

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی الگوی کشت دشت سیستان با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات آشوبناک (Chaotic Particle Swarm Algorithm)

هادی سیاسر^۱، امیر سالاری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

چکیده

افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون مواد غذایی و بهره‌وری اقتصادی پایین محصولات کشاورزی و هدر رفت منابع آبی و خاکی، تعیین و اجرای الگوی کشت بهینه کشور را ضروری نموده است. در این تحقیق، با توجه به محدودیت‌ها و مشکلات روش‌های کلاسیک و همچنین به‌منظور کاهش زمان پردازش و بهبود کیفیت راه‌حل‌ها، از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه آشوبناک در تعیین الگوی کشت بهینه دشت سیستان در شرایط بهینه و کم آبیاری استفاده گردید. نتایج کاربرد الگوریتم آشوبناک برای کشت‌های غالب منطقه نشان داد که الگوی کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و با اجرای الگوی پیشنهادی مدل، سود حاصل به ازای واحد سطح زیر کشت، افزایش خواهد یافت. نتایج کاربرد کم‌آبیاری طی دوره‌های مختلف رشد محصولات گندم، جو، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور نیز نشان داد که اعمال کم‌آبیاری‌ها در این دشت استراتژی مناسبی نبوده و تنها استراتژی آبیاری کامل توصیه می‌گردد. مدل مقدار بهینه حجم آب برای سطح یک هکتار را ۴۲۷۵۰ مترمکعب برآورد نموده و با وارد کردن گیاهان گندم، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور با استراتژی آبیاری کامل در الگوی بهینه کشت، در نهایت بازده برنامه‌های ۴،۱۵۳،۴۴۸ تومان به دست آمد، با کاهش ۲۵ درصدی آب مصرفی شبکه، مقدار بازده برنامه‌های ۱۴/۵ درصد و با کاهش ۵۰ درصدی آب مصرفی، مقدار بازده برنامه‌های ۴۱/۵ درصد کاهش یافت. نتایج ارزیابی حساسیت مدل نیز نشان داد که در قیمت‌های پایین، کشاورزان واکنش کمتر و در قیمت‌های بالاتر، عکس‌العمل بیشتری به تغییر قیمت نشان داده و با افزایش قیمت آب، سود ناخالص (بازده برنامه‌های) کمتر و مدل بیشتر به سمت افزایش زیر کشت محصولاتی تمایل دارد که با مصرف آب کمتر عملکرد بیشتری دارند. نتیجه‌گیری کلی این تحقیق آن است که بی‌کشش بودن تقاضای آب در دامنه‌های قیمتی ۰-۷۲۵، ۰-۹۵۰، ۷۵۰-۱۰۵۰، ۱۰۰۰-۱۲۰۰ و همچنین ۱۲۰۰-۱۰۷۵ ریال در برنامه‌ریزی‌های مربوط به قیمت‌گذاری منابع آب کشاورزی منطقه بایستی موردتوجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: حساسیت مدل، دشت سیستان، سطح زیر کشت، کم آبیاری

مقدمه

بهینه برنامه‌ای است به‌منظور تعیین و انتخاب محصولات مختلف در تقویم کشت یک منطقه با هدف مدیریت پایدار در استفاده از منابع مختلف و حداکثر سازی بازده اقتصادی و حداقل سازی مصرف آب. فرآیند تعیین و اجرای الگوی کشت مناسب پیچیده و متأثر از عوامل متعددی بوده و سبب صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی و افزایش بازده استفاده از منابع خواهد شد. تعیین الگوی کشت بهینه به همراه مصرف بهینه سایر نهاده‌ها از جمله آب، می‌تواند تغییرات قابل توجهی در بخش کشاورزی ایجاد نماید. یکی از راهکارهای مناسب مصرف بهینه و افزایش بهره‌وری آب، استفاده از تکنیک کم‌آبیاری است. کم آبیاری شامل روش‌های متعددی از جمله کاهش ثابت و یا مرحله‌ای مصرف آب در طول دوره رشد گیاه و یا قطع کامل آبیاری در مرحله خاصی، طولانی کردن دور آبیاری و استفاده از جویچه‌های یک‌درمیان

افزایش جمعیت و تقاضای مواد غذایی، محدودیت‌های منابع آبی و خاکی و خشک‌سالی‌های متناوب چند سال اخیر، بخش کشاورزی ایران را در وضعیت چالشی خاصی قرار داده است، در این میان، نبود یک الگوی کشت بهینه جامع و مدون در کشور، به مشکلات بخش کشاورزی دامن زده، موجب سردرگمی کشاورزان و بهره‌وری پایین بخش کشاورزی و هدر رفت منابع کشور شده است. الگوی کشت

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: Salari.1361@yahoo.com)

قابل اجرا است (عوض یار و همکاران، ۱۳۹۷).

تحقیقات زیادی راجع به تعیین الگوی کشت بهینه با تأکید بر حداقل مصرف آب و حداکثر بازده اقتصادی با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله برنامه‌ریزی خطی، آرمانی، چند هدفی و توافقی و بهینه‌سازی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی انجام گردیده است (شجری و ترکمانی، ۱۳۸۶). بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به معنای رسیدن به هدف مطلوب بر اساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته شده برای هدف است. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی است که بیشتر برای بهینه‌سازی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی به کار می‌رود. این روش اساساً مبتنی بر فرایند تکامل استوار است. اکثر محققین تعیین الگوی بهینه کشت از دهه ۱۹۶۰ تاکنون به‌طور وسیع از برنامه‌ریزی خطی استفاده نموده‌اند که با حداکثر یا حداقل کردن تابع هدف و در نظر گرفتن تعدادی از محدودیت‌ها (منابع) و متغیرهای تصمیم (فعالیت‌ها) به این موضوع پرداخته‌اند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۶). قهرمان و سپاسخواه (۱۳۷۸) یک الگوریتم ترکیبی از برنامه‌ریزی خطی (یا غیرخطی) LP (N) و برنامه‌ریزی پویای استوکاستیک (SDP) جهت تخصیص بهینه ی آب از مخزن سد یک منظوره برای یک الگوی کشت معین ارائه کردند. در این تحقیق مشخص گردید که مدل قادر به برآورد هم‌زمان تخصیص بهینه‌ی آب و زمین در حالت‌های مختلف نمی‌باشد. راجو و کومار طی تحقیقی گزارش نمودند که می‌توان از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک مدل بهینه‌سازی مؤثر برای برنامه‌ریزی هر سیستم آبیاری استفاده کرد (Raju and Kumar, 2004). نتایج کومار و ردی نشان داد که الگوریتم ژنتیک نسبت به PSO، نتایج بهتری در استخراج سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن به دست می‌دهد (Kumar and Reddy, 2007). مفتاح‌هلقی و همکاران (۱۳۹۹ ب) در حوزه آبریز قره‌سو نتیجه گرفتند که الگوی کشت فعلی بهینه نبوده، میزان بهره‌برداری فعلی بیشتر از مقدار تغذیه آبخوان بوده و با استفاده از نظریه بازی‌ها می‌توان الگوی کشت و میزان بهره‌برداری بهینه را به‌منظور برآورد اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی به دست آورد. کیافر و همکاران (۱۳۹۰) طی تحقیقی برای بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری و زهکشی صوفی چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک نتیجه گرفتند که مقادیر آب تخصیص‌یافته واقعی به مراتب بیشتر از مقادیر بهینه می‌باشد که عمدتاً این اختلاف در محدوده موردنظر به‌نوعی تلف شده است. میرزایی و همکاران (۱۳۹۴) الگوی کشت فعلی دشت گلستان را مناسب ندانسته و نتیجه گرفتند که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مورچگان می‌توان با پیشنهاد الگویی جدید، سود به ازای واحد سطح را افزایش داد. مفتاح‌هلقی و همکاران (۱۳۹۹ الف) نیز ضمن بیان بهینه نبودن الگوی کشت فعلی، با لحاظ الگوی کشت بهینه پیشنهادی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی متعارف توانستند مصرف آب دو شهرستان گرگان و کردکوی را به ترتیب

۱۹/۶ و ۸/۸ درصد کاهش و سود حاصله را نیز به ترتیب ۱۲/۶ و ۱۰/۴ درصد افزایش داده درحالی‌که با برنامه‌ریزی آرمانی در این دو شهرستان به ترتیب به کاهش ۴۶ و ۴۷ درصدی آب مصرفی و افزایش ۵ درصدی سود در هر دو شهرستان دست یافتند. شعبانی و هنر (۱۳۸۷) نیز ضمن بررسی سطح زیر کشت سد درود زن استان فارس نتیجه گرفتند که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی می‌توان، بیشترین سود ممکن را به دست آورد. نتایج بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی سد آغ‌چای نیز نشان داد با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی می‌توان میزان بهره‌وری را ۳۰ درصد افزایش داد (وفایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳)، وفائی‌نژاد (۱۳۹۵) نیز در اراضی بخش جلگه استان اصفهان با استفاده از روش Topsis و الگوریتم ژنتیک به افزایش ۲۵ درصدی بهره‌وری دست یافتند. در الگوهای کشت پیشنهادی با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی، برخی محصولات از الگوی کشت حذف و برخی دیگر به آن اضافه می‌گردند (رستگاری پور و صبحی، ۱۳۸۸)، در تعدادی از دشت‌ها، بیشتر محصولات تغییر یافته (خاشعی-سیوکی و همکاران، ۱۳۹۳) و در تعدادی دیگر از سطح برخی کاسته و بر سطح زیر کشت محصولات دیگری افزوده گردید (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴). رفیعی و همکاران (۱۳۹۶) با برنامه‌ریزی الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از ترکیب مدل شبیه‌سازی SWAT و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی در دشت آزادگان حوضه آبریز کرخه توانستند به افزایش ۳۱۴ درصدی سود خالص سالانه و کاهش ۲۸ درصدی آب مصرفی دست یابند.

الگوریتم بهینه ازدحام ذرات (Particle swarm optimization)، شبیه‌سازی یک رفتار دسته‌جمعی است و ایده اصلی آن از این حقیقت گرفته شده است که هر عضو می‌تواند از تجربیات تمام اعضای دسته در حین جستجو برای رسیدن به هدف استفاده نماید. برخلاف الگوریتم استاندارد PSO که یک رهبر واحد تحت عنوان gbest وجود دارد، الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات با دسته‌ای از بهترین جواب‌ها روبرو بوده که بایستی بر اساس استراتژی انتخاب، از میان آن‌ها یک رهبر انتخاب گردد. در این الگوریتم فضای جستجوی جواب‌ها به قسمت‌های مساوی تقسیم شده و هر قسمت از فضای جستجو که دارای اعضای کمتری از عضوهای بایگانی هستند، دارای احتمال بیشتری برای انتخاب شدن می‌باشند، در مرحله بعد یکی از اعضای نامغلوب قسمت انتخاب شده به‌عنوان رهبر انتخاب می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آشوب، توانایی جستجوی مبتنی بر جمعیت و رفتار جستجوی آشوبی می‌تواند با هم ترکیب شوند تا از جستجویی که در دام بهینه محلی قرار می‌گیرد جلوگیری کرده و کارایی الگوریتم را در جستجوی بهینه سراسری بهبود بخشد. در الگوریتم پیشنهادی در ایجاد جمعیت اولیه جهت تضمین تنوع ذرات جمعیت در ابتدا از سیستم آشوب لجستیک جهت موقعیت اولیه ذرات استفاده می‌گردد. به‌طور کلی وجود ویژگی‌های شبه

بهینه هم زمان آب و زمین نبوده بنابراین در پژوهش حاضر سعی گردید از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات آشوبناک که قادر به وارد کردن محصولات موردنظر از میان استراتژی‌های گوناگون هم‌زمان با تخصیص بهینه آب و زمین است استفاده گردید، از مزیت‌های بسیار مهم دیگر این الگوریتم، انتخاب سناریوی با بیشترین بازده می‌باشد.

هدف از اجرای این تحقیق، تعیین الگوی کشت بهینه دشت سیستان با هدف حداکثر سازی بازده اقتصادی، حداقل سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب با اعمال کم‌آبیاری با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات آشوبناک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

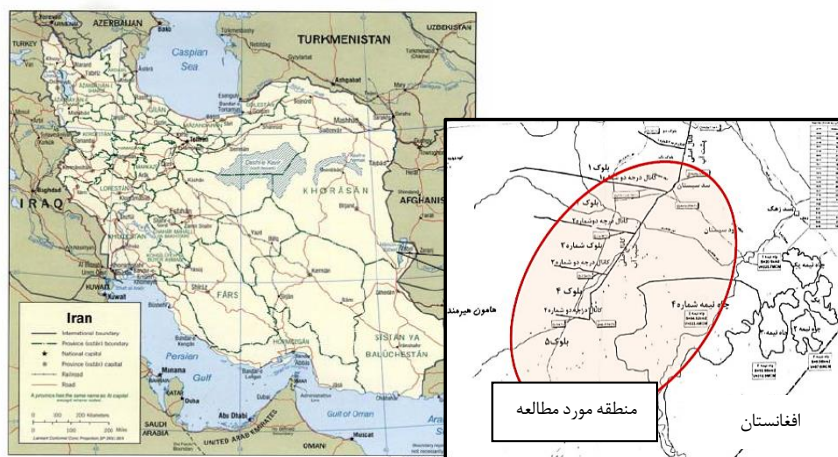
دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار داشته و از عرض ۲۰' ۳۱ تا ۱۸' ۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ۱۰' ۶۱ تا ۵۰' ۶۱ شرقی گسترده شده است (شکل ۱). در حدود ۱۵۰ هزار هکتار از زمین‌های این دشت، دارای پتانسیل کشاورزی بوده و می‌تواند در چرخه تولید زراعی قرار گیرد. متوسط ارتفاع این دشت از سطح دریا ۴۸۵ متر بوده و اقلیم منطقه سیستان بر اساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح شده، اقلیم صحرایی با آب و هوای خیلی گرم و خشک بیابانی یعنی تابستان‌های طولانی و زمستان‌های ملایم می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در دشت سیستان بسیار ناچیز و بین ۵۰ تا ۵۵ میلی‌متر، میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلی‌متر و متوسط حداکثر درجه حرارت در این منطقه ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل درجه حرارت ۸/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

تصادفی، همه‌جته، میل به محدودیت و در نهایت بی‌نظمی در متغیرهای آشوب، سبب شده است تا استفاده از تئوری بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه آشوبناک در الگوریتم‌های بهینه‌سازی نتایج خوبی را به دنبال داشته و از آن‌ها در مسائل مختلف بهینه‌سازی به‌منظور جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه سراسری استفاده شود.

گروه‌های مختلف کشاورزان در مقابل افزایش نرخ آب‌بها عکس-العمل‌های متفاوتی در مورد ترکیب کشت محصولات و کاهش مصرف آب در هکتار نشان می‌دهند (شجری و ترکمانی، ۱۳۸۶). مینیودین و همکاران با تعیین الگوی بهینه کشت و بهره‌برداری پایدار از آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندمنظوره نتیجه گرفتند حداکثر سود خالص با ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری برای بعضی از محصولات همراه با آبیاری کامل به دست می‌آید (Mainuddin et al., 1997). حذف گیاهان پرمصرف (برنج و نیشکر) از الگوی کشت از جمله نتایج خروجی تحقیقات مختلف است (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Satyasai and Viswanathan, 1997).

در ایران مخصوصاً دشت سیستان به علت کمبود بارندگی و محدود بودن منابع آب، برنامه‌ریزی مدون به منظور شناخت امکانات و محدودیت‌های منابع آب با هدف بهره‌برداری بهینه بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی، لزوم بهینه‌سازی الگوی کشت در راستای بهینه کردن مصرف آب و حداکثر بهره‌برداری از زمین‌های قابل کشت امری اجتناب‌ناپذیر است. دشت سیستان که در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است، به دلیل بارندگی بسیار کم (میانگین ۵۰ میلی‌متر در سال) و تبخیر بالا (۴ الی ۵ هزار میلی‌متر) و همچنین وابستگی کامل آن به رودخانه مرزی هیرمند، اهمیت تخصیص آب را بیش‌ازپیش نموده است.

ازنجایی که اکثر مدل‌های کلاسیک ارائه‌شده قادر به تخصیص



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

تهیه شده در مطالعات قبلی، الگوی کشت فعلی عمدتاً شامل غلات (شامل جو و گندم) ۳۵٪، علوفه ۲۳٪، نباتات جالیزی ۱۹٪، انگور و نباتات دائمی و کمر بند سبز ۱۴٪، سبزیجات ۵٪، زیره و زعفران ۲٪ و کشت‌های گلخانه‌ای ۲٪ منظور شد که در تبیین آن، رفع نیازهای غذایی کشاورزی، تأمین علوفه برای دام، تأمین درآمد از طریق فروش محصولات نقدی و حفاظت از عرصه‌ها در مقابل عوامل مخرب نظیر طوفان‌های شن مدنظر قرار گرفته است. سهم مزرعه بهره‌برداران مختلف در زیر شبکه‌های آبیاری عمدتاً بین ۰/۰۵۶ تا ۱۰ هکتار می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری از یک بهره‌بردار یک هکتاری که در میانه واحدهای مورد بررسی قرار داشت، به‌عنوان بهره‌بردار نماینده استفاده گردید. شایان ذکر است که این بهره‌بردار هم‌زمان از آب سطحی کانال و آب چاه نیمه برای کشت گیاهان مختلف استفاده می‌کند.

راندمان کلی آبیاری در وضع موجود معادل ۳۷ درصد و محصولات قرار گرفته در الگوی کشت شامل گندم، جو، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور بوده و بر این اساس ضرایب حساسیت آن‌ها جهت انجام محاسبات مربوط به تخمین عملکرد مطابق جدول ۱ استخراج گردید.

محدوده مطالعاتی شامل اراضی پایین‌دست شبکه آبیاری و زهکشی سد سیستان واقع در منطقه شیب آب (شکل ۱) با مساحت ۲۴۷۵۰ هکتار می‌باشد.

در این تحقیق جهت بهینه کردن الگوی کشت از الگوریتم ازدحام ذرات آشوبناک استفاده گردید. آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل سطح زیر کشت، عملکرد محصولات، هزینه تولید، هزینه نهاده‌ها، قیمت محصولات، تاریخ کشت گیاهان مختلف در طول فصل کشت و حداکثر امکانات آبی بهره‌برداران مختلف در حالت استفاده از آب سطحی و چاه نیمه‌ها از سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان اخذ گردید.

از آنجایی که گسترش کشت نباتات جالیزی اثرات مثبتی بر معیشت و درآمد خانوارهای بهره‌بردار و کشاورز منطقه داشته است، در این راستا سهم نباتات جالیزی در الگو لحاظ شده است. با توجه به استعداد اراضی منطقه برای کشت نباتات دائمی و محصولاتی نظیر انگور از یک طرف و ضرورت تقویت پوشش گیاهی جهت مهار و کنترل شدت بادهای موسمی (بادهای ۱۲۰ روزه) و جلوگیری از هجوم طوفان‌های شن به مزارع و مناطق مسکونی از طرف دیگر، توجه به پوشش‌های گیاهی دائمی بیش از سایر الگوها مورد توجه قرار گرفته است؛ بنابراین با بررسی الگوی کشت موجود و الگوهای کشت

جدول ۱- ضریب حساسیت گیاه به کم‌آبی در کل دوره رشد

نوع محصول	منبع مورد استفاده	KY در کل دوره رشد
گندم	(دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹)	۱/۰۵
جو	(دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹)	۱/۰۵
یونجه	(دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹)	۱/۲۵
سورگوم	(دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹)	۰/۹
هندوانه	(دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹)	۱/۱
انگور	(دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹)	۰/۸۵

تابع هدف

هدف اصلی در این پژوهش حداکثر نمودن سود زارعین بر اساس تخصیص هم‌زمان سطح زیر کشت و میزان کم‌آبیاری در کل دوره رشد می‌باشد که این هدف با استفاده از رابطه ۱ دنبال گردید:

$$Z = \sum_{i=1}^{ncrop} [Y_{pi} \times P_{ci} \times \prod_{j=1}^{kperiod} (1 - Ky_{i,j} \times X_j) - C_i] A_i - P_w \sum_{i=1}^{ncrop} \sum_{j=1}^5 IR \quad (1)$$

که در این رابطه: Z : تابع هدف، Y_{pi} عملکرد در هکتار برای گیاه i ام (kg/ha) ، P_{ci} قیمت محصول برای گیاه i ام $(Rial/Kg)$ ، A_i سطح زیر کشت گیاه i ام (ha) ، C_i هزینه‌های متغیر به‌غیر از هزینه‌های آب گیاه i ام $(Rial/Kg)$ ، P_w قیمت آب آبیاری $(Rial/m^3)$ ، IR کل مقدار آب آبیاری گیاه i ام (m^3) ، i نوع

در تخصیص بهینه آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی هدف‌های متنوع فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی در منطقه و یا مسائل کلان اقتصادی و سیاسی در زمینه تولید محصولات کشاورزی پیگیری می‌گردد اما به‌طور معمول در مناطق خشک و نیمه‌خشک تخصیص بهینه آب با در نظر گرفتن دو عامل اصلی آب و زمین با هدف بیشینه نمودن درآمد زارعین انجام می‌شود. به علت وجود پارامترهای مجهول که بیشتر از تعداد معادلات می‌باشد از الگوریتم ژنتیک و روش جستجوی مستقیم نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده گردید (Mathworks Co, 2016).

حجم آب آبیاری (میلی متر)، A_i مساحت (هکتار)، R حجم آب موجود (میلیون مترمکعب) و E_{ci} راندمان انتقال (اعشار) می باشد.

قید چهارم: حداکثر کاهش آب مصرفی

واکنش گیاهان مختلف در ارتباط با حداکثر کاهش آب مصرفی متفاوت بوده و در این پژوهش حداکثر مقدار کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل برای گیاهان مختلف با توجه به حد مجاز کاهش عملکرد که در تحقیقات پیشین توسط سپاسخواه و کامکار حقیقی (۱۳۷۵) برای گیاهان مختلف به دست آمده، استفاده شد (جدول ۲).

به طور کلی وجود ویژگی های شبه تصادفی، همه جهته، میل به محدودیت و در نهایت بی نظمی^۱ در متغیرهای آشوب، سبب شده تا استفاده از این تئوری در الگوریتم های بهینه سازی نتایج خوبی را به دنبال داشته و از آن ها در مسائل مختلف بهینه سازی به منظور جستجو برای یافتن راه حل بهینه سراسری استفاده می شود. مسئله بهینه سازی برای تابع چندوجهی^۲ غیرخطی با بازه محدودیت در رابطه ۶ در نظر گرفته شده است (Yang, Li et al. 2007):

$$\begin{aligned} \text{minimize } f(x) &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ XL_i &\leq x_i \leq XU_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6)$$

در این معادله: f یک تابع هدف با n متغیر بهینه سازی و XL_i و XU_i به ترتیب مشخص کننده حد پایین و حد بالای متغیر x_i می باشند. بنابراین فضای n بعدی S در ناحیه $\{ (XL_i, XU_i), i = 1, 2, \dots, n \}$ تعریف می شود.

در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه، ذرات در جمعیت معمولاً به بهینه محلی یا سراسری در فضای جستجو طی تکرار پی-درپی همگرا می شوند. در طرح پیشنهادی، موقعیت اولیه ذرات جمعیت، بر اساس سیستم آشوب لجستیک در فضای جستجو مقداردهی و تعیین می گردد. این گام تضمین می نماید که توزیع درستی از ذرات در کل فضای جستجو صورت گیرد. به منظور تولید متغیرهای بهینه سازی توسط نگاشت لجستیک باید یک نگاشت خطی بین متغیر بهینه سازی x_i و متغیر آشوب Z_i به صورت رابطه ۷ تعریف شود:

$$Z_i = (x_i - XL_i) / (XU_i - XL_i) \quad (7)$$

سپس n متغیر آشوب Z_i ($i=1,2,\dots,n$)، با مقادیر اولیه متفاوت ساخته شده توسط نگاشت لجستیک می توانند یک بردار جواب x را تولید نمایند. مقداردهی متغیرهای بهینه سازی طبق رابطه ۸ به کمک متغیرهای آشوب و محاسبه تابع هدف $f^* = f(x^0)$ و قرار دادن $k=1$

محصول، $Ky_{i,j}$ ضریب حساسیت گیاه به کم آبی و X_j مقدار کاهش نسبی مصرف آب (که کوچک تر یا مساوی یک می باشد) می باشد. در رابطه ۱، متغیرهای A_i و X_j مجهول بوده و سایر متغیرها قابل اندازه گیری و یا قابل محاسبه می باشند.

از میان توابع تولید ارائه شده در پژوهش های مختلف، توابع تولید دورنیوس و کسام (Doorenbos and Kassam, 1979) و رائو و همکاران (Rao et al., 1988) طبق رابطه ۲ در تخصیص بهینه آب و تعیین الگوی کشت به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته اند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ قهرمان و سپاسخواه، ۱۳۷۸).

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left(1 - Ky_i \left(1 - \frac{ET_a}{ET_p} \right) \right) \quad (2)$$

که در آن ET_a و ET_p به ترتیب تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل (بر حسب میلی متر) می باشند.

قید اول: بیلان آب خاک

با صرف نظر کردن از رواناب سطحی، بیلان آب خاک در هر فاصله زمانی به صورت رابطه ۳ نوشته می شود:

$$SM_{i,t+1} \cdot Root_{i,t+1} = SM_{i,t} \cdot Root_{i,t} + ERain_t + IR_{i,t} - ETa_{i,t} - DP_{i,t} + SM_i (Root_{i,t+1} - Root_{i,t}) \quad (3)$$

در رابطه ۳: $SM_{i,t}$ و $SM_{i,t+1}$ به ترتیب مقدار آب در منطقه ریشه ها در ابتدا و انتهای یک دوره (فصل)، $Root_{i,t}$ و $Root_{i,t+1}$ به ترتیب عمق مؤثر ریشه در ابتدا و انتهای دوره، $Rain_t$ مقدار بارندگی مؤثر (میلی متر) در دوره زمانی t ، SM_i رطوبت ثابت لایه-های زیرین خاک قبل از کاشت گیاه i (میلی متر)، $IR_{i,t}$ آبیاری اختصاص یافته برای گیاه i (میلی متر) در دوره زمانی t و $ETa_{i,t}$ و $DP_{i,t}$ به ترتیب تبخیر-تعرق واقعی (میلی متر) و نفوذ عمقی گیاه (میلی متر) در دوره های زمانی t می باشند.

قید دوم: تبخیر-تعرق واقعی

با محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث (رابطه ۴) برنامه ریزی آبیاری صورت گرفت:

$$ET_{a_{i,t}} \leq \frac{[(SM_{i,t} - PWP_c)Root_{i,t} + Rain_t + IR_{i,t} - DP_{i,t}]}{[(1 - P_i)(FC_i - PWP_i)Root_{i,t}]} ET_{p_{i,t}} \quad (4)$$

که در این رابطه i نوع محصول؛ t دهه های آبیاری و p_i کسر تخلیه آب خاک می باشد.

قید سوم: سهم آب

با شرط اینکه کل حجم آب آبیاری در فواصل پی درپی برای همه محصولات نمی تواند از آب قابل دسترس موجود بیشتر باشد رابطه ۵ جهت تعیین سهم آب آبیاری برقرار است:

$$10^5 \sum_i \sum_t IR_{i,t} \cdot A_i = R \cdot E_{ci} \quad (5)$$

که در آن i نوع محصول آبیاری، t بازه ده روزه آبیاری، $IR_{i,t}$

1 - Irregularity
2 - Multi modal

کشت محصولات با سایر سناریوها متفاوت شده اما سطح تحت پوشش نباتات دائمی و علوفه‌ای نسبت به سایر سناریوها ثابت باقی می‌ماند.

(ج) سناریو ترسالی: در این سناریو که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر منبع آب قابل‌دسترس متصور نیست، حداکثر پتانسیل اراضی شبکه به میزان ۱۹۲۵۰ هکتار تحت کشت قرار می‌گیرد.

(د) سناریو ترسالی شدید: در این وضعیت خاص، چاه نیمه‌ها به‌طور کامل آبیگری شده و جهت تأمین آب زراعی، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، در چنین شرایطی امکان کشت‌های دوم و بهاره و نیز کشت‌های تابستانه وجود داشته و تراکم کشت منطقه به حدود ۱۳۰ درصد نسبت به شرایط ترسالی خواهد رسید. حداکثر پتانسیل اراضی شبکه در این وضعیت به میزان ۲۴۷۵۰ هکتار می‌رسد.

با توجه به اینکه اراضی مناسب کشت منطقه حدود ۱۹۲۵۰ هکتار می‌باشد، انتظار می‌رود در یک وضعیت ترسالی، حداکثر پتانسیل کشت و کل اراضی با تراکم کشت ۱۰۰٪ مورد استفاده قرار گیرد. در یک سال نرمال حدود ۷۰٪ از اراضی مناسب زیر کشت رفته و ۳۰ درصد به‌صورت آیش باقی می‌ماند. در خشک‌سالی‌ها کمتر از ۳۰٪ اراضی، تحت کشت قرار گرفته (حدود ۵۵۰۰ هکتار) و ۷۰٪ به‌صورت آیش باقی می‌ماند.

مدیریت بهینه‌ی آب در سطح مزرعه، ارزیابی استراتژی‌های کم آبیاری در کل دوره رشد

پس از اعمال ضرایب حساسیت گندم، یونجه، هندوانه و انگور برای کل دوره رشد، نتایج ارزیابی استراتژی‌های کم آبیاری در کل دوره رشد با استفاده از بهره‌بردار نماینده یک هکتاری در جدول ۳ آورده شده است.

نتیجه اجرای مدل مقدار بهینه حجم آب برای سطح یک هکتار را ۴۲۷۵۰ مترمکعب برآورد نموده است. همان‌طور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود فقط در مراحل ابتدایی رشد که گیاه به تنش آبی حساس نمی‌باشد، کم آبیاری اعمال می‌گردد.

با وارد کردن گیاهان گندم، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور با استراتژی آبیاری کامل در الگوی بهینه کشت، در نهایت بازده برنامه-ای ۴,۱۵۳,۴۴۸ تومان به دست آمد (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که مدل، استراتژی آبیاری کامل را برای همه گیاهان انتخاب می‌کند. دلیل این امر، ضرایب بالای واکنش عملکرد گیاه به آب در کل دوره رشد می‌باشد. پارامترهای مورد نیاز در این الگوریتم جهت میل به بهترین جواب، به این صورت است که تکرار ۲۰۰، اندازه جمعیت ۱۰۰، درصد ترکیب ۰/۵، احتمال جهش صفر در نظر گرفته شده است. ربیعی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به دلیل بالا بودن ضریب گیاهی محصولات مختلف، استراتژی آبیاری کامل را پیشنهاد دادند.

برای تعداد تکرارهای انجام شده محاسبه می‌گردد:

$$x_i^0 = XL_i + z_i^0(XU_i - XL_i) \quad (8)$$

نگاشت متغیرها و محاسبه متغیر جدید آشوب بر اساس رابطه ۹ و متغیرهای بهینه‌سازی با استفاده از نگاشت خطی رابطه ۱۰ صورت می‌پذیرد.

$$z_i^{k+1} = 4z_i^k(1 - z_i^k) \quad (9)$$

$$x_i^{k+1} = XL_i + z_i^{k+1}(XU_i - XL_i) \quad (10)$$

در فرآیند بهنگام‌سازی سرعت ذرات، رابطه بهنگام‌سازی برای تأثیرپذیری اجتماعی و رهبر انتخاب شده از اعضای لیست بایگانی، از عملگر آشوبی بهره گرفته شد (رابطه ۱۱).

$$V_{id}(t+1) = wV_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times (P_{id} - X_{id}(t)) + c_2 \times \text{Chaotic_operator} \times (P_{leader} - X_{id}(t)) \quad (11)$$

که در آن: d , d امین بعد یک ذره بوده و c_1 و c_2 ضرایب ثابت مثبت مربوط به سرعت بوده که به ترتیب پارامترهای یادگیری شخصی و یادگیری اجتماعی نامیده می‌شود و r_1, r_2 نیز اعداد تصادفی بوده و در بازه $[0, 1]$ قرار می‌گیرند.

جدول ۲- حداکثر مقدار کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل

نوع محصول	درصد کاهش آب مصرفی
گندم	۴۰
جو	۴۰
یونجه	۳۰
سورگوم	۳۰
هندوانه	۳۰
انگور	۳۰

نتایج و بحث

برنامه‌ریزی صحیح در بهره‌برداری بهینه و کاهش در مصرف آب می‌تواند خلأ ناشی از محدودیت‌های منابع آبی را حفظ کند. در این تحقیق جهت بهینه کردن الگوی کشت از الگوریتم ازدحام ذرات آشوبناک استفاده گردید. به‌طور کلی برای تبیین نظام کشت مناسب در منطقه با توجه به وضعیت منابع آب و وضعیتی که ناشی از آب قابل‌دسترس پیش می‌آید، چهار سناریو کلی برای ترکیب کشت محصولات در نظر گرفته شد:

(الف) سناریو نرمال: با فرض در اختیار بودن میانگین ۳۰ ساله منابع آب در منطقه صورت گرفت. در این سناریو ۱۳۷۵۰ هکتار از اراضی زیر شبکه به زیر کشت خواهد رفت.

(ب) سناریو خشک‌سالی: در این سناریو به دلیل کاهش منابع آب در دسترس (کمتر از میزان تعیین‌شده در پروتکل) حداکثر ۵۵۰۰ هکتار از اراضی زیر شبکه به زیر کشت می‌رود. در این سناریو ترکیب

جدول ۳- نتایج الگوی بهینه کشت در مراحل مختلف رشد تحت اعمال کم آبیاری

نوع محصول	استقرار	اوایل رشد رویشی	اواخر رشد رویشی	گلدهی	شکل گیری عملکرد	رسیدن	مساحت بهینه (یک هکتار)
گندم	۳۱	.	.	.	.	.	۰/۰۹۰۶
جو	۱۷	.	.	.	.	.	۰/۳۱۰۴
یونجه	.	.	.	.	.	.	۰/۲۰
سورگوم	.	.	.	.	.	.	۰/۲۰
هندوانه	.	.	.	.	.	.	۰/۲۰
انگور	.	.	.	.	.	.	۰/۲۰

جدول ۴- نتایج الگوی بهینه کشت در کل دوره رشد

نوع محصول میزان کم آبیاری (درصد)	مساحت بهینه (یک هکتار)	مساحت بهینه (۵۵۰۰ هکتار)	مساحت بهینه (۱۳۷۵۰ هکتار)	مساحت بهینه (۱۹۲۵۰ هکتار)	مساحت بهینه (۲۴۷۵۰ هکتار)
گندم	۰/۰۰۰	۰/۵۸۴۱	۳۲۱۳	۸۰۳۱	۱۱۲۴۴
جو	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۰۱	۱	۱	۲
یونجه	۰/۰۰۰۹	۰/۲۰	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰
سورگوم	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۶۸	۹۲	۲۳۱	۳۲۳
هندوانه	۰/۰۰۵۶	۰/۲۰	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰
انگور	۰/۰۰۰۱	۰/۲۰	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰

بررسی حساسیت قیمت آب در نتایج مدل

به منظور به دست آوردن نمودار تقاضای آب برای منطقه مورد مطالعه از جدول تحلیل حساسیت در مدل و با تغییر قیمت آب در سطح تابع هدف مدل از صفر ریال تا قیمتی که در آن سطح استفاده از آب عملاً غیراقتصادی گردد این برآورد صورت گرفت (شکل ۲). با افزایش قیمت آب از صفر به ۷۲۵ ریال، مقدار تقاضای آب برای کشاورزان منطقه بدون تغییر باقی مانده و تأثیری روی تقاضای آب مشاهده نگردید، به عبارتی در این دامنه از قیمت، تقاضای کششی پایینی برای آب در منطقه وجود دارد و این کشش پایین تقاضا بیانگر آن است که به منظور کاهش میزان تقاضای آب در منطقه مورد مطالعه نمی توان صرفاً از ابزارهای قیمتی جهت کاهش میزان تقاضای آب استفاده نمود. بی کشش بودن تقاضای آب کشاورزی در این سطح از قیمت، بالا بودن منافع حاصل از استفاده از آب کشاورزی نسبت به هزینه های آن، نقش اساسی آب به عنوان یک نهاده ضروری بخش کشاورزی و همچنین نبود هیچ جایگزین دیگری برای آب سبب گردیده که کشاورزان در این دامنه از قیمت، انگیزه ای برای کاهش مصرف آب نداشته باشند (شکل ۲). نتیجه تحقیق سایرین نیز نشان می دهد که افزایش قیمت آب بها به میزان ۶۰ درصد، باعث تغییر الگوی کشت شده و بیشترین سطح زیر کشت در فصل دوم به کشت ذرت علوفه ای اختصاص یافت (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۲). در دامنه ۷۵۰-۹۵۰، ۱۰۰۰-۱۰۵۰ و همچنین ۱۲۰۰-۱۰۷۵ ریال نیز تقاضای آب بی کشش به دست آمد، هرچند بالا بردن بیش از حد قیمت آب در

منطقه در شرایط موجود نیز امکان پذیر نمی باشد. نکته حائز اهمیت این است که این نمودار تقاضا، شامل دامنه های مشخص قیمتی بوده و در داخل هر دامنه قیمتی با تغییر قیمت آب، مقدار تقاضای آب تغییر چندانی پیدا نمی کند. بی کشش بودن تقاضای آب در دامنه های قیمتی ۷۲۵-، ۹۵۰-۷۵۰ و ۱۰۵۰-۱۰۰۰ و همچنین ۱۲۰۰-۱۰۷۵ ریال مسئله ای است که باید در برنامه ریزی های مربوط به قیمت گذاری منابع آب کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.

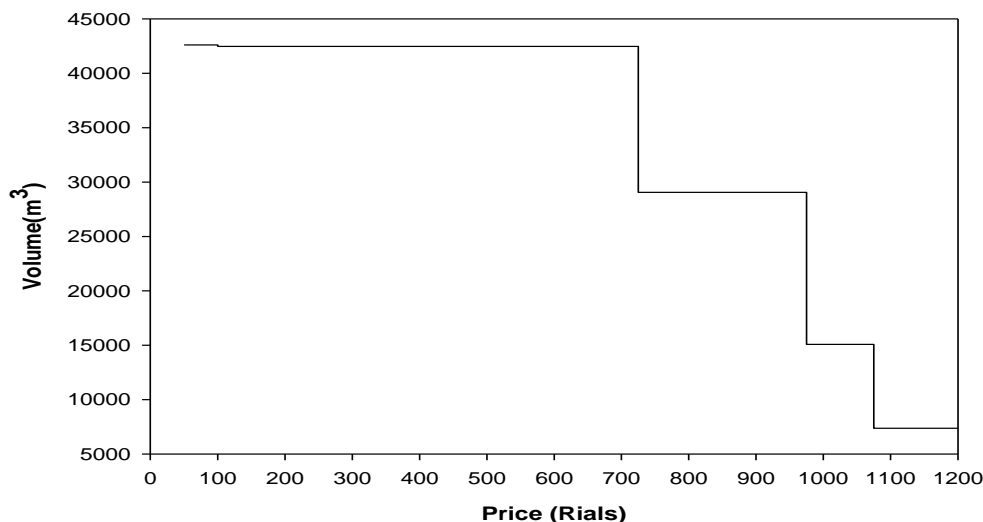
با افزایش قیمت آب، سود ناخالص (بازده برنامه ای) کمتر و مدل بیشتر به سمت افزایش زیر کشت محصولاتی تمایل دارد که با مصرف آب کمتر عملکرد بیشتری دارند (شکل ۳).

بررسی تأثیر کم آبیاری بر نتایج مدل

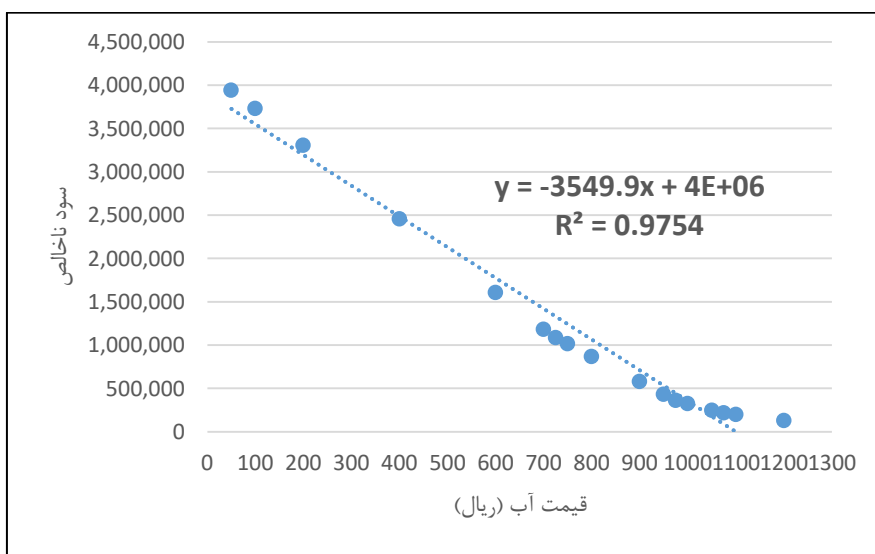
با توجه به شرایط اقلیمی محدوده مطالعه، نوسانات شدید منابع آبی (با ضریب تغییرات ۶۳ درصد)، کیفیت خوب منابع آب و خاکی منطقه، تأثیر مثبت کم آبیاری در کاهش آب مصرفی و هزینه های تولید و افزایش میزان تولید و بهره وری آب بایستی به کم آبیاری به عنوان یک استراتژی مهم در استفاده بهینه از منابع آب توجه داشت؛ بنابراین در مناطق خشکی مثل ایران و به خصوص محدوده مورد مطالعه، تأمین نیاز آبی بر مبنای آبیاری کامل به ندرت میسر است و از طرفی دستیابی به حداکثر محصول همیشه با بالاترین راندمان اقتصادی استفاده از آب همراه نیست. در چنین مناطقی میزان آب

سایر مناطق کشور است بلکه به دلیل شرایط نامطمئن و بی‌ثبات در تأمین و توزیع آب، وضعیت در اکثر سال‌ها بسیار بدتر است.

داده‌شده به محصولات خیلی کمتر از نیاز واقعی آن‌ها جهت تولید حداکثر است. به علاوه محدوده مورد مطالعه از این نظر نه تنها مشابه



شکل ۲- نمودار تقاضای آب کشاورزی برای بخش مورد مطالعه



شکل ۳- نمودار افزایش قیمت در برابر سود

در مراحل بعدی رشد گیاه است؛ بنابراین اگر کم‌آبیاری بدون رعایت این نکات اعمال گردد، ممکن است منجر به وارد شدن خسارت به محصول و احتمالاً از دست رفتن زحمت و سرمایه‌گذاری به عمل آمده شود. با در نظر گرفتن شرایط و واقعیت‌های مربوط به آب و آبیاری منطقه‌ی مورد مطالعه و جمع‌بندی یافته‌ها برای استمرار تولیدات کشاورزی مطمئن و پایدار در منطقه چاره‌ای جز اعمال کم‌آبیاری یا مدیریت آگاهانه و علمی آب مصرفی گیاهان بر اساس حد بهینه‌ی آب

به طور معمول محصولات حداکثر سه مرحله و در اکثر سال‌ها دو مرحله یا یک مرحله و خیلی به ندرت چهار مرحله آب برای آبیاری دریافت می‌کنند. لذا اعمال کم‌آبیاری برای محصولات منوط به آگاهی و رعایت دو نکته اساسی است: الف) کم‌آبیاری بایستی در مرحله غیر حساس رشد گیاه اعمال شود، یعنی موقعی گیاه دچار تنش آبی شود که مرحله رشد سبزینه‌ای معمول خود را طی می‌کند و ب) شرط اعمال کم‌آبیاری، آگاهی از میزان آب موجود و در دسترس بودن آن

در هکتار) تحت عنوان کم آبیاری شدید نظر گرفته شد (جدول ۵ و ۶). سطوح کم آبیاری در نظر گرفته شده میانگینی از سطوح کم آبیاری اعمال شده برای محصولات مختلف است. کم آبی ملایم فقط در مورد گیاهان جو و سورگوم اعمال گردید و با افزایش مقدار کم آبیاری (اعمال تنش ۵۰ درصد)، کم آبیاری در مورد تمام گیاهان به استثنای هندوانه اعمال گردید و سطوح زیر کشت به سمت گیاهان اقتصادی تر سوق داده شد (جدول ۵ و ۶).

مصرفی واحد بهینه‌ی تخلیه‌ی مجاز رطوبتی نیست. با توجه به تجربه‌ی کم آبی‌های اتفاق افتاده در منطقه، راهبرد کم آبیاری در دو سناریوی ۷۵ و ۵۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس محاسبات مربوط به نیاز آبی گیاهان موجود در الگوی کشت انجام و ارائه گردید. سطح اول کم آبیاری به میزان تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه (۳۲۰۶۳ مترمکعب در هکتار) تحت عنوان کم آبیاری ملایم و سطح دوم کم آبیاری به میزان تأمین ۵۰٪ نیاز آبی گیاه (۲۱۳۷۵ مترمکعب

جدول ۵- نتایج کاهش آب مصرفی (تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی) بر الگوی بهینه‌ی کشت (هکتار)

نوع محصول کم آبیاری (درصد)	مساحت بهینه (یک هکتار)	مساحت بهینه (۵۵۰۰ هکتار)	مساحت بهینه (۱۳۷۵۰ هکتار)	مساحت بهینه (۱۹۲۵۰ هکتار)	مساحت بهینه (۲۴۷۵۰ هکتار)
گندم	۴۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰
جو	۰/۰۰۰۲	۰۰۰	۱	۳	۵
یونجه	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
سورگوم	۵/۶۹	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰
هندوانه	۹/۲۶	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
انگور	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰

جدول ۶- نتایج کاهش آب مصرفی (۵۰ درصد نیاز آبی) بر الگوی بهینه‌ی کشت (هکتار)

نوع محصول کم آبیاری (درصد)	مساحت بهینه (یک هکتار)	مساحت بهینه (۵۵۰۰ هکتار)	مساحت بهینه (۱۳۷۵۰ هکتار)	مساحت بهینه (۱۹۲۵۰ هکتار)	مساحت بهینه (۲۴۷۵۰ هکتار)
گندم	۴۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰
جو	۰/۰۰۲۶	۱۴	۳۶	۵۰	۶۴
یونجه	۰/۰۵۹۲	۳۲۶	۸۱۴	۱۱۴۰	۱۴۶۵
سورگوم	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰
هندوانه	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
انگور	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰

نتیجه گیری

نتایج این مدل با استفاده از الگوریتم ذرات چندهدفه آشوبناک برای کشت‌های غالب منطقه نشان داد که الگوی فعلی منطقه بهینه نبوده و از پتانسیل‌های موجود در منطقه به درستی استفاده نمی‌شود ولی با اجرای الگوی پیشنهادی بازده برنامه‌ای حاصل به ازای هر هکتار زمین کشت شده در کل فصل زراعی افزایش یافته و سود و درآمد قابل توجهی نصیب بخش کشاورزی منطقه خواهد شد. از نتایج این تحقیق می‌توان به بررسی اثر محدودیت آب در دوره‌های مختلف رشد بر سطح کشت گندم، جو، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور اشاره نمود. طبق نتایج به دست آمده، با کاهش ۲۵ درصدی آب مصرفی شبکه، مقدار بازده برنامه‌ای ۱۴/۵ درصد و با کاهش آب مصرفی ۵۰ درصد، مقدار بازده برنامه‌ای ۴۱/۵ درصد کاهش یافت. مدل همچنین نشان داد لحاظ نمودن کم آبیاری در کل دوره رشد مناسب نبوده و

استراتژی آبیاری کامل توصیه می‌گردد، بر این اساس سطوح زیر کشت مناسب را برای هر گیاه ارائه می‌دهد. همچنین نتایج ارزیابی حساسیت مدل نشان می‌دهد که در قیمت‌های پایین کشاورزان واکنش کمتری به تغییر قیمت نشان می‌دهند و در قیمت‌های بالاتر کشاورزان عکس‌العمل بیشتری نشان می‌دهند و با افزایش قیمت، بازده برنامه‌ای کمتر می‌شود.

منابع

اسدپور، ج.، حسنی‌مقدم، م. و احمدی، غ. ۱۳۸۶. طراحی مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به منظور تعیین الگوی بهینه کشت در دشت ناز شهرستان ساری. مجله اقتصاد کشاورزی. ۳: ۵۳-۶۵.
جلیلیان، ع.، شیروانی، ع. ر.، نعمتی، ع. و بساطی، ج. ۱۳۸۰. بررسی اثرات کم آبیاری بر تولید و اقتصاد چغندر قند در منطقه کرمانشاه.

قاسمی، ع. ا.، حسنلو، س.، پیروز، ر. و نجفی علمدارلو، ح. ۱۳۹۴. رویکرد محیط زیستی در تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از مدل برنامه ریزی آرمانی (مطالعه موردی: منطقه ورامین). پژوهش‌های محیط زیست. ۱۱: ۱۶۳-۱۷۲.

قهرمان، ب. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۸. کاربرد سطوح مختلف کم-آبیاری برای اجرای اقتصادی یک مخزن. مجله علوم و تکنولوژی. ۲۳(۴): ۸۳-۹۰.

کیافر، ه. و صدرالدینی، ا. ا. ۱۳۹۰. تخصیص بهینه آب برای شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. پنجمین همایش مدیریت منابع آب. ۵: ۵۲-۶۱.

مفتاح‌هلی، م.، قربانی، خ.، کرامت‌زاده، ع. و سالاری‌جزی، م. ۱۳۹۹ الف. بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۷(۱): ۱۶۳-۱۸۰.

مفتاح‌هلی، م.، قربانی، خ.، کرامت‌زاده، ع. و سالاری‌جزی، م. ۱۳۹۹ ب. کاربرد نظریه بازی‌ها در تعیین برداشت بهینه منابع آب و ارائه الگوی کشت بهینه (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۵): ۶۹-۸۷.

میرزایی، ش.، ذاکری‌نیا، م.، شریفان، ح. و شهابی‌فر، م. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت بهینه با روش بهینه-کمینه (MMAS) سیستم مورچگان (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱: ۶۶-۷۴.

وفائی‌نژاد، ع. ر.، یوسف‌زاده، ج.، یوسفی، ح. و محمدی‌ورزنده، ن. ۱۳۹۳. مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و تخصیص الگوی کشت به کمک GIS و برنامه‌ریزی خطی (نمونه موردی: اراضی پایین‌دست سد آغ‌چای). اکو هیدرولوژی. ۲: ۱۲۳-۱۳۲.

وفائی‌نژاد، ع. ر. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش TOPSIS و الگوریتم ژنتیک بر مبنای قابلیت‌های GIS (مطالعه موردی: اراضی بخش جلگه استان اصفهان). مجله اکوهیدرولوژی. ۳(۱): ۶۹-۸۲.

Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO irrigation and Drainage paper No. 33. Food and agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Kumar, D. N. and Reddy, J. 2007. Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization, Journal of Water Resources Planning and Management. 133(3): 192-201.

Mainuddin, M., Gupta, A. D. and Onta P.R. 1997.

چیزری، ا. ح. و قاسمی، ع. ر. ۱۳۷۸. کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۷(۲۸): ۶۱-۷۶.

حسینی، ن. ۱۳۸۴. اثرات آبیاری متناوب با سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد گندم در منطقه باجگاه و کوشک. پایان‌نامه کارشناسی-ارشد. گروه آبیاری و زهکشی. دانشگاه شیراز. ایران.

خاشعی‌سیوکی، ع.، قهرمان، ب. و کوچک‌زاده، م. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از آب زیرزمینی با الگوریتم PSO. مجله پژوهش آب ایران. ۱۴: ۱۳۷-۱۴۶.

ذاکری‌نیا، م.، قربانی، خ. و هزارجریبی، ا. ۱۳۹۳. تعیین نیاز آبی گیاهان الگوی کشت شبکه آبیاری با استفاده از ArcET (مطالعه موردی: دشت درود زن فارس). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲: ۱۹۱-۲۰۸.

رستگاری‌پور، ف. و صبوحی، م. ۱۳۸۸. تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی خاکستری (مطالعه موردی: شهرستان قوچان). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۸: ۴۰۵-۴۱۳.

رفیعی، و.، شوربان، م. و عطاری، ج. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از ترکیب مدل شبیه‌سازی SWAT و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳(۳): ۷۳-۸۸.

سپاسخواه، ع. ر. و کامکار حقیقی، ا. ا. ۱۳۷۵. اثرات آبیاری فارو بر راندمان آبیاری چغندر قند. سمینار چغندر. مرداد ماه، دانشگاه اصفهان.

شجری، ش. و ترکمانی، ج. ۱۳۸۶. تناسب شبیه‌سازی‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری به منظور بررسی تقاضای آب آبیاری: مطالعه موردی در حوضه رودخانه درود زن در استان فارس. مجله اقتصاد کشاورزی. ۱(۳): ۳۳۱-۳۴۵.

شعبانی، م. ک.، هنر، ت. و زیبایی، م. ۱۳۸۶. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی. مجله علوم آب و خاک. ۱۲(۴۴): ۵۳-۶۷.

شعبانی، م. ک. و هنر، ه. ۱۳۸۷. تعیین الگوی کشت بهینه در کانال-های آبیاری با استفاده از مدل IPM. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲: ۹۵-۱۰۶.

عوض‌یار، م.، احمدپور برازجانی، م. و ضیائی، س. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی الگوی کشت جهت افزایش راندمان آبیاری در اراضی پایین‌دست سد ملاصدرا در استان فارس. مجله مهندسی منابع آب. ۱۱: ۲۱-

- Rao, N.H., Sarma, P.B.S. and Chander, S. 1988. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*. 113: 25- 32.
- Satyasai, K. J. S. and Viswanathan K.U. 1997. Evaluation of alternative water management strategies for water scarce areas . *Indian Journal of Agriculture Economic*. 25(3): 499- 507
- Torkamani, J. 2006. Measuring and incorporating farmers' beliefs and preferences about uncertain events indecision analysis: A stochastic programming experiment. *Indian J. of Agricultural Economics*. 61(2): 185- 199.
- Optimal crop planning model for an existing groundwater irrigation project in Thailand. *Agric. Water management*. 33: 43-62.
- Mathworks, Co. 2009. *Matlab Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox*.
- Parand, A.R. and Sepaskhah A.R. 2006. Effects of Alternate Furrow Irrigation with Supplemental Every-Furrow Irrigation at Different Growth Stages on the Yield of Maize (*Zea mays L.*). *Plant Production Science*. 9: 415- 421.
- Raju K. S. and Nagesh Kumar D. 2004. Irrigation planning using genetic algorithms, *Water Resources Management*. 18(2): 163-176.

Optimization of Sistan Plain Cropping Pattern Using Multi-Objective Chaotic Particle Swarm Optimization Algorithm

H. Siasar¹, A. Salari^{2*}

Received: May. 23, 2021

Accepted: Jul. 03, 2021

Abstract

Increasing population and food demand, disproportionate cultivation and annual production of various agricultural products with market needs and low productivity of the agricultural sector and the loss of water and soil resources have made it necessary to determine and implement the country's optimal cropping pattern. In this study, due to the limitations and problems of classical methods in order to reduce processing time and improve the quality of solutions, the Multi-Objective Chaotic Particle Swarm Optimization was used to determine the optimal cultivation pattern of Sistan plain in optimal conditions and deficit irrigation. The results of the Multi-Objective Chaotic Particle Swarm Optimization for the dominant cultures in the region showed that the current cropping pattern of the region is not optimal and with the implementation of the proposed model, the profit per unit area under cultivation will increase. The results of application of deficit irrigation during different growing periods of wheat, barley, alfalfa, sorghum, watermelon and grapes showed that applying deficit irrigation in this plain is not a good strategy and therefore only a full irrigation strategy is recommended. The results of sensitivity analysis of the model showed that at low prices, farmers reaction is less and at higher prices more reaction to price changes and with increasing prices, the program efficiency is lower.

Keywords: Cultivation area, Deficit irrigation, Model sensitivity, Sistan plain

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, (PNU), Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran

(* Coresponding Autor Email: Salari.1361@yahoo.com)