نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۴

ISSN 2251-7480

توسعه مدل ریاضی و بهینه‌سازی تخصیص آب کشاورزی بر اساس رتبه‌بندی نامغلوب

رضا لاله زاری[1*]، هادی معاضد[2]، سعید برومندنسب[3] و علی حقیقی[4]

۱*) دانشجوی دکتری؛ دانشکده مهندسی علوم آب؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: rezalalehzari@gmail.com

۲) استاد گروه آبیاری و زهکشی؛ دانشکده مهندسی علوم آب؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران

۳) استاد گروه آبیاری و زهکشی؛ دانشکده مهندسی علوم آب؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران

٤) دانشیار؛ گروه مهندسی عمران؛ دانشکده مهندسی؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰٤/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۱٤

چکیده

مدیریت منابع آب از مهمترین عوامل افزایش بهره‌وری اقتصادی در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. در شرایط کمبود آب، استفاده کارامد از آب موجود برای تولید پایدار محصولات موردنیاز در نواحی خشک و نیمه خشک امری ضروریست. بدین منظور، روشی شامل مدلسازی ریاضی و ابزار بهینه‌سازی برای تخصیص آب با هدف حداکثرسازی بهره‌وری اقتصادی و کارایی الگوی آبیاری توسعه داده شده است. مدل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه با دو تابع هدف مجزا ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفت. کارایی مصرف آب، الگوی کشت، کاهش تلفات آبیاری، استفاده مؤثر از آب باران و اراضی زراعی در توابع هدف مدل بررسی شده است. آب موردنیاز آبیاری در هر دوره رشد و سطح زیر کشت محصول به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. برای مطالعه مزرعه‌ای مدل، گیاهان عمده دشت باغملک و مناطق اطراف، هزینه تولید و قیمت فروش محصولات در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد سطح زیر کشت بهینه اختصاص یافته به محصولات در شرایط کم آبی برای ذرت، هندوانه، گوجه فرنگی و پیاز با کاهش روبرو بوده است. همچنین، گوجه فرنگی، حبوبات و پیاز به ترتیب بشترین حجم آب را بدست آورده‌اند. در این شرایط نسبت سود خالص و عملکرد نسبی برای گوجه فرنگی، درصد آب تخصیص یافته برای سبزیجات و استفاده مؤثر از آب برای حبوبات کمترین مقادیر در بین پارامترهای ارزیابی محاسبه گردید.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ژنتیک؛ الگوی کشت؛ تخصیص بهینه؛ خشکسالی

مقدمه

افزایش بهره‌وری استفاده از نهاده‌های تولید با توجه به تقاضای روز افزون محصولات کشاورزی، ضرورتی انکارناپذیر است. بهره‌برداری مطلوب از این نهاده‌ها، افزون بر تأمین تقاضای جامعه به عنوان یک هدف کلان، می‌تواند افزایش درآمد بهره‌برداران را که برای آنها فعالیت کشاورزی علاوه بر یک فعالیت اقتصادی به‌عنوان شیوه‌ای از زندگی نیز محسوب می‌شود، به دنبال داشته باشد. به همین دلیل در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و کلان کشورهای مختلف، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع یکی از مهمترین شاخص‌های موردتوجه در توسعه کشاورزی بوده است. یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهای اقتصادی، مزیت نسبی و در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید است. پیشرفت‌های امروزی، ابزاری را فراهم آورده است تا امکان اختصاص بهینه عوامل تولید برای حصول حداکثر بهره‌وری استفاده از آنها ایجاد گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹٤).

حدود ۹۰ درصد فرآورده‌های خام کشاورزی از اراضی آبی

Archive of SID

www.SID.ir

تولید می‌شود، لذا کمبود منابع آب، علاوه برکندکردن روند توسعه کشاورزی، باعث خسارات و زیان‌هایی نیز در آینده خواهد شد. با توجه به محدودیت کیفی و کمی منابع آب در اکثر نقاط خشک و نیمه خشک جهان، مدیریت و برنامه‌ریزی به منظور حداکثر نمودن بهره‌وری آب کشاورزی در شرایط کمبود آب، چالش اساسی و مهم در اراضی فاریاب محسوب می‌شود. از مدیریت‌های اساسی در بخش کشاورزی فراهم آوردن شرایطی است که تولید محصول در برابر آب مصرفی به حداکثر برسد (رمضانی اعتدالی و همکاران، ۱۳۹۱).

در سال‌های اخیر کاربرد روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در مدیریت آب در کشاورزی رواج یافته است. تکنیک‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (Zanetti *et al.*, 2007; Calvo and Estrada, 2009)، روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی (Tsakoros and Spiliotis, 2006)، برنامه‌ریزی کسری خاکستری (رستگاری‌پور و صبوحی، ۱۳۹۱)، الگوریتم ژنتیک (Wardlaw and Bhaktikul, 2004; Zhang *et al.* 2008) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (Wang *et al.* 2011)، در برآورد آب موردنیاز آبیاری و تعیین الگوهای زراعی تأیید شده‌اند.

علاوه بر مطالعات شبیه‌سازی، روش‌های بهینه‌سازی نیز مانند برنامه‌ریزی خطی (LP)، برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و برنامه‌ریزی پویا (DP) رواج فراوانی یافت (Azamathulla *et al.* 2008). برنامه‌ریزی خطی از دهه ۱۹۶۰ تاکنون به طور وسیعی جهت تعیین الگوی بهینه کاشت گیاهان بکار گرفته شده است. اما امروزه با برنامه‌ریزی در مسائل کشاورزی تنها با برآورده کردن یک هدف امکان‌پذیر نیست، لذا اینگونه بهینه‌سازی پاسخگوی سیاست‌گذاران و بهره‌برداران نیست. از این رو مدلسازی چندهدفه با تکیه بر اصول مختلف نظیر منطق فازی و مفهوم غلبگی و با بهره‌گیری از ابزارهای هوشمند بهینه‌سازی از جمله الگوریتم ژنتیک برای بهبود فرایند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفت.

الگوریتم ژنتیک از گذشته تاکنون یکی از ابزارهای پرکاربرد در مدلسازی سیستم‌های زراعی به شمار می‌رود. از آن جمله می‌توان به شبیه‌سازی مدل‌های رشد گیاهان گلخانه‌ای در شرایط محیطی مختلف (Dai *et al.* 2009)، تأمین آب مورد نیاز آبیاری از سیستم‌های چندمخزنی (Elferchichi *et al.* 2009)، برنامه‌ریزی آبیاری (Haq and Anwar, 2010)، مسائل آب زیرزمینی (Ritzel *et al.* 1994; *Espinoza et al.* 2005)، شبکه‌های توزیع آب (Dandy and Engelhardt, 2001) و ترکیب با دیگر مدل‌های کشاورزی (Bergez, 2013) اشاره کرد. الگوریتم ژنتیک چندهدفه (*MOGAs*) و الگوریتم ژنتیک مبتنی بر جواب نامغلوب (*NSGA-II*) روش‌های استاندارد الگوریتم ژنتیک چندهدفه محسوب می‌شوند. مهمترین مزایای *NSGA-II* نسبت به *MOGAs* عبارتند از (Fotakis and Sidiropoulos, 2012): سرعت بیشتر در رسیدن به همگرایی؛ استفاده از عملگر مقایسه پرجمعیت و پراکندگی یکنواخت جبهه پارتو، دارای طرح رتبه‌بندی مؤثر برای کاهش پیچیدگی حاکم بر الگوریتم، قیدهای بهینه‌سازی مفهوم و قابل بررسی.

سیاست طراحی بهینه بر تعیین اینکه چه گیاهانی اعم از فصلی و یکساله در الگوی کشت قرار گیرند و چه مساحت و حجم آبی باید به آنها اختصاص داده شود استوار است. بنابراین متغیرهای تصمیم‌گیری می‌تواند شامل سطح زیر کشت و آب موردنیاز هر گیاه باشد که برای اصلاح فضای تصمیم لازم است ابتدا سطوحی از تنش برای گیاه تعریف شده و در هر گزینه تنها برای تخصیص زمین به محصول تصمیم‌سازی شود (Haouari and Azaiez, 2001).

الگوی کشت محصولات زراعی دشت قزوین با استفاده مدل برنامه‌ریزی خطی با اهداف حداکثرسازی سود بازاری کشاورزان و منافع اجتماعی توسط باریکانی و همکاران (۱۳۹۱) بهینه‌سازی شد. در این تحقیق برنامه‌ریزی برای برداشت از منابع آب زیرزمینی با توجه

Archive of SID

www.SID.ir

به نیاز متفاوت گیاهان در طول فصل زراعی بصورت تلفیقی با جریان آب سطحی انجام گرفت. در مدل تهیه شده سه دسته محدودیت شامل سطح زیر کشت، منابع آب و بازار برای تعیین سهم آب ۱۳ محصول زراعی با اولویت استفاده از منابع آب سطحی در نظر گرفته شد. همچنین نیاز آبی برای هر گیاه به‌صورت ماهانه با احتساب بازده آبیاری و توسط نرم‌افزار NETWAT به مدل وارد گردید. بر اساس نتایج به دست آمده منافعی که از حداکثرسازی منفعت اجتماعی حاصل میگردد بیشتر از منافع حاصل از سود بازاری است.

برنامه‌ریزی منابع آب تحت شرایط کم‌آبیاری، برای بهبود راندمان آبیاری، صرفه‌جویی در آب و حل مشکل کمبود آب در چین در سه سطح توسعه داده شد (Shangguan *et al.* 2002). سطوح مدل به ترتیب عبارت‌اند از: برنامه‌ریزی دینامیک برای بهینه‌سازی برنامه آبیاری گیاه، تخصیص بهینه آب بین گیاهان مختلف و در آخر تخصیص منابع آب موجود به زیربخش‌های منطقه. تابع هدف مدل، محاسبه حداکثر مقدار تابع تولید جنسن تعریف شد. بر اساس تابع تولید و کل آب تأمین شده برای گیاه از صفر تا آبیاری کامل، رابطه غیرخطی عملکرد گیاه نسبت به آب محاسبه گردید. در شرایط محدودیت منابع آب، اولویت آبیاری باید به دوره‌های اختصاص یابد که بیشترین ضریب توانی را در رابطه جنسن دارد.

در مطالعه Singh و Panda (۲۰۱۲) هزینه‌های استفاده از آب زیرزمینی و کانال‌ها، نیاز آبیاری گیاهان و همچنین فاکتورهای هیدرولوژیکی و اقتصادی شامل درآمد و هزینه تولید ۹ گیاه موجود در الگوی کشت، برای مدل بهینه تخصیص آب و زمین در هند استفاده شد. نتایج نشان داد کاهش سطح زیرکشت برنج، خردل، جو و نخود و در مقابل افزایش سطح زیرکشت پنبه، نیشکر، ارزن، گندم و سورگوم حدود ۲۶ درصد سود خالص سالانه را افزایش خواهد داد. آنالیز حساسیت نشان می‌دهد قیمت بازاری محصولات بیشترین تأثیر را در الگوی زراعی و تابع هدف داشته است. این روش همچنین موجب مدیریت بهتر چرخه آب در مزرعه شده و از ابزارهای جلوگیری از آب‌گرفتگی و زه‌دار شدن اراضی و کنترل کیفیت آب زیرزمینی است.

در شرایط کم‌آبی استفاده از سامانه‌ای که بتواند میزان و برنامه مصرف آب را بر پایه محدودیت‌های موجود شبیه‌سازی کرده و بهترین الگو را در اختیار بهره‌بردار قرار دهد ضروری است. بر این اساس، در تحقیق پیش رو، مدل بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب با رویکرد تخصیص بهینه آب و زمین به الگوی کشت محصولات آبی دشت باغملک برنامه‌ریزی شده است. مدل ریاضی توابع هدف و محدودیت‌ها استخراج و الگوریتم توزیع متغیرهای تصمیم‌گیری شامل آب موردنیاز در هر دوره ده روزه از فصل رشد و زمین تحت کشت در این قالب تهیه شد. سناریوهای مختلف آب در دسترس تحلیل شده و بهترین الگوی تقسیم آب در فصل رشد پیشنهاد و ارزیابی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه شهرستان باغملک بین طول‌های جغرافیایی ′۳۹ °۴۹ تا ′۱۱ °۵۰ و عرض‌های جغرافیایی ′۲۲ °۳۱ و ′۴۲ °۳۱ در شمال شرقی استان خوزستان قرار گرفته است. رودخانه گلال و رودخانه پادرازان، دو رودخانه مهم و فصلی دشت باغملک هستند. رودخانه گلال از بخش شمالی منطقه وارد شده و در جنوب همراه با رودخانه پادرازان به رودخانه ابوالعباس می‌پیوندد (سلطانی، ۱۳۸۸). حداکثر ارتفاع محدوده ۳۳۰۳/۳ متر و حداقل آن ۳۹۱/۷ متر است (بی‌نام، ۱۳۹۲). محصولات آبی عمده این منطقه عبارتند از: ذرت دانه‌ای، هندوانه، گوجه فرنگی، پیاز، سیزیجات و حبوبات که پارامترهای موردنیاز آنها از طریق بازدید میدانی، تهیه پرسشنامه، مصاحبه حضوری و آمار و اطلاعات موجود در سازمان‌های آب و برق و کشاورزی استان خوزستان تهیه

Archive of SID

www.SID.ir

و جمع‌آوری شد (جداول ۱ و ۲). مطالعه در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ برنامه‌ریزی و تحلیل شده است.

جدول۱. مشخصات الگوی کشت مورد مطالعه و بیشترین عملکرد مزرعه.

نام محصول	سطح زیر کشت		شماره دوره	شماره دوره	بیشترین عملکرد
	هکتار	درصد	کاشت	برداشت	کیلوگرم در هکتار
ذرت دانه‌ای	۱۵۰۰	۶۳	۱۷	۲۸	۸۵۰۰
هندوانه	۲۰۰	۸/۵	۱۶	۲۷	۳۵۰۰
گوجه فرنگی	۳۰	۱/۳	۱۷	۳۰	۲۲۰۰۰
پیاز	۶۰۰	۲۵	۱۸	۲۹	۲۸۰۰۰
سبزیجات	۳۰	۱/۳	۲۰	۲۸	۲۵۰۰۰
حبوبات	۲۰	۰/۸۵	۲۱	۳۱	۴۵۰۰

جدول۲. متوسط هزینه تولید و قیمت فروش محصولات گندم و جو در شهرستان باغملک.

نام محصول	هزینه تولید	درصد هزینه در هر یک از مراحل زراعی				قیمت فروش
	ریال در هکتار	زمین	آماده سازی	کاشت	داشت	برداشت	ریال در کیلوگرم
ذرت دانه‌ای	۲۵۰۵۶۰۰	۳۰	۱۲	۱۶	۳۳	۹	۸۷۰۰
هندوانه	۳۳۶۱۱۶۰	۲۸	۱۰	۱۷	۲۴	۲۱	۴۵۰۰
گوجه فرنگی	۶۸۹۰۳۸۰	۱۵	۶	۲۰	۲۲	۳۷	۷۵۰۰
پیاز	۵۱۰۳۹۸۵	۱۵	۹	۲۳	۲۴	۲۹	۵۶۰۰
سبزیجات	۴۹۲۱۷۰۰	۲۱	۸	۲۲	۲۵	۲۴	۷۵۰۰
حبوبات	۴۴۵۸۰۰۰	۳۵	۱۴	۱۴	۱۹	۱۸	۲۸۰۰۰

مدل ریاضی توابع هدف

در گام نخست مدلسازی، توابع هدف، متغیرهای تصمیم و محدودیت‌ها تعریف شد. کمینه‌سازی مقدار آب مصرفی و بیشینه‌سازی نسبت درآمد به هزینه به عنوان دو تابع هدف برای شبیه‌سازی بر اساس مقدار آب دریافتی در هر دوره ده روزه (متغیر تصمیم) در قالب محدودیت‌های اقتصادی، زراعی و منابع آب مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف اول شامل نسبت آب دریافتی به کل آب مورد نیاز می‌گردد که نیازمند تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل در هر دوره ۱۰ روزه دوره رشد برای هر گیاه است. تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع به وسیله روش فائو پنمن-مانتیث (Allen *et al.* 1998) و با استفاده از نرم‌افزار Cropwat با توجه به شرایط اقلیمی شهرستان باغملک تخمین زده شد. این روش در مطالعات اخیر بیشترین کاربرد را داشته است (Vila and Fereres, 2012; Parsinejad *et al.* 2013; Al-Khamisi *et al.* 2013).

هدف دوم یعنی نسبت درآمد به هزینه با محاسبه درآمد خالص حاصل از عملکرد محصول از رابطه خطی، متشکل از درآمد ناخالص و هزینه‌های ثابت و متغیر به دست آمد (توکلی و همکاران، ۱۳۹۰). برای بیشینه کردن بازگشت مالی حاصل از الگوی کشت می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$Max\ NB = \sum_{p=1}^{k} \left(B_p Y_{ap} - C_p - I_p C_w \right) \times A_p \qquad (1)$$

که در آن، NB، درآمد خالص از الگوی کشت (ریال)؛ B_p، قیمت فروش محصول (ریال در کیلوگرم)، C_p، هزینه ثابت برای هر گیاه (ریال در هکتار)، C_w، هزینه آب آبیاری (ریال در مترمکعب)؛ I_p حجم ناخالص آب آبیاری بکار رفته برای هر محصول (مترمکعب در هکتار) و A_p، مساحت زمین اختصاص داده به محصول pام است.

از آنجا که عملکرد هر گیاه (Y_{ap}) بر پایه مقدار آب

Archive of SID

www.SID.ir

دریافتی بخشی از روابط تابع هدف را تشکیل می دهد، تابع تولید هر محصول به صورت جداگانه شبیه‌سازی و در مدل قرار گرفت. برای توزیع بهینه آب در طول فصل و اعمال کم‌آبیاری مناسب، از تابع تولید- آب درون فصلی استفاده می‌شود. در این توابع با توجه به متفاوت بودن اثرات تنش آبی در مراحل مختلف رشد، غالباً تابع تولید طوری نوشته می‌شود که در آن‌ها حساسیت گیاه نسبت به کم‌آبی، در هر یک از مراحل مختلف رشد لحاظ شده باشد. این توابع مدل‌هایی هستند که غالباً بر اساس تبخیر و تعرق استوارند. Doorenbos و Kassam (۱۹۷۹) رابطه خطی میان عملکرد نسبی و نسبت تبخیر و تعرق به شکل رابطه زیر ارائه کردند:

$$1-\frac{Y_a}{Y_{\max}}=K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_{\max}}\right) \qquad (۲)$$

که در آن، K_y فاکتور حساسیت گیاه به آب؛ Y_a و Y_{max} به ترتیب مقدار محصول واقعی و ماکزیمم (بر حسب تن بر هکتار)؛ ET_a و ET_{max} به ترتیب تعرق واقعی و پتانسیل (بر حسب میلیمتر در روز) می‌باشند. رابطه (۲) با لحاظ کردن حساسیت متفاوت گیاه در مراحل مختلف رشد به شکل ذیل بازنویسی می‌شود:

$$\frac{Y_a}{Y_{\max}}=\prod_{i=1}^{n}\left[1-K_{yi}\left(1-\frac{ET_a}{ET_{\max}}\right)_i\right] \qquad (۳)$$

در این رابطه، i شماره مرحله رشد و n تعداد مراحل رشد.

الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب (NSGAII) برای برنامه‌ریزی سیستم تخصیص آب به الگوی کشت دشت باغملک استفاده شد. در یک مسأله چندهدفه مجموعه‌ای از نقاط که همگی در جهت یک نقطه بهینه از پیش تعریف‌شده قرار دارند، تعیین می‌شود. مفهوم عمده در تفسیر یک نقطه بهینه که به آن بهینگی پارتو (Pareto, 1906) گفته می‌شود، به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$x^* \in X$ یک نقطه پارتو است درصورتیکه نقطه دیگری مانند $x \in X$ وجود نداشته باشد به‌گونه‌ای‌که $F(x) \le F(x^*)$ و برای دست کم یک تابع $F_i(x) < F_i(x^*)$ (Marler and Arora, 2004).

شکل ریاضی الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه به‌صورت ذیل نوشته می‌شود:

$$Max\, Z(x)=\left(Z_1(x),...,Z_k(x)\right), \qquad (٤)$$
$$Z_1(x)=Z1(x_1,x_2,...,x_n),$$
$$Z_2(x)=Z2(x_1,x_2,...,x_n),$$
$$\vdots$$
$$Z_h(x)=Zh(x_1,x_2,...,x_n),$$
$$\vdots$$
$$Z_k(x)=Zk(x_1,x_2,...,x_n),$$
Subject to: $X \in F,$
$x \ge 0.$

که در آن $Z=(Z_1,Z_2,...,Z_k)$ بردار توابع هدف با اجزاء؛ $Z_i, i=1,2,...,k$، تابع هدف انفرادی (k تعداد توابع هدف)؛ $X_i, i=1,2,...,n$، سطح اختصاص یافته برای کشت گیاه i (n، تعداد گیاهان موجود در الگوی کشت) هستند.

تصمیم‌گیری در این شیوه با دو ویژگی مواجه بودن با هدف‌های متعدد و گاه متضاد و توصیف پارامترهای تصمیم با عدم قطعیت و ابهام رو به روست (Arikan and Gungor, 2007). با توجه به اینکه در عمل حداکثر کردن معادله (۱) امکان‌پذیر نیست، معمولاً از روش‌های مختلفی برای ایجاد جواب بهینه استفاده می‌شود که معمول‌ترین آن روش مقید است و توسط (Marglin, 1967) پیشنهاد شده است. روش مقید کاربردی‌ترین روش برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه است، زیرا نیاز به اطلاعات اولیه از ترجیحات تصمیم‌گیرنده ندارد. این روش علاوه بر آسان‌تر کردن مدلسازی، امکان تلفیق با سایر روش‌ها مانند روش وزنی را فراهم می‌کند. Raju و Kumar (۱۹۹۹) از این شیوه برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کردند.

ورود به سیستم بهینه‌سازی نیازمند تعیین مؤلفه‌های مسأله

Archive of SID

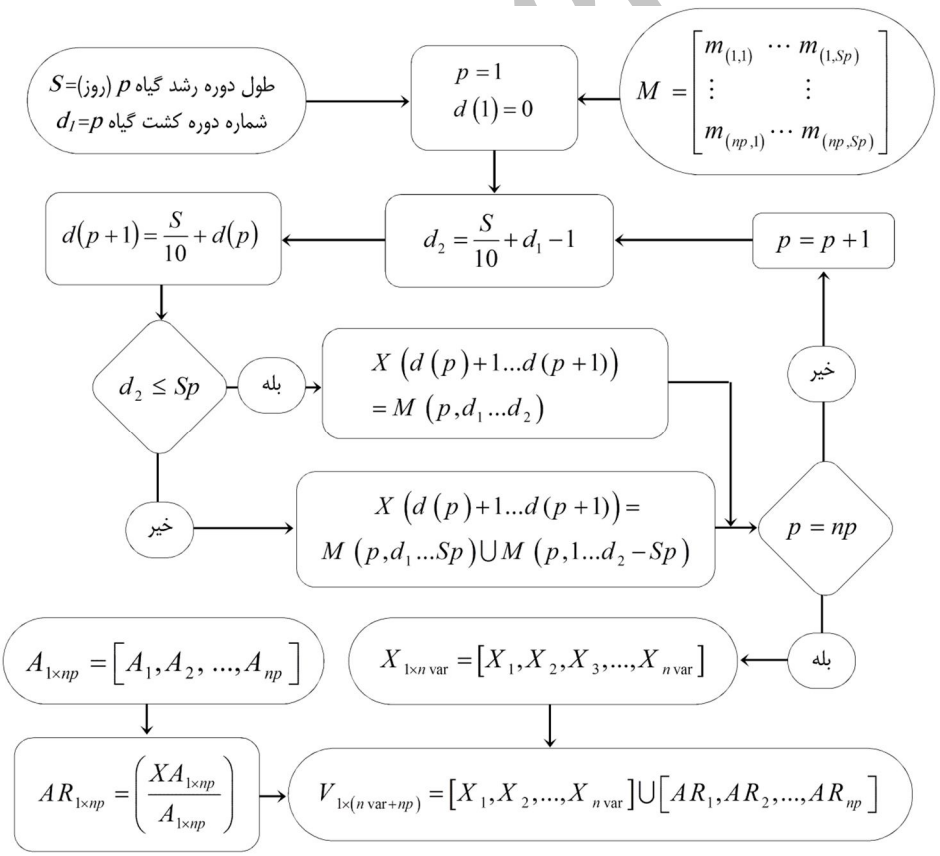
www.SID.ir

شامل تبیین متغیرهای تصمیم‌گیری، تعریف توابع هدف و اعمال محدودیت‌ها می‌باشد. تخصیص بهینه آب به الگوی کشت در شرایط مختلف زیر قابل بررسی است:

۱. سطح زیر کشت و تراکم گیاهی ثابت در نظر گرفته می‌شود و تخصیص آب بین گیاهان مختلف انجام می‌شود.

۲. سطح زیر کشت به عنوان متغیر تصمیم وارد شده و با توجه به مقدار تأمین آب (آبیاری کامل یا سطوح مختلف کم‌آبیاری) دسته‌بندی می‌شوند.

بنابراین در مطالعات گذشته یا مقدار توزیع آب به منظور افزایش کارایی مصرف آب و یا سطح زیر کشت جهت دستیابی به بالاترین صرفه اقتصادی مورد تصمیم‌گیری قرار می‌گرفته است. اما در تحقیق حاضر متغیرهای تصمیم‌گیری در مدل توسعه یافته شامل آب تخصیص یافته به گیاه در یک دوره ۱۰ روزه بر حسب میلیمتر و سطح زیر کشت هر محصول بر حسب هکتار می‌باشد. در این صورت بکارگیری همزمان تخصیص آب و زمین با مقیاس و واحد اندازه‌گیری متفاوت با روش بدون بعدسازی متغیرها و ایجاد نسبت‌های یکنواخت انجام گرفت. بر این اساس ماتریس متغیرهای تصمیم‌گیری با حذف درایه‌های صفر و حفظ توالی دوره‌ها و گیاهان در یک زیرمدل از ابعاد np×Sp به 1×nvar تبدیل می‌شود. این ماتریس پس از ترکیب با ماتریس متغیرهای سطح زیر کشت به ابعاد 1×(nvar+np) می‌رسد که این فرایند با دستور فلوچارت طراحی شده در شکل ۱ پیاده‌سازی گردید. اطلاعات ورودی به شکل ۱ طول دوره رشد و زمان کشت گیاه، همچنین ماتریس نیاز آبی گیاه (M) است.



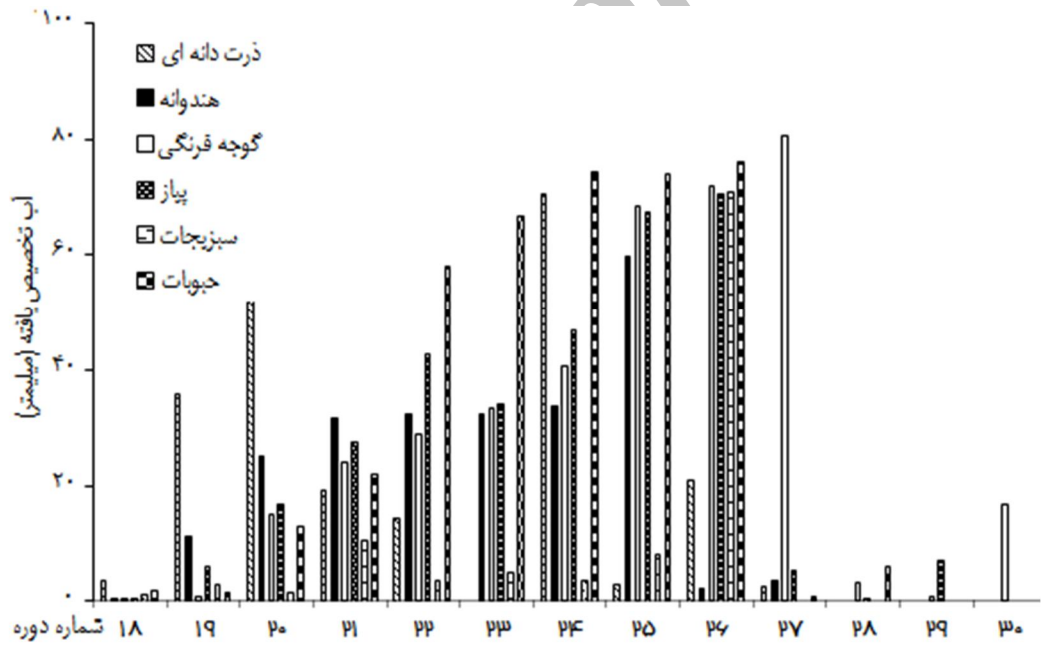
شکل ۱. الگوریتم تعیین یک رشته متغیرها از دوره‌های آبیاری گیاهان.

www.SID.ir

کنترل متغیرها با تعیین حدود بالا و پایین برای هر متغیر امکان‌پذیر است که در حالت کلی ارتفاع بارندگی مؤثر در هر دوره، حد پایین و تبخیر و تعرق پتانسیل حد بالای دامنه متغیرهای آبی است. بنابراین برخلاف محدوده پایین تصمیم‌گیری که برای تمام متغیرهای واقع در یک دوره ۱۰ روزه ثابت است، به ازای هر متغیر یک مقدار بیشینه تبخیر و تعرق وجود دارد. بر این اساس در تمام فرایندهایی که موجب تغییر در مقادیر اولیه داده‌ها می‌گردد مانند انتخاب اولیه، تولید جمعیت، جهش، تقاطع و جابجایی ذرات، باید محدوده مجاز متغیرها برای هر دوره و هر گیاه بررسی شود.

نتایج و بحث

سناریوی اول شامل تعریف الگویی از محصولات شامل سطح زیر کشت و تخصیص آب است که با محدودیت آب قابل دسترسی مواجه بوده و در این شرایط بهترین توزیع آب بین محصولات و دوره‌های رشد بررسی شده است. ارتفاع آب بهینه تخصیص یافته بر مبنای کسری از تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر گیاه در هر دوره ده روزه از رشد در شکل ۲ نشان داده شده است. گوجه فرنگی، حبوبات و پیاز به ترتیب در دریافت آب دارای اولویت هستند. دوره ۲۶ حساسترین دوره تأمین آب برای افزایش بهره‌وری به شمار رفته و مرحله انتهایی رشد گزینه اول کاهش سهم آب در شرایط محدودیت است.

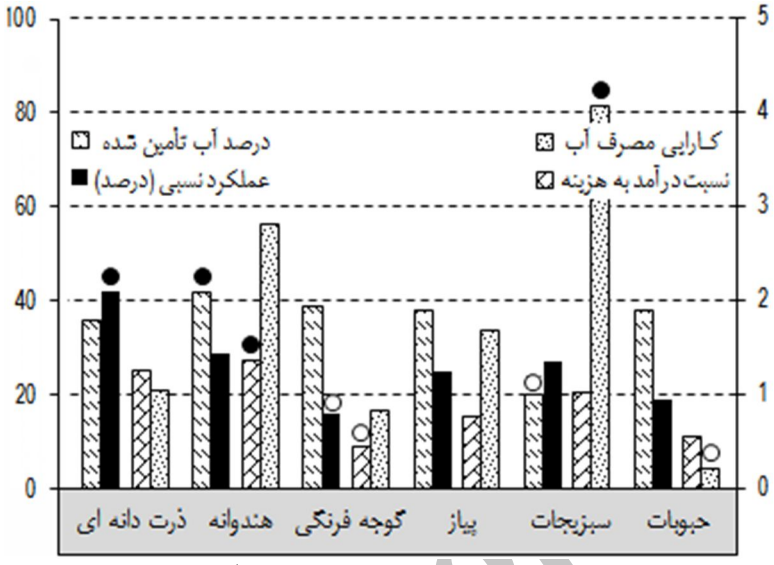


محصولات		حبوبات	سبزیجات	پیاز	گوجه فرنگی	هندوانه	ذرت دانه ای
حجم کل		۴۴۵۰	۱۶۶۳	۴۱۹۴	۵۰۴۱	۳۶۲۴	۳۴۳۶ مترمکعب در هکتار
مراحل رشد	۱	۶	۱۳	۱۰	۱۲	۹	۷ درصد تخصیص بهینه در مراحل مختلف رشد
	۲	۲۷	۳۵	۲۸	۲۹	۳۴	۴۳
	۳	۶۵	۱۰	۵۹	۵۵	۵۵	۴۳
	۴	۲	۴۲	۳	۴	۲	۷

شکل۲. تخصیص بهینه در دوره های مختلف در شرایط تعریف شده برای سناریوی ۱.

www.SID.ir

چهار شاخص ارزیابی درصد آب تأمین شده (مقدار آبی که قابل برنامه‌ریزی می‌باشد)، عملکرد نسبی (رابطه۳)، نسبت درآمد به هزینه و کارایی مصرف آب (عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی) در شکل ۳ برای گیاهان مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در شکل دایره‌های توپر بیان‌گر بیشترین مقدار هر شاخص و دایره‌های توخالی نشان‌دهنده کمترین مقادیر است.



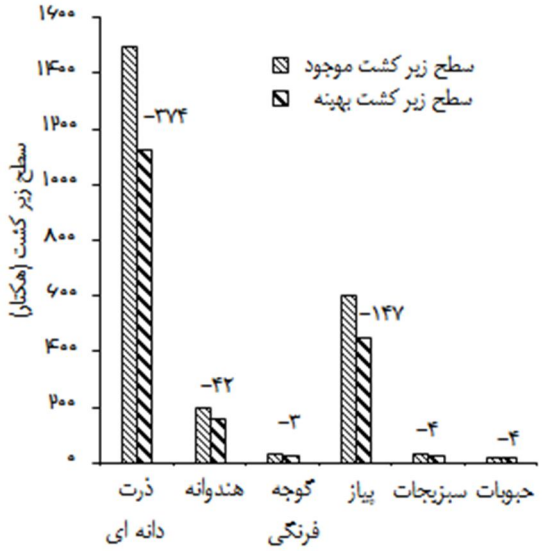
شکل۳. مقایسه پارامترهای ارزیابی سیستم تخصیص آب سناریوی ۱.

در این سناریو (کم آبی) درصد تأمین آب سبزیجات و ذرت به ترتیب کمترین مقدار محاسبه شد. سبزیجات با بیش از چهار کیلوگرم بر مترمکعب، هندوانه با ۲/۸ کیلوگرم در مترمکعب و پیاز با ۱/۷ کیلوگرم در مترمکعب به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم کارایی مصرف آب را دارند. گوجه فرنگی کمترین عملکرد نسبی و نسبت سود به هزینه را با توجه به آب مصرفی دارد.

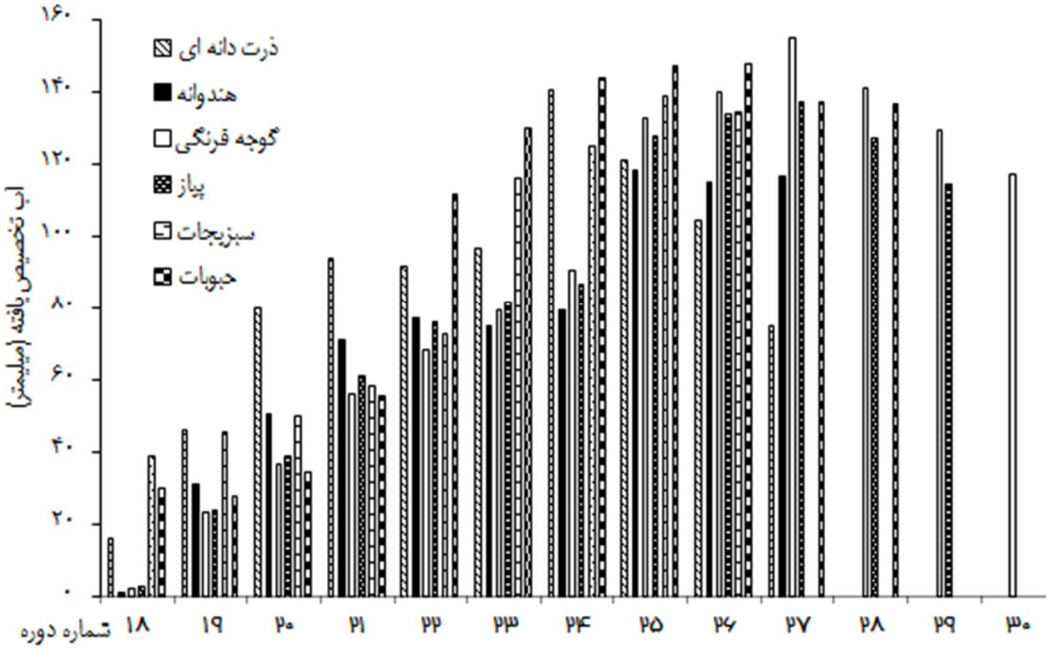
اختصاص زمین به هر گیاه برای محصولات بهاره در سناریوی کم آبی با کاهش روبرو بوده و حصول بیشترین درآمد خالص را از این طریق امکان‌پذیر نموده است (شکل٤). بنابراین کاهش زمین برای افزایش نسبت تأمین آب در شرایط خشکسالی، راهکار مدیریتی انتخاب شده به وسیله مدل است.

سناریوی دوم تخصیص بدون محدودیت آب و در شرایط رقابت محصولات برای بدست آوردن بیشترین سطح زیر کشت و در نتیجه بالاترین نسبت درآمد به هزینه الگوی کشت است. توزیع نیاز آبی محصولات به تفکیک دوره رشد نشان می‌دهد دوره‌های ۲۳ تا ۲۷ (اوایل اردیبهشت تا اواخر خرداد) نقطه ماکزیمم مصرف الگوی کشت به شمار می‌رود (شکل۵). بیشترین آب تخصیص یافته برای ذرت، هندوانه، گوجه فرنگی، پیاز، سبزیجات و حبوبات به ترتیب در دوره‌های ٢٤، ٢٥، ٢٧، ٢٧، ٢٥ و ٢٦ انجام شده است. در محصولات بهاره گوجه فرنگی طول دوره رشد و نیاز آبی بیشتری به‌ویژه در دوره‌های پایانی دارد. تجزیه حجم کل آب مصرفی در یک هکتار به دوره‌های مختلف رشد (شکل۵) نشان می‌دهد در سناریوهای خشکسالی کاهش تخصیص آب باید در دوره‌های پایانی صورت گیرد. به گونه‌ای که مقایسه شکل‌های ۲ و ۵ از افزایش تدریجی سهم مرحله انتهایی در شرایط کاهش محدودیت‌های منابع آب حکایت دارد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل٤. اختلاف سطح زیر کشت بهینه نسبت به شرایط موجود در سناریوی خشکسالی.



محصولات							
		حبوبات	سبزیجات	پیاز	گوجه فرنگی	هندوانه	ذرت دانه ای
حجم کل	مترمکعب در هکتار	۱۱۵۲۴	۸۳۸۹	۱۱۰۵۴	۱۲۹۲۷	۸۶۵۹	۹۶۰۸
مراحل رشد	۱	۷	۱۲	۶	۷	۴	۳
	۲	۲۰	۲۷	۱۹	۲۲	۲۴	۱۸
	۳	۴۹	۴۵	۴۱	۴۱	۴۵	۴۸
	۴	۲۴	۱۶	۳۴	۳۰	۲۷	۳۱
		درصد تخصیص بهینه در مراحل مختلف رشد					

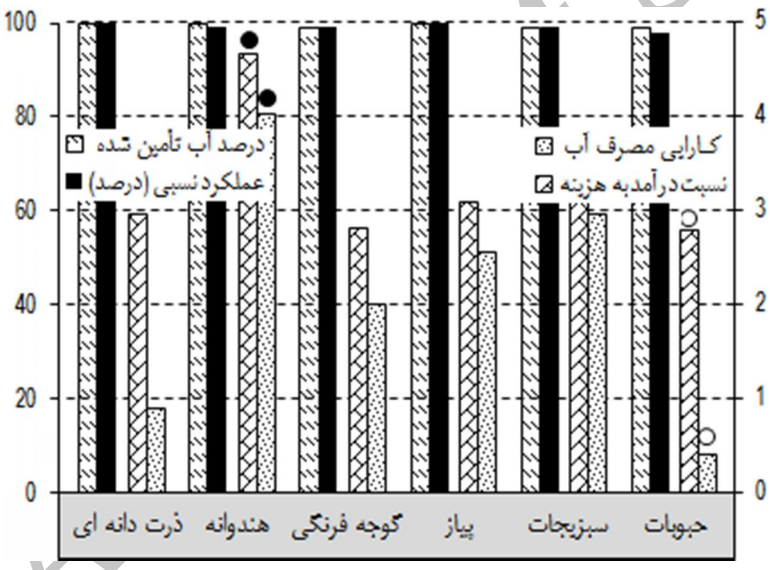
شکل۵. تخصیص بهینه در دوره های مختلف برای شرایط تعریف شده در سناریوی ۲.

www.SID.ir

مقایسه ضرایب ارزیابی مسأله در شکل ٦ نشان می‌دهد هندوانه با نسبت درآمد به هزینه ٤/٦٥ به‌عنوان سودآورترین محصول در شرایط آرمانی است. پس از هندوانه، سبزیجات با ۳/۷۷ و پیاز با ۳/۱ قرار دارند. ذرت، گوجه فرنگی، حبوبات به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

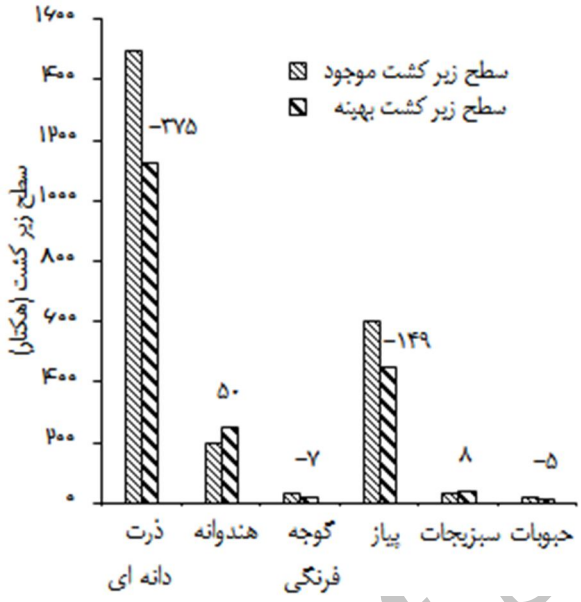
شکل ۷ تفاوت بین سطح زیرکشت موجود با مقدار بهینه آن را در سناریوی فراوانی آب، نشان می‌دهد. در بین محصولات هندوانه و سبزیجات از سقف تولید خود افزایش یافته‌اند. سطح زیر کشت موجود هندوانه و سبزیجات در شرایط موجود به ترتیب ۲۰۰ و ۳۰ هکتار است که با ۲۵ درصد تغییرات در نظر گرفته شده در بخش قیود مدل به ۲۵۰ و ۳۸ هکتار رسیده‌اند و برای جبران قید رابطه سطوح بقیه محصولات با اولویت اقتصادی تعریف شده تخصیص یافته‌اند.

کارایی مصرف آب برای هندوانه بیشترین و برای حبوبات کمترین مقدار بدست آمد (شکل ٦). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بخشی از افزایش درآمد هندوانه نسبت به سایر محصولات، به علت بالا بودن کارایی مصرف آب آن است. از این رو در شرایط کم‌آبی بهتر است بجای انتخاب گزینه کم‌آبیاری آنها از طریق کاهش سطح زیر کشت و هزینه‌های مربوط به آن بخش بیشتری از نیاز آبی این محصولات تأمین گردد.



شکل٦. پارامترهای ارزیابی سیستم تخصیص آب در شرایط بدون محدودیت آب.

www.SID.ir



شکل۷. اختلاف سطح زیر کشت بهینه نسبت به شرایط موجود در سناریوی ترسالی.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر یک مدل ریاضی جهت بررسی این موضوع توسعه یافته و در قالب یک الگوریتم نوین چندهدفه بهینه‌سازی شده است. نتایج کاربرد برنامه‌ریزی همزمان کم‌آبیاری و افزایش منافع اقتصادی برای تخصیص آب و زمین نشان داد تأمین بخش بیشتری از نیاز آبی و کاهش سطح زیر کشت راهکار مناسب‌تری برای مدیریت آب کشاورزی در شرایط خشکسالی به شمار می‌رود. سبزیجات و هندوانه بیشترین و حبوبات کمترین کارایی مصرف آب را دارند. ارزیابی اقتصادی الگوی کشت در شرایط بدون محدودیت آبی، بیشترین نسبت درآمد به هزینه را برای هندوانه، سبزیجات، پیاز، ذرت، گوجه فرنگی و حبوبات به‌ترتیب ٤/٦٥، ٣/٧٧، ٣/١، ٢/٩٦، ٢/٨٢ و ٢/٧٥ برآورد کرد. دوره‌های بحرانی مدیریت برداشت و تخصیص آب زیرزمینی در اردیبهشت و اوایل خرداد قرار گرفته و دلیل آن کاهش نزولات جوی (عدم استفاده از آب سبز) و مرحله حساس رشد اغلب محصولات بهاره قلمداد می‌شود. در نهایت به‌نظر می‌رسد بهره‌گیری از یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه با تعیین تمام محدودیت‌های حاکم بر مسأله، می‌تواند نتایجی را ارائه کند که در شرایط بحرانی بر اساس میزان انتظارات تصمیم‌گیرنده، تمامی گزینه‌های بهینه را معرفی نماید.

فهرست منابع

باریکانی، ا.، احمدیان، م.، خلیلیان، ص. و چیذری، ا.ح. ۱۳۹۱. استفاده تلفیقی پایدار از منابع آب سطحی و زیرزمینی در تعیین الگوی بهینه کشت دشت قزوین. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۰(۷۷): ۲۹-٥٦.

بی‌نام، ۱۳۹۲. مطالعات تهیه بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز رودخانه‌های هندیجان – جراحی (گزارش بیلان آب محدوده مطالعاتی باغ‌ملک). سازمان آب و برق خوزستان. ٦٦ ص.

پرهیزکاری، ا.، مظفری، م.، خاکی، م. و تقی‌زاده رنجبری، ح. ۱۳۹٤. تخصیص بهینه منابع آب و اراضی در منطقه رودبارالموت با استفاده از مدل FGFP. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ٤ (٤): ١١-٢٤.

Archive of SID
www.SID.ir

رستگاری پور، ف. و صبوحی صابونی، م. ۱۳۹۱. برنامه‌ریزی کسری خاکستری یک رهیافت تجربی جدید در کشاورزی پایدار، مطالعه موردی: شهرستان قوچان. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲(۱): ۱۲۷-۱۳۵.

رمضانی اعتدالی، ه.، لیاقت، ع.، پارسی نژاد، م.، توکلی، ع.ر. و بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۱. توسعه مدل تخصیص بهینه آب در اراضی آبی و دیم جهت افزایش بهره‌وری اقتصادی. رساله دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران. ۱۷۰ ص.

سلطانی، ف. ۱۳۸۸. تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت باغملک بر اثر خشکسالی و برآورد میزان تغییر حجم سفره آبدار. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان.

محمدی، ح.، بوستانی، ف. و کفیل‌زاده، ف. ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی فازی: مطالعه موردی. آب و فاضلاب. ٤: ٤٣-٥٥.

محمدیان، ف.، علیزاده، ا.، نی‌ریزی، س. و عربی، ا. ۱۳۸٦. طراحی الگوی پایدار با تاکید بر مبادله آب مجازی. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۱): ۱۰۹- ۱۲٦.

Al Khamisi, S.A., Prathapar, S.A. and Ahmed, M. 2013. Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations. Agricultural Water Management. 116:228–234.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, no 56. Rome, Italy.

Arikan, F. and Gungor, Z. 2007. A two-phase approach for multi objective programming problems with fuzzy coefficients. Information Sciences. 177: 5191–5202.

Azamathulla, H.M., Wu, F.C., Ghani, A.A., Narulkar, S.M., Zakaria, N.A. and Chang, C.K. 2008. Comparison between genetic algorithm and linear programming approach for real time operation. Journal of Hydro-environment Research. 2:172-181.

Bergez, J.E. 2013. Using a genetic algorithm to define worst-best and best-worst options of a DEXi-type model: Application to the MASC model of cropping-system sustainability. Computers and Electronics in Agriculture. 90: 93–98.

Calvo, I.P. and Estrada, J.C. 2009. Improved irrigation water demand forecasting using a soft-computing hybrid model. Biosystems Engineering. 102:202–218.

Dai, C., Yao, M., Xie, Z., Chen, C., Liu, J. 2009. Parameter optimization for growth model of greenhouse crop using genetic algorithms. Applied Soft Computing. 9:13–19.

Dandy, G.C., Engelhardt, 2001. The optimal scheduling of water main replacement using genetic algorithm. Journal of Water Resource Planning and Management. ASCE, 127(4): 214-223.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage paper No. 33, FAO, Rome, Italy, p. 193.

Elferchichi, A., Gharsallah, O., Nouiri, I., Lebdi, F. and Lamaddalena, N. 2009. The genetic algorithm approach for identifying the optimal operation of a multi-reservoirs on-demand irrigation system. Biosystems Engineering. 102: 334–344.

Espinoza, F.P., Minska, B.S. and Goldberg, D.E. 2005. Adaptive hybrid genetic algorithm for groundwater remediation design. Journal of Water Resource Planning and Management. ASCE, 131(1): 14-24.

Fotakis, D. and Sidiropoulos, E. 2012. A new multi-objective self-organizing optimization algorithm (MOSOA) for spatial optimization problems. Applied Mathematics and Computation. 218: 5268-5180.

Haouari, M. and Azaiez, M.N. 2001. Optimal cropping patterns under water deficits. European Journal of Operational Research. 130:133-146.

Haq, Z.U., Anwar, A, 2010. Irrigation scheduling with genetic algorithms. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE, 136(10):704-714.

Marler, R.T. and Arora, J.S. 2004. Survey of multi-objective optimization methods for engineering. Struct. Multidisc. Optim. 26:369-395.

Pareto, V. 1906: Manuale di Economica Politica, Societa Editrice Libraria. Milan; translated into English by A.S. Schwier as Manual of Political Economy, edited by A.S. Schwier and A.N. Page, 1971. New York: A.M. Kelley.

Parsinejad, M., Bemani Yazdi, A., Araghinejad, S., Nejadhashemi, A.P. and Sarai Tabrizi, M. 2013. Optimal water allocation in irrigation networks based on real time climatic data. Agricultural Water Management. 117: 1–8.

Archive of SID

www.SID.ir

Raju, K.S. and Kumar, D.N. 1999. Multi-criterion decision making in irrigation planning. Agricultural Systems. 62: 117–129.

Ritzel, B.J., Eheart, J.W. and Ranjithan, S. 1994. Using genetic algorithms to solve multiple objective groundwater pollution containment. Water Resource Research. 30(5): 1589-1604.

Shangguan, Z., Shao, M., Horton, H., Lei, T., Qin, L. and Ma, J. 2002. A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications. Agricultural Water Management. 52:139-154.

Singh, A. and Panda, S.N. 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. Agricultural Water Management. 115:267-275.

Tsakoros, G. and Spiliotis, M. 2006. Cropping pattern planning under water supply from multiple sources. Irrigation and Drainage Systems. 20: 57-68.

Vila, M.J. and Fereres, E. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. European Journal of Agronomy. 36:21-31.

Wang, Y., Chen, Y. and Peng, S. 2011. A GIS framework for changing cropping pattern under different climate conditions and irrigation availability scenarios. Water Resources Management. 25: 3073-3090.

Wardlaw, R. and Bhaktikul, K. 2004. Application of genetic algorithms for irrigation water scheduling. Irrigation and Drainage. 53(4): 397-414.

Zanetti, S.S., Sousa, E.F., Olivera, V.P.S., Almeida, F.T. and Bernardo, S. 2007. Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 133: 83–89.

Zhang, B., Yuan, S., Zhang, J.S. and Li, H. 2008. Study of Corn Optimization Irrigation Model by Genetic Algorithms. Computer and Computing Technologies in Agriculture. 258:121-132.

Archive of SID

www.SID.ir

نشریه حفاظت منابع آب و خاک
ISSN 2251-7480

Development of mathematical and optimization model for agricultural water allocation based on non-dominated sorting

Reza Lalehzari[1*], Hadi Moazed[2], Saeed Boroomand Nasab[3] and Ali Haghighi[4]

1*) Ph.D Student, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
Corresponding author email: rezalalehzari@gmail.com
2) Professor; Department of Irrigation and Drainage; Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3) Professor; Department of Irrigation and Drainage; Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
4) Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering; Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Received: 09-07-2015 Accepted: 05-12-2015

Abstract
Water resource management is a main driver to increase economic productivity for an agricultural area. Under water shortage condition, efficient use of available water is necessary for required sustainable crop production in arid and semi-arid area. Therefore, a combination procedure of mathematical modeling and optimization techniques has been developed for water allocation to maximize the economical productivity and total efficiency of an irrigation scheme. Optimization model is presented using multiobjective genetic algorithm and evaluate by two objective functions. Water use efficiency, cropping pattern, reduction of irrigation losses, effective use of rainfall and cultivated area are considered in the objective functions of the model. Irrigation water requirement for each growing stage and cultivated area have been considered as decision making variables. For field study, the main crops of Baghmalek plain and their related area, the cost of agricultural inputs and final price of crops were collected in farming year 2013-2014. The results show that the optimal cultivation area allocated among various crops is decreased for maize, melon, tomato and onion in drought condition. Tomato, bean and onion have obtained more volume of total available water, respectively. Tomato in relative yield and net benefit ratio, vegetable in the percentage of allocated water and bean in effective use of water have the minimum values of evaluation parameters.

Keywords: cropping pattern, drought, genetic algorithm optimal allocation

Archive of SID
www.SID.ir