

## بهینه‌سازی اقتصادی زمان‌بندی آبیاری برخی گیاهان زراعی در دشت زاوه استان خراسان رضوی

فاطمه رستگاری پور<sup>۱\*</sup>، فاطمه عزیززاده، تکتم محتشمی و امیر سالاری

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه.

[f.rastegaripour@torbath.ac.ir](mailto:f.rastegaripour@torbath.ac.ir)

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربت حیدریه.

[f.azizade2014@gmail.com](mailto:f.azizade2014@gmail.com)

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه.

[t.mohtashami@prof.torbath.ac.ir](mailto:t.mohtashami@prof.torbath.ac.ir)

دکتری مهندسی آب، دانشگاه تربت حیدریه.

[salari.1361@yahoo.com](mailto:salari.1361@yahoo.com)

### چکیده

بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی می‌باشد. در طی سال‌های اخیر به جهت عدم توجه به این نهاده تولیدی کمیاب و استفاده‌های نادرست و بیش‌ازحد و نیز خشک‌سالی‌ها، مسئله کمبود آب به یک بحران جدی تبدیل شده است. از این رو برنامه‌ریزان باید در راستای مصرف بهینه آب تصمیم‌گیری کرده و با تهیه الگوی کشت مناسب به همراه کاربرد فناوری‌های هوشمند سیستم‌های آبیاری از هدر رفت و استفاده نادرست آب ممانعت نمایند. در این پژوهش، مدل مورد استفاده الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب است که در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی گردید. برای انجام این مطالعه، داده‌های سطوح زیر کشت، عملکرد، قیمت و هزینه تولید محصولات زراعی آبی منتخب دشت زاوه استان خراسان رضوی شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه و چغندر قند از سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ تا سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان زاوه جمع‌آوری شد. همچنین آمار و اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی و عرضه آب ایستگاه صنوبر مورد استفاده قرار گرفت. برخی داده‌های مورد نیاز نیز از طریق مشاوره با کارشناسان حاصل شد. مقایسه نتایج تخمینی با آمار واقعی سطوح زیر کشت هر یک از محصولات در هر سال نشان داد که سطح زیر کشت بهینه بدست آمده از مدل برای محصولات گندم و جو نسبت به آمار واقعی کمتر بوده است. اما محصول ذرت علوفه‌ای افزایش سطح زیر کشت دارد که بسیار مطلوب است و سبب افزایش بازده برنامه زمان‌بندی و کشاورزی پایدار می‌شود. با توجه به اهمیت حداقل شدن انحراف برنامه زمان‌بندی آبیاری ارائه شده توسط کارشناس و کشاورز پیشنهاد می‌شود با نظر کارشناسان و کشاورزان، برنامه مدونی برای زمان‌بندی آبیاری محصولات کشاورزی طراحی و مورد استفاده کشاورزان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی بهینه، الگوریتم ژنتیک چندهدفه، مرتب‌سازی نامغلوب.

۱ - نویسنده مسئول: تربت حیدریه- دانشگاه دولتی تربت حیدریه- گروه اقتصاد کشاورزی.

\* - دریافت: آذر ۱۳۹۵ و پذیرش: تیر ۱۳۹۶

## مقدمه

داخل و خارج کشور انجام شده است. به عنوان نمونه در مطالعه‌ای مدل‌سازی پویای سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل نشان داد تغییر الگوی کشت به کشت پیشنهادی (در این تحقیق کشت گندم با نیاز آبی ۳۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار) به عنوان یک سیستم برتر می‌تواند گامی اثر بخش در جهت بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد باشد (حسینی و باقری، ۱۳۹۲).

در مطالعه دیگری کاربرد روش‌های فرا ابتکاری در بهینه‌سازی سیستم‌های چند هدفه منابع آب (مطالعه موردی: سد استور و پیر تقی در حوضه آبریز قزل اوزن) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب سازی نامغلوب نسخه دوم<sup>۲</sup> جواب-های مناسب‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه داد و یافتن راه حل بهینه، منجر به دستیابی به درآمد بیشتر به میزان ۱/۸۴ میلیارد ریال شده و برای کنترل سیلاب، حجم آب ذخیره به میزان ۱/۱۳ میلیون متر مکعب در دو مخزن مورد نظر بیشتر شد (حجتی و همکاران، ۱۳۹۲). استفاده تلفیقی پایدار از منابع آب سطحی و زیرزمینی را در تعیین الگوی بهینه کشت در دشت قزوین در مطالعه دیگری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که با در نظر گرفتن محدودیت بهره‌وری از منابع آب زیرزمینی، بهینه‌سازی با هدف بیشینه‌سازی منافع اجتماعی، منافع بیشتری را عاید منطقه کرد.

همچنین، توزیع زمانی برداشت از منابع آب زیرزمینی در هر یک از الگوهای برآورد شده، با توجه به نیاز آبی محصولات منتخب در ماه‌های مختلف سال، متفاوت بوده و با توجه به الگوی کشت پیشنهادی تغییر می‌کند (باریکانی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین در مطالعه-ای، تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم

آب از مهم‌ترین نهاده‌های تولید در کشاورزی ایران محسوب می‌شود. مجموع حجم بارش سالانه در ایران، ۴۱۷ میلیارد متر مکعب است که صرفاً ۱۲۵ میلیارد متر مکعب از این حجم به دو صورت سطحی و زیرزمینی قابل استفاده می‌باشد و جزء منابع آب تجدید شونده است. از طرف دیگر حدود ۸۵ تا ۹۰ میلیارد متر مکعب آن به بخش کشاورزی اختصاص دارد (بی‌نام<sup>۱</sup>، ۱۳۹۳). از آنجا که این بخش بزرگ‌ترین مصرف کننده آب در زیر ساختارهای مختلف اقتصادی کشور است، بالتبع تلفات عمده آب نیز به این بخش تعلق دارد (نظری و همکاران، ۱۳۸۱).

راندمان آبیاری در بخش کشاورزی در حدود ۴۰ درصد بوده و بقیه آن در مزارع تلف می‌گردد (بی‌نام<sup>۳</sup>، ۱۳۹۳). استفاده از آب برای آبیاری مزارع، منابع آب را تحت تنش قرار داده و سرانجام منجر به کاهش منابع آبی در منطقه می‌شود. این رویداد مدیریت بهره برداری از منابع آب را روز به روز پر اهمیت‌تر می‌کند (بی‌نام، ۱۳۸۷).

دشت زاوه یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی بوده و در قسمت شرق شهرستان تربت حیدریه و جنوب شهر دولت آباد واقع شده است و از نظر آب و هوایی این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه محدوده‌ی دشت ۲۷۵ میلی‌متر (تقریباً یک‌سوم میانگین بارندگی جهانی) است (بی‌نام<sup>۱</sup>، ۱۳۹۳). دشت زاوه - تربت حیدریه دچار مشکلاتی همچون کمبود آب کشاورزی و پایین آمدن راندمان آبیاری محصولات کشاورزی است (بی‌نام<sup>۳</sup>، ۱۳۹۳). الگوریتم‌های ژنتیک، به عنوان یکی از راه‌حل‌های یافتن جواب مسئله با استفاده از علم رایانه در بین روش‌های مرسوم در هوش مصنوعی مطرح است (جورج و یوان<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳).

در زمینه مدیریت منابع آب تاکنون مطالعاتی در

<sup>2</sup>- Non- dominated Sorting Genetic Algorithm(NSGA-2)

<sup>1</sup>. George and Yuan

خشکسالی و سایر تغییرات آب و هوایی استفاده شده است (کیو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰).

در مطالعه حاضر، سه تابع هدف تحت عناوین پیشینه سازی سود ناخالص کشاورزان، کمینه سازی اختلاف برنامه زمان بندی آبیاری محصولات منتخب و پیشینه سازی تأمین آب آبیاری محصولات با روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب سازی نامغلوب در نرم افزار متلب<sup>۴</sup> پیاده سازی خواهد شد، تا مجهولات هر یک از توابع هدف به طور همزمان حاصل گردد. سطوح زیر کشت محصولات منتخب گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه و چغندر قند از سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ تا سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، مجهول تابع سود ناخالص کشاورزان است. همچنین اختلاف آبیاری زود هنگام و دیر هنگام و نیز تقاضای آب آبیاری هر یک از محصولات منتخب به ترتیب مجهولات توابع اختلاف برنامه زمان بندی آبیاری محصولات منتخب و تأمین آب آبیاری می‌باشد. اهداف مطالعه شامل پیشینه‌سازی بازده ناخالص کشاورزان، کمینه‌سازی اختلاف برنامه زمان بندی واقعی و تدوین شده آبیاری و پیشینه‌سازی تأمین نیازهای آبی محصولات کشاورزی می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

جهت انجام این مطالعه، داده‌های مورد نیاز برای محصولات زراعی آبی منتخب دشت زاوه شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه و چغندر قند از قبیل قیمت و عملکرد محصولات، انواع هزینه‌های کاشت تا برداشت گیاهان از سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ تا سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان زاوه جمع‌آوری شد (تابع هدف اول تحت عنوان سود ناخالص کشاورزان). همچنین آمار و اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی و عرضه آب ایستگاه صنوبر مورد استفاده قرار گرفت (تابع هدف سوم تحت عنوان تأمین آب آبیاری محصولات منتخب). برخی داده‌های مورد نیاز

ژنتیک بررسی شد. نتایج نشان داد، اختلاف مقدار آب تخصیص یافته واقعی و مقدار بهینه در مناطق مختلف به طور متوسط برابر ۵/۰ میلیون متر مکعب بود. همچنین میانگین سطح زیر کشت حاصل از مقادیر واقعی سه درصد بیشتر از سطح زیر کشت حاصل از مقادیر پیش بینی منابع آب بود. بر مبنای سطح زیر کشت بهینه، مقدار سود حاصل از فروش محصولات در منطقه نوسان داشته و روند خاصی را نشان نداد (کیافر و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعه دیگری بهره برداری منابع زیست محیطی چند هدفه بر اساس مدل کیفیت آب و بهبود الگوریتم ژنتیک، در سه سد کشور چین بررسی شد. این مطالعه مدل عملیاتی سازگار با محیط زیست را به کمک الگوریتم ژنتیک چند هدفه پیشنهاد داد. این فرآیند برای مدیریت کیفیت آب رودخانه نزدیک به مخازن چین اجرا شد. نتایج نشان داد، بسیاری از منافع در عملیات زیست محیطی بهتر از منافع در عملیات‌های سنتی و قدیمی است (هیو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). در تحقیق دیگری ساختار مدیریت منابع آبی حاشیه مرزها در کشورهای آسیای مرکزی بررسی شد. از آنجا که منابع آبی از پتانسیل‌های منابع طبیعی هر کشور است لذا مسائل مدیریت منابع آب رودخانه‌های مرزی به صورت فزاینده-ای به دلیل ارزش گذاری مجددشان ضروری است لذا، همکاری‌های بلند مدت در حوزه‌های حاشیه‌ای و تنظیم مصرف درست منابع آبی توسط سیاستمداران، منجر به گسترش پایه‌های حقوقی و تثبیت قانون می‌شود و از این طریق سطح تکنیکی و تکنولوژی حمایت می‌گردند (سیداکمتهو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴).

همچنین در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات آب و هوایی و سیستم‌های حمایت از تصمیم در مدیریت منابع آبی پرداخته شد. مدیریت منابع آبی به مهارت‌های لازم و کافی به ویژه در موقعیت‌های بحرانی مانند تغییرات آب و هوایی نیاز دارد. این مطالعه برای مدیریت طرح‌های حفاظتی منابع آبی رودخانه‌های کشور ایتالیا در دوره‌های

<sup>۳</sup>. Kuo et al

<sup>۴</sup>. Matlab

<sup>۱</sup>. Hu et al

<sup>۲</sup>. Seidakhmetov et al

نیز از طریق مشاوره با کارشناسان حاصل شد (تابع هدف دوم تحت عنوان انحراف برنامه زمان‌بندی آبیاری محصولات منتخب). در نهایت به منظور استخراج همزمان خروجی‌های مدنظر هر یک از توابع هدف از مدل الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب در نرم افزار متلب استفاده شد.

بهینه‌سازی ابزاری ریاضی است که برای یافتن پاسخ بسیاری از پرسش‌ها در خصوص چگونگی راه حل مسائل مختلف به کار می‌رود. در بهینه‌سازی از یافتن بهترین جواب برای یک مسئله صحبت به میان می‌آید (اسفهان، ۱۳۸۷). استفاده از روش‌های تحلیلی برای بهینه‌سازی توابع پیچیده و چند متغیره کارساز نبوده و در مواردی نیز عملاً غیر ممکن است. روش الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های عددی است که در مدت‌زمان اندکی کاربردهای گسترده‌ای در مسائل بهینه‌سازی یافته است. الگوریتم ژنتیک برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط جان هلند<sup>۱</sup> مطرح شد (لاورنس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱). الگوریتم ژنتیک، برای حل گستره وسیعی از مسائل دنیای واقعی از قبیل جست‌وجو، بهینه‌سازی پیوسته، زمان‌بندی کارها، مهندسی کنترل، طراحی و غیره به‌کاررفته است (صنعی آباده و جبل عاملیان، ۱۳۹۲).

در الگوریتم‌های ژنتیک، بسیاری از مکانیسم‌هایی که در زیست‌شناسی وجود دارند، نظیر انتخاب بهتر، ترکیب ژن‌ها، جهش ژن‌ها، مهاجرت افراد جمعیت، محلی بودن گونه‌ها و غیره شبیه‌سازی می‌شوند. الگوریتم ژنتیک بر روی جمعیتی از راه‌حل‌های بالقوه به جست‌وجوی راه‌حل نهایی می‌پردازند. بر این اساس، در ابتدا تعدادی از افراد یا جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی ساخته‌شده و تابع هدف برای تک‌تک آن‌ها ارزیابی می‌شود. اگر شرط رسیدن به جواب برقرار نباشد (به جواب بهینه نرسیده باشد)، نسل بعدی با انتخاب والدین بر اساس میزان تناسب آن‌ها تولید می‌شوند و فرزندان با احتمالی ثابت

دچار جهش می‌شوند (کاسادایی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳). سپس میزان تناسب فرزندان جدید محاسبه شده و جمعیت جدید، از جایگزینی فرزندان با والدین ایجاد می‌شود و این فرآیند تا برقرار شدن شرط خاتمه تکرار می‌شود؛ بنابراین الگوریتم ژنتیک روشی قدرتمند بوده و بر روی دسته وسیعی از مسائل به‌خوبی عمل می‌کند. عمده‌ترین مزایای این روش در مقایسه با روش‌های متداول شامل جست‌وجوی موازی در عوض جست‌وجوی ترتیبی، عدم نیاز به هرگونه اطلاعات کمکی نظیر روش حل مسئله، پیاده‌سازی آسان و رسیدن به چند گزینه مطلوب است (پور ذاکر عربانی، ۱۳۸۵).

بین روش‌های تخمین پاسخ‌ها در روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه با روش الگوریتم ژنتیک تک هدفه یک اختلاف به لحاظ عملگرهای انتخاب وجود دارد یعنی دو معیار تحت عناوین کیفیت و نظم به سایر عملگرها افزوده شده است. معیار کیفیت یا مرتب‌سازی نامغلوب منجر به کاهش فوق‌العاده پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌ها شده است از این‌رو سرعت الگوریتم افزایش می‌یابد. از طرفی نیز معیار فاصله ازدحامی یا نظم باعث حذف مکانیزم شعاع قلمرو شده است که بر این اساس دقت الگوریتم بالا می‌رود. مفهوم مرتب‌سازی نامغلوب این است که در مقایسه دو به دو اعضای جمعیت، جواب‌های نامغلوب یعنی جواب‌هایی که توسط سایر اعضا مغلوب نشوند انتخاب می‌شوند. به عبارتی انتخاب اعضا با رتبه کمتر ملاک است. مفهوم فاصله ازدحامی این است که در حقیقت وقتی معیار اول به دلیل برابر بودن رتبه اعضا تعیین کننده نبود در این صورت عضو که دارای فاصله ازدحامی بیشتر است انتخاب می‌شود تا نماینده‌ای از اعضای جامعه پخش شده ولی با رتبه یکسان باشد.

در مطالعه حاضر، سه تابع هدف مطرح شده است. بر این اساس، یکی از الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه قدرتمند که الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نامیده می‌شود به عنوان روش حل مسئله

<sup>۱</sup> - Holond

<sup>۲</sup> - Lawrence

<sup>۳</sup> . Casadeie et al

مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تابع هدف اول: بیشینه سازی بازده ناخالص کشاورزان

$$\pi = \sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^{NC} (P_{t,j} * Y_{t,j} - SD_{t,j} - FER_{t,j} - LB_{t,j} - ma_{t,j} - tox_{t,j} - OC_{t,j}) A_{t,j} - WP \sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^{NC} Q_{t,j} \quad (1)$$

محدودیت سطح زیر کشت (کیو و همکاران، ۲۰۰۰).

$$\text{Min Area}_t \leq \text{Area Per}_{t,j} \leq \text{Max Area}_t \quad (2)$$

در فرمول فوق:

$\pi$ ، سود ناخالص کشاورزان (ریال)،  $P_{t,j}$ ، قیمت محصول در سال  $t$  (ریال)،  $Y_{t,j}$ ، عملکرد محصول در سال  $t$  (تن در هکتار)،  $SD_{t,j}$ ، هزینه بذر در یک هکتار در سال  $t$  (ریال)،  $FER_{t,j}$ ، هزینه کود در یک هکتار در سال  $t$  (ریال)،  $LB_{t,j}$ ، هزینه نیروی کار در یک هکتار در سال  $t$  (ریال)،  $OC_{t,j}$ ، سایر هزینه‌های یک هکتار محصول (ریال در هکتار)،  $A_{t,j}$ ، سطح زیر کشت منطقه (هکتار)،  $WP$ ، قیمت هر واحد آب آبیاری (ریال بر مترمکعب)،  $Q_{t,j}$ ، نیاز آبی آمین محصول در  $t$  امین سال (مترمکعب) و  $i$  به ترتیب بیانگر سال و محصول است (کیو و همکاران، ۲۰۰۰).

تابع هدف دوم: این تابع هدف بیانگر حداقل نمودن اختلاف برنامه واقعی و برنامه تدوین شده زمان-بندی آبیاری محصولات کشاورزی است.

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^{NC} (\alpha_j E_j + \beta_j T_j) \quad j=1, \dots, N \quad (3)$$

محدودیت حداکثر تفاوت زمان دیر انجام شدن آبیاری

$$E_j < E_{jmax} \quad (4)$$

محدودیت حداکثر تفاوت زمان زود انجام شدن آبیاری

$$T_j < T_{jmax} \quad (5)$$

در رابطه‌ی فوق:

$\alpha_j$ ، هزینه هر روز زود انجام دادن آبیاری برای محصول  $j$ ،  $\beta_j$ ، زیان هر روز تأخیر در آبیاری برای

محصول  $j$ ،  $E_j$ ، تفاوت زمان زود انجام شدن کار (اختلاف زمانی نظر کارشناس نسبت به حالت واقعی)،  $T_j$ ، تفاوت زمان دیر انجام شدن کار (اختلاف زمانی نظر کارشناس نسبت به حالت واقعی)،  $j$ ، نوع محصول است (هاگ و انوار، ۲۰۱۳).

تابع هدف سوم: این تابع هدف حداکثر تأمین نیازهای آبی محصولات کشاورزی را برآورد می‌کند.

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^n \frac{(Q_{SUP_t} - \sum_{j=1}^{NC} Q_{t,j})^2}{\sum_{j=1}^{NC} Q_{t,j}} + R_1 P_1$$

$$P_1 = \frac{(Q_0 - Q_{SUP_t})}{Q_{SUP_t}} \quad (6)$$

محدودیت عرضه و تقاضای آب (کیو و همکاران، ۲۰۰۰).

$$\sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^{NC} Q_{t,j} \leq Q_{SUP_t} \quad (7)$$

در فرمول فوق:

$\sum_{j=1}^{NC} Q_{t,j}$ ، تقاضای آب؛  $Q_{SUP_t}$ ، عرضه‌ی آب و  $P_1$ ، میزان جریمه‌ی محدودیت تراز آب (تفاضل ورودی‌ها و خروجی‌های آب) نسبت به خروجی‌های آب است که در قالب وزن ( $R_1$ ) اعمال می‌شود (واردلار و بارنز، ۱۹۹۹).

### نتایج

نتایج بدست آمده با روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب سازی نامغلوب در ادامه ارائه شده است. در تابع هدف اول تحت عنوان بیشینه سازی سود ناخالص کشاورزان، مجهول مسئله، سطوح زیر کشت می‌باشد، بر این اساس در جدول ۱ سطوح زیر کشت تخمینی (بر حسب هکتار) هر یک از محصولات منتخب از سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ تا سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ آمده است. همچنین آمار واقعی سطوح زیر کشت هر یک از محصولات منتخب در جدول ۲ گزارش شده است. بر اساس درصدهای به عمل آمده در جدول ۲ نتایج نشان داد، در تخمین اولیه سطوح زیر کشت با مقادیر حقیقی متغیرهای هر یک از توابع هدف از سطوح زیر کشت گیاهان گندم، جو و یونجه کسر و به سطوح زیر کشت

<sup>1</sup>. Hag and Anwar

<sup>2</sup>. Wardlaw and Barnes

محصولات ذرت علوفه‌ای و چغندر قند افزوده شده است.

جدول ۱- نتایج سطوح زیر کشت محصولات منتخب بر مبنای مقادیر اولیه متغیرهای هر یک از توابع هدف (بر حسب هکتار)

سطح زیر کشت در سال	سطح زیر کشت در سال	سطح زیر کشت در سال	سطح زیر کشت در سال	سطح زیر کشت در سال	
۹۴	۹۳	۹۲	۹۱	۹۰	
۵۳۲/۴۲	۵۲۸/۲۵	۵۱۵/۱۲	۴۰۷/۵۸	۸۵۳/۵۸	گندم
۵۹۸/۳۲	۵۸۵/۸۵	۵۹۵/۳۲	۳۲۶/۱۲	۹۲۵/۳۱	جو
۹۸۱/۲۳	۹۷۲/۲۲	۹۶۶/۳۹	۸۹۷/۰۵	۹۴۴/۸۵	ذرت علوفه‌ای
۹۸۸/۲۳	۹۵۸/۸۹	۹۵۴/۳۷	۹۳۷/۴۶	۹۴۴/۵۳	یونجه
۱۰۰۲/۲۳	۹۹۵/۵۶	۹۸۴/۲۴	۹۷۷/۰۸	۹۸۵/۳۲	چغندر قند

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- کاهش یا افزایش سطوح زیر کشت بهینه نسبت به مقادیر واقعی محصولات منتخب

سطح زیر کشت سال	سطح زیر کشت سال	سطح زیر کشت سال	سطح زیر کشت سال	سطح زیر کشت سال	
۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	
-۷۸	-۸۶	-۷۴	-۷۲	-۶۸	گندم
-۶۳	-۸۴	-۶۰	-۵۸	-۵۲	جو
-۴۱	-۳۸	-۳۴	-۳۱	-۲۹	یونجه
+۱۳۶	+۱۵۶	+۱۷۶	+۱۸۱	+۱۸۵	ذرت علوفه‌ای
-۱۸	-۳	-۱۶	-۲۱	-۲۵	چغندر

منبع: یافته‌های تحقیق

محصول گندم، ۲/۷ روز؛ جو، ۳/۲۵ روز؛ ذرت علوفه‌ای، ۳/۷۲ روز؛ یونجه، ۱/۸۹ روز و چغندر قند، ۲/۱۷ روز کاسته شده است. از طرفی دیگر، اختلاف آبیاری زود هنگام محصولات به دست آمده در مدل نیز از اختلاف آبیاری زود هنگام محصولات در واقعیت کمتر است. بر این اساس از اختلاف آبیاری دیر هنگام محصولات در مدل در مقایسه با اختلاف آبیاری دیر هنگام محصولات در واقعیت برای محصول گندم، ۱/۶۹ واحد؛ جو، ۱/۸۸ واحد؛ ذرت علوفه‌ای، ۱/۷۳ واحد؛ یونجه، ۰/۹۸ واحد و چغندر قند، ۰/۹۶ واحد کاسته شده است.

در تابع هدف دوم تحت عنوان کمینه سازی اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری تدوین شده و انجام شده، خروجی یا مجهول مسئله، اختلاف آبیاری زود هنگام و دیر هنگام هر یک از محصولات منتخب (بر حسب روز) است که در جدول ۳ آمده است. همچنین اختلاف آبیاری زود هنگام و دیر هنگام هر یک از محصولات در واقعیت در جدول ۴ گزارش شده است. اختلاف آبیاری دیر هنگام محصولات به دست آمده در مدل از اختلاف آبیاری دیر هنگام محصولات در واقعیت کمتر است. بر این اساس از اختلاف آبیاری دیر هنگام محصولات در مدل در مقایسه با اختلاف آبیاری دیر هنگام محصولات در واقعیت برای

جدول ۳- میانگین چهارساله اختلاف زمانی آبیاری زود هنگام و دیر هنگام بهینه مدل (بر حسب روز)

چغندر قند	یونجه	ذرت علوفه‌ای	جو	گندم	
-۰/۸۳	۱/۱۱	-۰/۲۸	۱/۷۵	۲/۳	میانگین چهارساله اختلاف زمانی آبیاری در شرایط آبیاری دیر هنگام (بهینه)
-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۲۷	-۰/۱۲	-۰/۳۱	میانگین چهارساله اختلاف زمانی آبیاری در شرایط آبیاری زود هنگام (بهینه)

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۴- میانگین چهارساله اختلاف زمانی آبیاری زود هنگام و دیر هنگام بهینه واقعی (بر حسب روز)

چغندر قند	یونجه	ذرت علوفه‌ای	جو	گندم	
۳	۳	۴	۵	۵	میانگین چهارساله اختلاف زمانی آبیاری در شرایط آبیاری دیر هنگام (واقعی)
۱	۱	۲	۲	۲	میانگین چهارساله اختلاف زمانی آبیاری در شرایط آبیاری زود هنگام (واقعی)

منبع: مدیریت جهاد کشاورزی تربت حیدریه، ۱۳۹۴

محصولات گندم و جو در مقایسه با نیاز آبی واقعی مقادیری مثبت است، به عبارتی نیاز آبی تخمینی افزایش یافته است لذا کاهش سطوح زیر کشت محصولات گندم و جو منطقی است. اما نیاز آبی تخمینی محصولات ذرت علوفه‌ای و یونجه در مقایسه با نیاز آبی واقعی، مقادیری منفی حاصل شده است، به عبارتی نیاز آبی تخمینی کاهش یافته است، لذا افزایش سطوح زیر کشت محصول ذرت علوفه‌ای به طور ویژه منطقی می‌باشد.

همچنین در تابع هدف سوم تحت عنوان بیشینه سازی تأمین آب آبیاری محصولات منتخب، مجهول مسئله، مقدار آب مورد استفاده آبیاری (بر حسب متر مکعب در هکتار) برای متقاضیان آب آبیاری محصولات می‌باشد. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که آب مورد استفاده آبیاری تخمینی محصولات چند برابر شده است. این موضوع به علت استفاده نادرست از منابع آبی و پایین بودن راندمان آبیاری محصولات کشاورزی در منطقه می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، نیاز آبی تخمینی

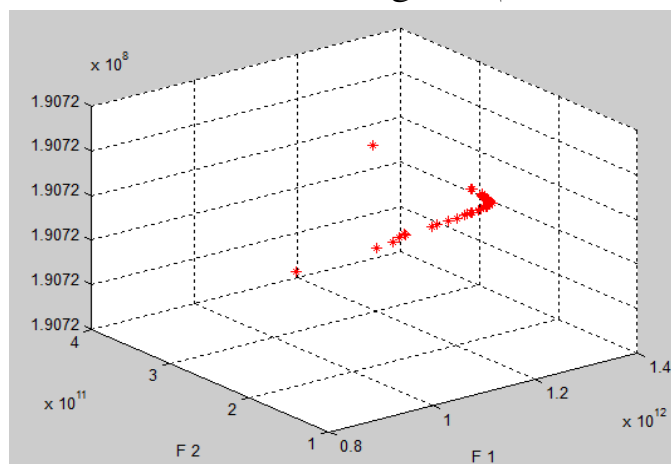
جدول ۵- مقایسه نیاز ناخالص آبیاری با آب مصرفی آبیاری برگرفته از مدل (برحسب درصد)

درصد تغییر	تقاضای آب آبیاری محصولات (برحسب مترمکعب)	نیاز ناخالص آبیاری (برحسب مترمکعب)	
+۴۶/۲۹	۱۶۴۸۴/۱۸	۱۲۷۳۳	گندم
+۵۲/۳۰	۱۴۰۰۹/۲	۱۰۷۳۳	جو
-۳۹/۰۹	۱۵۱۲۵/۰۲	۲۴۸۳۳	ذرت علوفه‌ای
-۴۸/۵۰	۱۶۶۳۵/۶۱	۳۲۳۰۰	یونجه
-۱۲/۹۶	۱۳۶۴۱/۸۴	۳۶۸۳۳	چغندر قند

منبع: یافته‌های تحقیق

هدف تحت عنوان تابع سود ناخالص کشاورزان است. دنباله‌های سهمی به سمت چپ کشیده می‌شود. قسمت سر سهمی بیشینه‌سازی سود ناخالص کشاورزان و دنباله یا انتهای زیرین و فوقانی سهمی به ترتیب مقادیر کمینه‌سازی اختلاف برنامه آبیاری‌ها و بیشینه‌سازی تأمین آب آبیاری را مشخص می‌کند.

همچنین مجموعه جواب‌های نزدیک به بهینه استخراج شده در فضای سه بعدی به صورت جبهه‌های بهینه پارت و در شکل ۱ نشان داده شده است. در فضای سه بعدی مجموعه جواب‌های نزدیک به بهینه به صورت سهمی و به عبارتی به شکل محدب متمایل به چپ نمایش داده می‌شود و قسمت بیشینه یا کمینه سهمی که معادل با قسمت بهینه اولین و به عبارتی مهم‌ترین تابع



شکل ۱- مجموعه جواب‌های بدست آمده با مقادیر واقعی هر یک از توابع هدف در فضای سه بعدی با مدل الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب سازی نامغلوب

## بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر اهداف مدنظر به ترتیب سود ناخالص کشاورزان، اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری و تأمین آب آبیاری محصولات منتخب است که به ترتیب باید بیشینه، کمینه و بیشینه شوند تا بهینه گردند. جهت تأمین آب آبیاری، انحراف عرضه و تقاضای آب آبیاری کمینه شود تا بهبود یابد. فرایند تحلیل حساسیت در تابع هدف سود ناخالص کشاورزان نشان داد که افزایش سود ناخالص کشاورزان، با افزایش اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری محصولات و نیز کاهش تأمین آب آبیاری محصولات همراه است. این افزایش سود ناخالص کشاورزان، با کاهش سطوح زیر کشت محصولات مواجه است، زیرا تأمین آب آبیاری محصولات کاهش یافته است و این کاهش بیش از حد سطوح زیر کشت در محصولات گندم و جو دیده شده است اما در عوض به سطوح زیر کشت محصول ذرت علوفه‌ای افزوده شده است؛ بنابراین افزایش سود ناخالص کشاورزان به دنبال افزایش سطوح زیر کشت محصولات ذرت علوفه‌ای که درآمد زیادی را در مقایسه با محصولات گندم و جو دارند قابل توجیه است. بر این اساس فرضیه‌ی اول تحت عنوان بهینه‌سازی سود ناخالص کشاورزان صورت پذیرفته است.

همچنین در فرایند تحلیل حساسیت تابع هدف اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری محصولات، با فرض عدم تغییر توابع هدف سود ناخالص کشاورزان و تأمین آب آبیاری محصولات، اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری محصولات کاهش یافته است. بر این اساس فرضیه‌ی دوم تحت عنوان کمینه‌سازی اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری واقعی و تدوین شده انجام شده است. درنهایت در فرایند تحلیل حساسیت تابع هدف تأمین آب آبیاری محصولات، با فرض عدم تغییر توابع هدف سود ناخالص کشاورزان و اختلاف برنامه زمان‌بندی آبیاری محصولات، تأمین آب آبیاری محصولات افزایش می‌یابد. بر این اساس فرضیه‌ی

سوم تحت عنوان بیشینه‌سازی تأمین آب آبیاری محصولات کشاورزی صورت پذیرفته است. از این رو برنامه‌ریزی مدیران باید بر روی زمان‌بندی آبیاری محصولات باشد تا کمترین هدر رفت در آب آبیاری صورت پذیرد.

نتایج سناریوی کاهش یا افزایش در هر یک از متغیرهای تابع هدف تأمین آب آبیاری نشان داد، وقتی متغیرهای مقدار تقاضای آب آبیاری محصولات منتخب در هر هکتار و نیز مقدار عرضه‌ی آب آبیاری هر یک از محصولات منتخب در تابع تأمین آب آبیاری محصولات، به طور همزمان ۲۰ درصد کاهش یا افزایش یابد، مقدار تأمین آب آبیاری محصولات مفروض به ترتیب، پنج درصد افزایش یا کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از سطح زیر کشت نشان داد که کشت محصول ذرت علوفه‌ای افزایش داشته است که با توجه به درآمدزایی این محصول و انحراف پایین برنامه زمان‌بندی آبیاری این محصول مطلوب به نظر می‌رسد، لذا پیشنهاد می‌شود سطح زیر کشت این محصول در منطقه افزایش نسبت به حالت کنونی افزایش یابد. با توجه به اهمیت حداقل شدن انحراف برنامه زمان‌بندی ارائه شده توسط کارشناس و کشاورز پیشنهاد می‌شود با حضور کارشناسان در کنار کشاورزان برنامه مدونی جهت زمان‌بندی آبیاری محصولات کشاورزی طراحی و مورد استفاده کشاورزان قرار گیرد. با توجه به اهمیت بهینه‌سازی تأمین آب آبیاری محصولات زراعی پیشنهاد می‌شود با رها نکردن کل آب آبیاری موجود و ذخیره‌سازی آب در مخازن با اتلاف کم، انحراف عرضه و تقاضای آب را کاهش داده و در نتیجه تأمین آب حداکثر شود.

با توجه به اینکه راندمان آبیاری در منطقه پایین است و این مسئله سبب افزایش تفاوت نیاز ناخالص آبیاری با آب مصرفی آبیاری برگرفته از مدل می‌گردد لذا پیشنهاد می‌شود جهت افزایش راندمان از روش‌های آبیاری نوین استفاده گردد.



## فهرست منابع

۱. اسفهلان، م. ۱۳۸۷. کاربرد الگوریتم‌های تکاملی برای تحلیل مسائل آنتن و مایکروویو. دانشگاه تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد.
۲. باریکانی، ا.، احمدیان، ا.، و ص. خلیلیان. ۱۳۹۰. بهره برداری بهینه پایدار از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی: مطالعه موردی زیر بخش زراعت دشت قزوین. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۲): ۲۶۲-۲۵۳.
۳. بی‌نام. ۱۳۸۷. گزارشات داده‌های علوم زمین. پایگاه اطلاعاتی داده‌های علوم زمین: به آدرس: <http://www.ngdir.ir>.
۴. بی‌نام<sup>۱</sup>. ۱۳۹۳. گزارشات تولید محصولات کشاورزی شهرستان زاوه، مدیریت جهاد کشاورزی زاوه.
۵. بی‌نام<sup>۲</sup>. ۱۳۹۳. گزارشات راهبردی غذا و کشاورزی. مرکز تحقیقات راهبردی غذا و کشاورزی دانشگاه تهران.
۶. بی‌نام<sup>۳</sup>. ۱۳۹۳. گزارشات منابع آب ایران. شرکت مدیریت منابع آب ایران: به آدرس <http://www.wrm.ir>.
۷. پور ذاکر عربانی، س. ۱۳۸۵. مفاهیم هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی مصنوعی و ژنتیک الگوریتم. چاپ اول انتشارات ندای سبز شمال.
۸. حجتی، ع.، فرید حسینی، ع.، قهرمان، ب.، و ا. علیزاده. ۱۳۹۲. مقایسه کاربرد روش‌های فراکاشی در بهینه سازی سیستم‌های چند هدفه منابع آب (مطالعه موردی: سد استور و پیر تقی در حوضه آبریز قزل اوزن). مهندسی آب و محیط زیست ایران. ۱۴(۲): ۹-۱۴.
۹. حسینی، س. ا.، و ع. باقری. ۱۳۹۲. مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار. آب و فاضلاب. ۲۴(۴): ۳۹-۲۸.
۱۰. صناعی آبا، م. و جبل عاملیان، ز. ۱۳۹۲. الگوریتم‌های تکاملی و محاسبات زیستی. چاپ دوم نشر نیاز دانش. تهران.
۱۱. کیافر، ح.، صدرالدینی، ا.، اشرف، ع.، ناظمی، ح.، و ه. ثانی خانی. ۱۳۹۰. تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مهندسی آبیاری و آب. ۲(۵): ۵۲-۶۱.
۱۲. نظری، م.، شیبانی، ک.، و ع. مشگی. ۱۳۸۱. مدیریت آبیاری جهت افزایش عملکرد گندم. خشکی و خشک‌سالی کشاورزی، ۶(۱): ۴۳-۲۸.
13. Casadeie, S., Pierleonia, A., Camicib, S., Broccac, L., and T, Moramarcod. 2014. Climate change and decision support systems for water resource management. Proceedings of the 12<sup>th</sup> international conference on computing and control for the water industry.
14. George, J., and B, Yuan. 2003. Fuzzy sets and Fuzzy logic: Theory and Applications. Prentice Hall of India.
15. Hag, Z. U., and A. Anwar. 2013. Application of genetic algorithm to sequential irrigation/ single machine scheduling problem. Irrigation Science. 1(4): 815-829.
16. Hu, M. H., Huang, G., Sun, W., Li, Y., Ding, X. C., Zhang, X., and T, Li. 2014. Multi-objective ecological reservoir operation based on water quality response models and improved genetic algorithm: A case study in Three Gorges Reservoir, China. Engineering Application of Artificial Intelligence. 1(36): 332-346.

17. Kuo, S. F., Gary, P. M., and C. W. Liu. 2000. Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm. *Agriculture Water Management*. 1(45): 243-266.
18. Lawrence, D. 1991. *Handbook of Genetic Algorithms*. New York. Seidakhmetov, M., Alzhanov, A. and P. Baineev. 2014. Mechanism of Tran's boundary. *Water Resources Management for Central Asia Countries*. 4(1): 604 – 609.
19. Wardlaw, R. B., and J. M. Barnes. 1999. Optimal allocation of irrigation water supplies in real time. *Irrigation and Drainage Engineering*. (6): 345-354.