Ar Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1006-1017

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۰۱۷-۱۰۰۶

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 کم آبیاری‌ها 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 واردکردن گیاهان گندم، یونجه، سورگوم، هندوانه و انگور با استراتژی آبیاری کامل در الگوی بهینه کشت، در نهایت بازده برنامه‌ای ۴,۱۵۳,۴۴۸ تومان به دست آمد، با کاهش ۲۵ درصدی آب مصرفی شبکه، مقدار بازده برنامه‌ای ۱۴/۵ درصد و با کاهش ۵۰ درصدی آب مصرفی، مقدار بازده برنامه‌ای 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 برنامه‌ای) 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 ۷۲۵-۰، ۹۵۰- ۷۵۰، ۱۰۵۰- ۱۰۰۰ 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

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 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 ازجمله آب، می‌تواند تغییرات قابل‌توجهی 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 ازجمله 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

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
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.5.2.0

www.SID.ir

Archive of SID

قابل‌اجرا 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 ازجمله 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 به‌مراتب 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 صبوحی، ۱۳۸۸)، در تعدادی از دشت‌ها، بیشتر محصولات تغییریافته (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 شبیه-سازی 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 یافتند.

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 نا مغلوب قسمت انتخاب‌شده 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 می گیرد 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. به‌طورکلی وجود ویژگی‌های شبه

www.SID.ir

Archive of SID

تصادفی، همه‌جهته، 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.

گروه های 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).

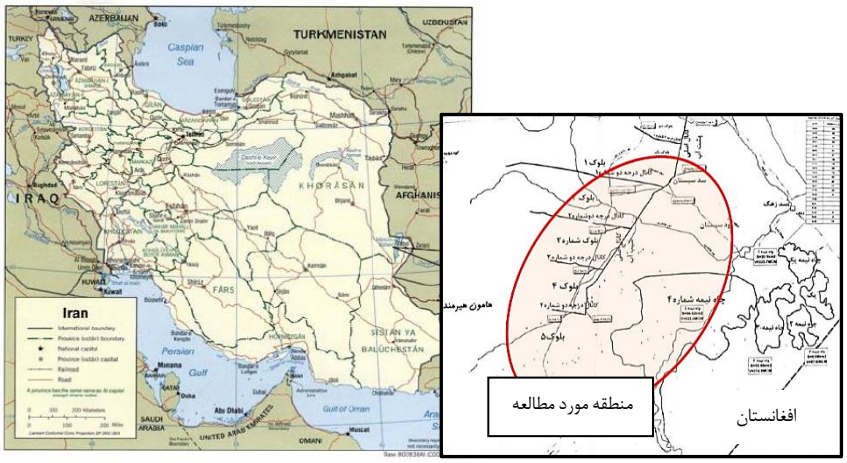
در ایران مخصوصاً دشت سیستان به علت کمبود بارندگی و محدود بودن منابع آب، برنامه‌ریزی مدون به منظور شناخت امکانات و محدودیت‌های منابع آب با هدف بهره‌برداری بهینه بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی، لزوم بهینه‌سازی الگوی کشت در راستای بهینه کردن مصرف آب و حداکثر 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.

ازآنجایی که اکثر مدل‌های کلاسیک ارائه‌شده قادر به تخصیص بهینه هم زمان آب و زمین نبوده بنابراین در پژوهش حاضر سعی گردید از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات آشوبناک که قادر به واردکردن محصولات موردنظر از میان استراتژی‌های گوناگون هم‌زمان با تخصیص بهینه آب و زمین است استفاده گردید، از مزیت-های 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 می تواند در چرخه تولید زراعی قرار گیرد. متوسط ارتفاع این دشت از سطح دریا ۴۸۵ متر بوده و اقلیم منطقه سیستان بر اساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح‌شده، 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.



شکل ۱- منطقه موردمطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

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 موردنیاز شامل سطح زیر کشت، عملکرد محصولات، هزینه تولید، هزینه نهاده ها، 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.

ازآنجایی‌که 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 ازیک‌طرف 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 موردتوجه قرار گرفته است؛ بنابراین با بررسی الگوی کشت موجود و الگوهای کشت تهیه‌شده در مطالعات قبلی، الگوی کشت فعلی عمدتاً شامل غلات (شامل جو و گندم) ۳۵٪، علوفه ۲۳٪، نباتات جالیزی ۱۹٪، انگور و نباتات دائمی و کمربند 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 موردبررسی 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 قرارگرفته 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.

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

نوع محصول	منبع مورداستفاده	KY درکل 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

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 به‌طورمعمول 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).

تابع هدف

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

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

محصول، $Ky_{i,j}$ ضریب حساسیت گیاه به کم آبی و X_j مقدار کاهش نسبی مصرف آب (که کوچک‌تر یا مساوی یک می‌باشد) می‌باشد. در رابطه ۱، متغیرهای A_i و X_j مجهول بوده و سایر متغیرها قابل‌اندازه‌گیری و یا قابل‌محاسبه می‌باشند.

از میان توابع تولید ارائه‌شده در پژوهش‌های مختلف، توابع تولید دورنبوس 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 به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار گرفته‌اند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ قهرمان و سپاسخواه، ۱۳۷۸).

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^{n}\left(1 - Ky_i\left(1 - \frac{ET_a}{ET_p}\right)\right) \qquad (۲)$$

که در آن ET_a و ET_p به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی و پتانسیل (بر حسب میلی‌متر) می‌باشند.

قید اول: بیلان آب خاک

با صرف‌نظر کردن از رواناب سطحی، بیلان آب خاک در هر فاصله زمانی به‌صورت رابطه ۳ نوشته می‌شود:

$$SM_{i,t+1}.Root_{i,t+1} = SM_{i,t}.Root_{i,t} + ERain_t + IR_{i,t} - ETa_{i,t} - DP_{i,t} + SM_i(Root_{i,t+1} - Root_{i,t}) \qquad (۳)$$

در رابطه ۳: $SM_{i,t}$ و $SM_{i,t+1}$ به ترتیب مقدار آب در منطقه ریشه‌ها 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، $Rain$ مقدار بارندگی مؤثر (میلی‌متر) در دوره زمانی t ، SM_i رطوبت ثابت لایه‌های زیرین خاک قبل از کاشت گیاه i (میلی‌متر)، $IR_{i,t}$ آب آبیاری اختصاص‌یافته برای گیاه i (میلی‌متر) در دوره زمانی t و $ETa_{i,t}$ و $DP_{i,t}$ به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر) و نفوذ عمقی گیاه (میلی‌متر) در دوره‌های زمانی t می‌باشند.

قید دوم: تبخیر- تعرق واقعی

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

$$ET_{a_{i,t}} \le \frac{[(SM_{i,t} - PWP_c)Root_{i,t} + Rain_t + IR_{i,t} - DP_{i,t}]}{[(1-P_i)(FC_i - PWP_i)Root_{i,t}]} ET_{p_{i,t}} \qquad (۴)$$

که در این رابطه i نوع محصول؛ t دهه‌های آبیاری و p_i کسر تخلیه آب خاک می‌باشد.

قید سوم: سهم آب

با شرط اینکه کل حجم آب آبیاری در فواصل پی‌درپی برای همه محصولات نمی‌تواند از آب قابل‌دسترس موجود بیشتر باشد رابطه ۵ جهت تعیین سهم آب آبیاری برقرار است:

$$10^5 \sum_i \sum_t IR_{i,t}.A_i = R.E_{ci} \qquad (۵)$$

که در آن i نوع محصول آبیاری، t بازه ده روزه آبیاری، $IR_{i,t}$ حجم آب آبیاری (میلی‌متر)، A_i مساحت (هکتار)، R حجم آب موجود (میلیون مترمکعب) و E_{ci} راندمان انتقال (اعشار) می‌باشد.

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 به‌دست‌آمده، استفاده شد (جدول ۲).

به‌طورکلی وجود ویژگی‌های شبه تصادفی، همه‌جهته، میل به محدودیت و در نهایت بی‌نظمی[1] در متغیرهای آشوب، سبب شده تا استفاده از این تئوری در الگوریتم‌های بهینه‌سازی نتایج خوبی را به دنبال داشته و از آن‌ها در مسائل مختلف بهینه‌سازی به‌منظور جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه سراسری استفاده می‌شود. مسئله بهینه‌سازی برای تابع چندوجهی[2] غیرخطی با بازه محدودیت در رابطه ۶ در نظر گرفته شده است (Yang, Li et al. 2007):

$$minimize\ f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$
$$XL_i \le x_i \le XU_i, \qquad i = 1,2,\dots,n \qquad (۶)$$

در این معادله: f یک تابع هدف با n متغیر بهینه‌سازی و XL_i و XU_i به ترتیب مشخص‌کننده حد پایین و حد بالای متغیر x_i می‌باشند. بنابراین فضای n بعدی S در ناحیه $\{(XL_i, XU_i), i = 1,2,\dots,n\}$ تعریف می‌شود.

در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه، ذرات در جمعیت معمولاً به بهینه محلی یا سراسری در فضای جستجو طی تکرار پی‌درپی همگرا می‌شوند. در طرح پیشنهادی، موقعیت اولیه ذرات جمعیت، بر اساس سیستم آشوب لجستیک در فضای جستجو مقداردهی و تعیین می‌گردد. این گام تضمین می‌نماید که توزیع درستی از ذرات در کل فضای جستجو صورت گیرد. به‌منظور تولید متغیرهای بهینه‌سازی توسط نگاشت لجیستیک باید یک نگاشت خطی بین متغیر بهینه‌سازی x_i و متغیر آشوب z_i به‌صورت رابطه ۷ تعریف شود:

$$z_i = (x_i - XL_i)/(XU_i - XL_i) \qquad (۷)$$

سپس n متغیر آشوب z_i (i=1,2,…,n)، با مقادیر اولیه متفاوت ساخته‌شده توسط نگاشت لجیستیک می‌توانند یک بردار جواب x را تولید نمایند. مقداردهی متغیرهای بهینه‌سازی طبق رابطه ۸ به کمک متغیرهای آشوب و محاسبه تابع هدف $f^* = f(x^0)$ و قرار دادن k=1

1 - Irregularity
2 - Multi modal

www.SID.ir

Archive of SID

برای تعداد تکرارهای انجام‌شده محاسبه می‌گردد:

$$x_i^0 = XL_i + z_i^0(XU_i - XL_i) \quad (۸)$$

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

$$z_i^{k+1} = 4z_i^k(1 - z_i^k) \quad (۹)$$

$$x_i^{k+1} = XL_i + z_i^{k+1}(XU_i - XL_i) \quad (۱۰)$$

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

$$V_{id}(t+1) = wV_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times (P_{id} - X_{id}(t)) + c_2 \times Chaotic_operator \times (P_{leader} - X_{id}(t)) \quad (۱۱)$$

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_2, r_1 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. به‌طورکلی 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 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 آبگیری 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٪ مورداستفاده 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، کم‌آبیاری اعمال می‌گردد.

با واردکردن 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 موردنیاز 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

جدول ٤- 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 (۲٤۷۵۰ هکتار)
گندم	۰.۰۰	۰/۵۸۴۱	۳۲۱۳	۸۰۳۱	۱۱۲۴۴	۱۴۴۵۶
جو	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۰۱	۱	۱	۲	۲
یونجه	۰/۰۰۰۹	۰/۲۰	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
سورگوم	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۶۸	۹۲	۲۳۱	۳۲۳	۴۱۶
هندوانه	۰/۰۰۵۶	۰/۲۰	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
انگور	۰/۰۰۰۱	۰/۲۰	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰

بررسی حساسیت قیمت آب در نتایج مدل

به‌منظور به دست آوردن نمودار تقاضای آب برای منطقه موردمطالعه 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 باقی‌مانده 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 به‌منظور کاهش میزان تقاضای آب در منطقه موردمطالعه نمی‌توان صرفاً از ابزارهای قیمتی جهت کاهش میزان تقاضای آب استفاده نمود. بی‌کشش بودن تقاضای آب کشاورزی در این سطح از قیمت، بالا بودن منافع حاصل از استفاده از آب کشاورزی نسبت به هزینه‌های آن، نقش اساسی آب به‌عنوان یک نهاده ضروری بخش کشاورزی و همچنین نبود هیچ جایگزین دیگری برای آب سبب گردیده که کشاورزان در این دامنه از قیمت، انگیزه‌ای برای کاهش مصرف آب نداشته باشند (شکل ۲). نتیجه تحقیق سایرین نیز نشان می‌دهد که افزایش قیمت آب‌بها به میزان ۶۰ درصد، باعث تغییر الگوی کشت‌شده و بیشترین سطح زیر کشت در فصل دوم به کشت ذرت علوفه‌ای اختصاص یافت (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۲). در دامنه ۷۵۰-۹۵۰، ۱۰۵۰-۱۰۰۰ و همچنین ۱۲۰۰- ۱۰۷۵ ریال نیز تقاضای آب بی‌کشش به دست آمد، هرچند بالابردن بیش‌ازحد قیمت آب در منطقه در شرایط موجود نیز امکان‌پذیر نمی‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که این نمودار تقاضا، شامل دامنه‌های مشخص قیمتی بوده و در داخل هر دامنه قیمتی با تغییر قیمت آب، مقدار تقاضای آب تغییر چندانی پیدا نمی‌کند. بی‌کشش بودن تقاضای آب در دامنه‌های قیمتی ۷۲۵-۰، ۹۵۰- ۷۵۰ و ۱۰۵۰- ۱۰۰۰ و همچنین ۱۲۰۰- ۱۰۷۵ ریال مسئله‌ای است که باید در برنامه‌ریزی‌های مربوط به قیمت‌گذاری منابع آب کشاورزی موردتوجه قرار گیرد.

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

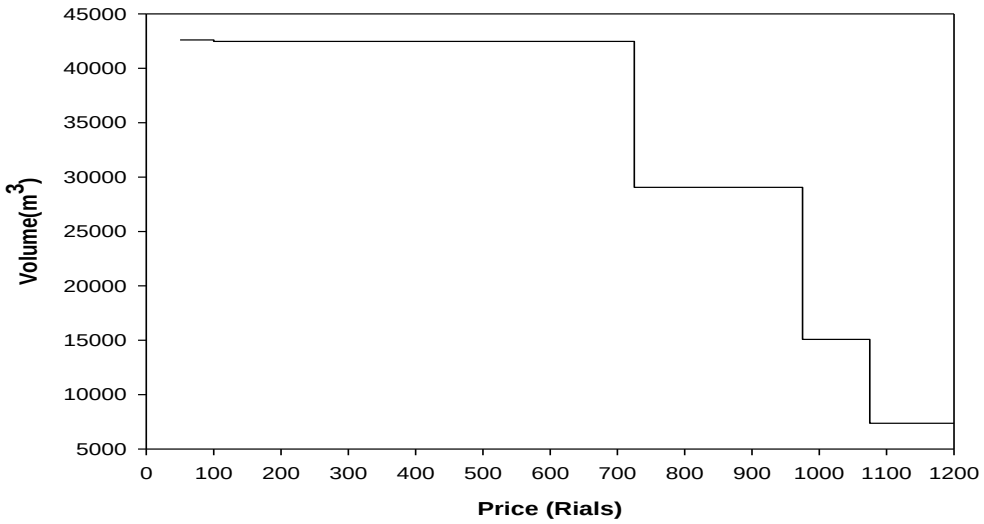
بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر نتایج مدل

با توجه به شرایط اقلیمی محدوده‌ی مطالعاتی، نوسانات شدید منابع آبی (با ضریب تغییرات ۶۳ درصد)، کیفیت خوب منابع آب و خاکی منطقه، تأثیر مثبت کم‌آبیاری در کاهش آب مصرفی و هزینه-های تولید و افزایش میزان تولید و بهره‌وری آب بایستی به کم‌آبیاری به‌عنوان یک استراتژی مهم در استفاده بهینه از منابع آب توجه داشت؛ بنابراین در مناطق خشکی مثل ایران و به‌خصوص محدوده‌ی موردمطالعه، تأمین نیاز آبی بر مبنای آبیاری کامل به‌ندرت میسر است و از طرفی دستیابی به حداکثر محصول همیشه با بالاترین راندمان اقتصادی استفاده از آب همراه نیست. در چنین مناطقی میزان آب

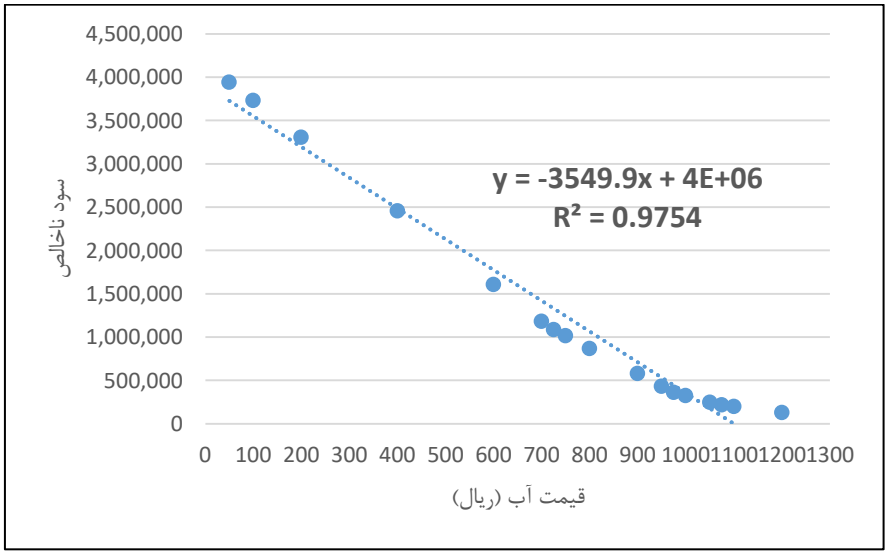
www.SID.ir

Archive of SID

داده‌شده به محصولات خیلی کمتر از نیاز واقعی آن‌ها جهت تولید حداکثر است. به‌علاوه محدوده موردمطالعه از این نظر نه‌تنها مشابه سایر مناطق کشور است بلکه به دلیل شرایط نامطمئن و بی‌ثبات در تأمین و توزیع آب، وضعیت در اکثر سال‌ها بسیار بدتر است.



شکل ۲-نمودار تقاضای آب کشاورزی برای بخش موردمطالعه



شکل ۳- نمودار افزایش قیمت در برابر سود

به‌طورمعمول محصولات حداکثر سه مرحله و در اکثر سال‌ها دو مرحله یا یک مرحله و خیلی به‌ندرت 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 مرحلهٔ رشد سبزینه‌ای معمول خود را طی می‌کند و ب) شرط اعمال کم‌آبیاری، آگاهی از میزان آب موجود و در دسترس بودن آن 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 به‌عمل‌آمده شود. با در نظر گرفتن شرایط و واقعیت‌های مربوط به آب و آبیاری منطقه‌ی موردمطالعه 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

www.SID.ir

Archive of SID

مصرفی واحد بهینه‌ی تخلیه‌ی مجاز رطوبتی نیست. با توجه به تجربه‌ی کم‌آبی‌های اتفاق افتاده در منطقه، راهبرد کم‌آبیاری در دو سناریوی ۷۵ و ۵۰ درصد موردبررسی قرار گرفت و بر این اساس محاسبات مربوط به نیاز آبی گیاهان موجود در الگوی کشت انجام و ارائه گردید. سطح اول کم‌آبیاری به میزان تأمین ۷۵٪ نیاز آبی گیاه (۳۲۰۶۳ مترمکعب در هکتار) تحت عنوان کم‌آبیاری ملایم و سطح دوم کم‌آبیاری به میزان تأمین ۵۰٪ نیاز آبی گیاه (۲۱۳۷۵ مترمکعب در هکتار) تحت عنوان کم‌آبیاری شدید نظر گرفته شد (جدول ۵ و ۶).

سطوح کم‌آبیاری در نظر گرفته شده میانگینی از سطوح کم‌آبیاری اعمال‌شده برای محصولات مختلف است. کم‌آبی ملایم فقط در مورد گیاهان جو و سورگوم اعمال گردید و با افزایش مقدار کم‌آبیاری (اعمال تنش ۵۰ درصد)، کم آبیاری در مورد تمام گیاهان به‌استثنای هندوانه اعمال گردید و سطوح زیر کشت به سمت گیاهان اقتصادی‌تر سوق داده شد (جدول ۵ و ۶).

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	۴۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
جو	۰.۰۰	۰/۰۰۰۲	۱	۳	۴	۵
یونجه	۰.۰۰	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
سورگوم	۵/۶۹	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
هندوانه	۹/۲۶	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
انگور	۰.۰۰	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰

جدول ٦- 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	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
جو	۰.۰۰	۰/۰۰۲۶	۱۴	۳۶	۵۰	۶۴
یونجه	۰.۰۰	۰/۰۵۹۲	۳۲۶	۸۱۴	۱۱۴۰	۱۴۶۵
سورگوم	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
هندوانه	۰.۰۰	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰
انگور	۰.۰۰	۰/۲	۱۱۰۰	۲۷۵۰	۳۸۵۰	۴۹۵۰

نتیجه‌گیری

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 به‌درستی استفاده نمی‌شود ولی با اجرای الگوی پیشنهادی بازده برنامه‌ای حاصل به ازای هر هکتار زمین کشت‌شده در کل فصل زراعی افزایش‌یافته و سود و درآمد قابل‌توجهی 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 به‌دست‌آمده، 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، ح.، حسنی‌مقدم، م. و احمدی، غ. ۱۳۸۶. طراحی مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به‌منظور 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 کم‌آبیاری بر تولید و اقتصاد چغندرقند در منطقه کرمانشاه.

www.SID.ir

Archive of SID

مجله چغندرقند. ۱۷(۱): ۱- ۱۴.

چیذری، 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.، شوریان، 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 چغندرقند. سمینار چغندر. مرداد ماه، دانشگاه اصفهان.

شجری، ش. و ترکمانی، ج. ۱۳۸۶. تناسب شبیه‌سازی‌های تصمیم-گیری چندمعیاری به‌منظور 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- ۳۲.

قاسمی، ع. ا.، حسنلو، س.، پیروز، ر. و نجفی‌علمدارلو، ح. ۱۳۹۴. رویکرد محیط زیستی در تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه موردی: منطقه ورامین). پژوهش‌های محیط‌زیست. 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 صوفی‌چای آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. پنجمین همایش مدیریت منابع آب. ۵: ۵۲- ۶۱.

مفتاح‌هلقی، 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. ۲۷(۱): ۱۶۳-۱۸۰.

مفتاح‌هلقی، 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 محمدی‌ورزنه، 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 Drainagepeper No. 33. Food and agricultural Organizition of de unied 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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. l13: 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.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1006-1017

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۰۱۷-۱۰۰۶

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

H. Siasar[1], A. Salari [2]*

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

www.SID.ir