینه با رویکرد حداکثرسازی سود اقتصادی آب در شبکه آبیاری و زه کشی دشت مغان از روش های نوین و قدرتمند خوارزمی های EA و ICA با تعداد تکرار ۳۰۰۰ بهره گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای دو مدل با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت و نتیجه گرفته شد نتایج حاصل از دو روش EA و ICA، از تطابق مناسبی با داده های مشاهداتی برخوردارند و این نشان دهنده قدرت و کارایی روش های پیشنهادی است. مقدار بالای ضریب همبستگی به دست آمده از خوارزمی EA ( $R^2=0.93$ )، در مقایسه با خوارزمی ICA، نشانگر تطابق مناسب مقادیر مشاهداتی با مقادیر حاصله از اجرای خوارزمی است که توانایی و دقت بالای روابط بین متغیرهای ورودی با خروجی است. نتایج بیانگر این است که در پیش بینی مقادیر منابع آب، روش خوارزمی EA با تخصیص ۱۳۵ میلیارد ریال درآمد در بخش کشاورزی، بسیار بهینه عمل نموده و در یافتن جواب بهینه از سرعت و دقت بالایی برخوردار است. هم چنین باید خاطر نشان کرد که در بهینه سازی بخش کشاورزی، با استفاده از تغییر الگوی کشت با حذف کاشت سه محصول پنبه، کلزا و ذرت (به دلیل کم ترین بازده اقتصادی نسبت به محصول گندم) و با افزایش ۱۵٪ سطح زیر کشت محصول گندم (۳۴۸۰۰ هکتار)، به بهینه سازی سودآوری و رشد اقتصادی منطقه دشت مغان دست یافته شد. هم چنین بهره گیری از این تخصیص می تواند به حداکثرسازی سود اقتصادی در مجموع تا ۴۰٪ نسبت به وضعیت کنونی منطقه مورد مطالعه کمک نماید. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و اثبات کارایی روش پیشنهادی، می توان این تکنیک را برای دیگر مسائل بهینه سازی در حوضه منابع آب نیز تعمیم داد.

- [13] S. Y. Zerat-Kish, Environmental assessment of water in agriculture with an environmental approach, Iranian journal of Agricultural Economics and Development research, 47 (2-1) (2015) 259-269.
- [14] O. Nasiri-Gheydari, S. Marofi, A multi-objective bargaining and Fuzzy programming approaches for optimal water allocation with emphasis on deficit irrigation, Journal of Water and Soil, 31 (2) (2017) 434-448.
- [11] M. Habibi-Davijani, M. Bani-Habib, S. R. Hashemi, Development of optimization model for water allocation in agriculture, industry and service sectors by using advanced algorithm, GAPSO, Journal of Water and Soil, 27(4) (2013) 680-691.
- [12] R. Salazar, F. Szidarovszky, E. Coppola, A. Rojano, Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico, Journal of Environmental and Management, 84 (2007) 560-571.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Emami, Y. Choopan, *Optimal Economic of Water Allocation Using EA and ICA Evolutionary Algorithms*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(3) (2020) 601-612.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14789.5741](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14789.5741)

