

توسعه یک مدل شبیه سازی- بهینه سازی برای طراحی بهینه آبیاری کرتی

با استفاده از الگوریتم SA

سیداسدالله محسنی موحد^{۱*}، مهدی کوچک‌زاده^۲، پروانه صالحی مقدم^۳

چکیده

آبیاری کرتی یکی از روش‌های آبیاری سطحی است که برای آبیاری بسیاری از محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله مدل EDOBASIN به منظور ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری کرتی معرفی شده است. در این مدل راندمان‌های مورد نظر به صورت ترکیبی خطی در یک تابع هدف در نظر گرفته می‌شوند و براساس متغیرهای تصمیم‌گیری که شامل دبی ورودی، طول و عرض کرت و محدودیت‌هایی که برای آنها وجود دارد، طراحی بهینه انجام می‌شود. این مدل یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی است که در آن از معادله موازنه حجم برای شبیه‌سازی هیدرودینامیک و از روش SA برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود. ویژگی این مدل نسبت به مدل‌های قبلی طراحی از طریق بهینه‌سازی همزمان راندمانها با گزینه‌های مختلف وزن-دهی می‌باشد. مقایسه زمان پیشروی جبهه آب در مدل مورد نظر با مدل شناخته شده SIRMOD حاکی از دقت مدل در مرحله ارزیابی است. همچنین بهبود راندمان‌ها و تابع هدف در طراحی بهینه بیانگر قابلیت و کارایی مدل ارائه شده در مرحله بهینه‌سازی است بطوریکه استفاده از مدل برای داده‌های یک کرت آزمایشی، توانست راندمان کاربرد و نسبت نفوذ عمقی را ۲۰٪ ارتقاء داده و راندمانهای نیاز آبی و یکنواختی توزیع را در حد ۱۰۰٪ نگهدارد.

واژگان کلیدی: آبیاری کرتی، مدل موازنه حجم، بهینه‌سازی، روش SA.

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه اراک

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی از دانشگاه تربیت مدرس

*مسئول مکاتبه: movahed244@yahoo.com

در حال حاضر جهان مشکلات ناشی از بحران آب را تجربه می‌کند و بیم آن می‌رود که در آینده با توجه به جمعیت رو به رشد جهان آب شیرین کافی برای تولید مواد غذایی به میزان لازم نیز وجود نداشته باشد. لذا صرفه جویی در میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی که بیشترین تلفات آب را به ویژه در روش‌های آبیاری سطحی دارد، اجتناب ناپذیر است. اگرچه استفاده از روشهای آبیاری تحت فشار یکی از راهکارهای صرفه جویی در مصرف آب کشاورزی است ولی از آنجاییکه تحت هر شرایطی نمی‌توان از سیستم‌های آبیاری تحت فشار استفاده کرد لذا تلاش در افزایش راندمان سیستم‌های آبیاری سطحی با استفاده از روش‌های علمی و نوین امری ضروری است. آبیاری کرتی یکی از روش‌های متداول آبیاری سطحی است که در شرایط متعددی از نظر جنس و شیب زمین و نوع زراعت نه تنها توصیه می‌شود بلکه بعضاً اجتناب ناپذیر است. این روش علی‌رغم پیشرفت‌های زیادی که داشته، چنانچه به خوبی طراحی و اجرا نشود راندمان بسیار پایینی خواهد داشت. لذا تلاش برای استفاده حداکثر از آب و زمین در آبیاری کرتی مورد توجه قرار گرفته است. در آبیاری کرتی جریان متغیر مکانی و غیرماندگار می‌باشد. خصوصیات نفوذ خاک تابع زمان است. لذا دبی در یک نقطه خاص با زمان تغییر کرده و در طول مسیر نیز، عمق آب نسبت به زمان و مکان تغییر می‌کند. در زمینه شبیه‌سازی و به حداکثر رساندن راندمان‌ها در آبیاری سطحی مدل‌های گوناگونی نوشته شده است و پیشرفت‌های زیادی که در تکنولوژی مدل‌سازی صورت گرفته، اجازه می‌دهد که طراحی در سطح بالایی از لحاظ تئوری انجام شود (۱). در مدل‌سازی آبیاری سطحی از معادلات گوناگونی در جهت تجزیه و تحلیل و فرموله کردن جریان استفاده شده است، معادلاتی که به طور متداول در آبیاری سطحی و مدل‌سازی به کار رفته معادلات سنت و نانت می‌باشند. برای حل معادلات سنت و نانت می‌توان از روش‌های حل دینامیکی و سینماتیکی استفاده کرد. روش موازنه حجم از جمله روش‌های حل سینماتیکی معادلات سنت و نانت می‌باشد. برای حل معادله موازنه حجم نیز روش پیشروی توانی به عنوان یک راه حل عددی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در زمینه مدل‌سازی آبیاری سطحی کارهای بسیاری صورت گرفته است. مدل BASCAD یک مدل ریاضی برای طراحی آبیاری کرتی است. این مدل در انستیتو بین‌المللی احیاء اراضی هلند (ILRI) به زبان فرترن نوشته شده و در محیط Dos اجرایی-شود. در این مدل با استفاده از اینرسی صفر معادلات سنت و نانت حل شده و همچنین از بعضی روش‌های غیر خطی و روش نیوتن رافسون برای حل معادلات نیز استفاده شده است (۴). با استفاده از این مدل می‌توان پارامترهای مهم در طراحی و یا مدیریت آبیاری کرتی را تعیین نمود. استرلکف و همکاران (۱۱)، نرم‌افزار SRFR را برای شبیه‌سازی یک بعدی جریان در آبیاری سطحی ارائه دادند. در این نرم‌افزار از دو مدل اینرسی صفر و موج سینماتیک استفاده می‌شود. فرضیات در این مدل به این صورت است که

جریان نسبت به مکان از ابتدای مزرعه یا زمان از لحظه شروع آبیاری متغیر است. پلایان و همکاران (۹) مدلی دو بعدی را برای بررسی اثرات شکل کرت بر روی تغییرات نفوذ و راندمان‌های آبیاری نوشتند که در آن از روش تفاضل محدود برای حل معادلات استفاده شده است. سینگ و بالامودی (۱۰) یک مدل برای شبیه سازی آبیاری کرتی تهیه کردند که در آن از روش موازنه حجم استفاده شده است. بردفورد و کاتاپودز (۵) نیز مدلی دو بعدی در شرایط غیرماندگار برای شبیه سازی زمان پیشروی و نفوذ در داخل کرت ارائه دادند. مدل شبیه‌سازی SIRMOD III، از جدیدترین نسخه‌های نرم‌افزاری برای طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی (شیاری، نواری و کرتی) است که توسط واکر (۱۴) از بخش آبیاری دانشگاه یوتا ارائه گردیده و برای حل معادلات سنت‌ونانت در آن از مدل‌های موج سینماتیک، اینرسی صفر و هیدرودینامیک استفاده شده است. مدل‌های دیگری نیز برای شبیه سازی آبیاری شیاری، نواری و کرتی ارائه شده‌اند که برای اطلاعات بیشتر می‌توان به مروج‌الاحکامی و مصطفی‌زاده (۳) مراجعه کرد. هدف اصلی ارزیابی و طراحی سیستم‌های آبیاری کرتی با استفاده از مدل‌های گوناگون عبارتند از مدیریت سیستم و نیز یافتن گزینه‌هایی که ممکن است در بهبود راندمانها و ارتقاء عملکرد سیستم آبیاری موثر و امکان‌پذیر باشد. هارت و همکاران (۶)، نشان دادند که سه ترم راندمان و یک ترم یکنواختی نیاز است تا کارکرد هیدرولیکی یک سیستم آبیاری کاملاً تشریح شود. راندمانها بر یکدیگر تأثیر متقابل دارند بطوریکه بهبود یکی (مثلاً راندمان نیاز آبی) ممکن است باعث بد شدن راندمان دیگر (تلفات نفوذ عمقی) شود. بنا بر این بهترین روش طراحی روشی است که مجموعه راندمان‌های استاندارد عملکرد آبیاری کرتی را در یک تابع هدف تعریف کرده و با توجه به شرایط و محدودیت‌های واقعی (قیود بهینه‌سازی) مقدار این تابع را بهینه کند. علی‌رغم قابلیت مدل‌های فوق‌الذکر بویژه توانایی‌های بالای مدل SIRMOD، هیچیک برای دستیابی به بهترین گزینه‌های تصمیم در ازای بهینه سازی همزمان راندمانها در یک تابع هدف برنامه ریزی نشده‌اند. اخیراً لیما و همکاران (۸) از یک مدل شبیه سازی آبیاری سطحی فقط برای بهینه سازی آبیاری شیاری استفاده کرده اند لیکن در روش آنها بهینه سازی همزمان همه راندمانهای با قابلیت وزن دهی به شاخصها در یک تابع هدف لحاظ نشده است. لذا توسعه مدلی برای بهینه سازی آبیاری کرتی نیز که بتواند راندمانها را به صورت توأم در یک تابع هدف در نظر گرفته و طراحی کرت را بهینه کند، می‌تواند بسیار مفید باشد.

در این تحقیق مدل Evaluation, Design and Optimization of Basin Irrigation که به اختصار

EDOBASIN نامگذاری می‌شود به منظور ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی همزمان راندمانهای آبیاری کرتی به زبان ویژوال

بسیک ارائه شده است. برای بهینه‌سازی از الگوریتم SA و برای شبیه‌سازی هیدرودینامیکی جریان، از مدل موازنه حجم استفاده

شده است. روش بهینه‌سازی SA (آنیلینگ شبیه‌سازی) یکی از روش‌های فرا ابتکاری برای توابع پیچیده است که امروزه به علت

الگوریتم ساده و کارائی آن در بسیاری از علوم از جمله علوم آب مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل چهار راندمان معرف عملکرد آبیاری کرتی (راندمان کاربرد، راندمان نیازآبی، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع) در نظر گرفته شده است که در ترکیبشان در یک تابع هدف بهینه می‌شوند. به علت پیچیدگی تابع هدف در شبیه سازی هیدرودینامیک استفاده از روش بهینه‌سازی SA مناسب تشخیص داده شد. ویژگی مهم این مدل قابلیت وزن دهی به شاخص‌ها بر مبنای پتانسیل بهبود است که مستقل از هر گونه قضاوت شخصی است.

مواد و روش‌ها

- الگوریتم SA

این روش بر مبنای مکانیک آماری و قیاس با فرایند فیزیکی آنیلینگ در صنعت شبیه‌سازی شده است. در فرایند آنیلینگ فلزات ابتدا تا یک دمای بالایی گرم میشوند و سپس بتدریج و مرحله به مرحله سرد میشوند تا سرانجام به کریستال کامل یعنی حالت مطلوب و بهینه برسند. روش SA نیز که با این فرایند شبیه سازی شده دارای یک سری پارامترهای کنترلی است که عبارتند از دمای اولیه، دمای نهایی، فاکتور کاهش دما و غیره. بطوریکه تابع هدف مورد نظر در دمای نهایی که اجرای الگوریتم به پایان می‌رسد دارای مقدار بهینه و معادل با کریستال کامل شبیه سازی می‌شود. با توسعه‌ای که در الگوریتم‌های SA به وجود آمده این امکان ایجاد گردیده که برای جستجوی کمینه سراسری، الگوریتم قادر باشد از کمینه محلی خارج شود (۱۲). در این روش، کیفیت جواب‌ها نسبت به پارامترهای حساس است. این کار با آزمون و ارزیابی مقادیر مختلف پارامترها (تحلیل حساسیت) در یک زمان معقول میسر خواهد بود. در حال حاضر روش SA یکی از روش‌های فرا ابتکاری پیشرفته و نسبتاً دارای الگوریتم ساده‌ای است که برای مسائل مختلف بهینه‌سازی ترکیبی و بهینه‌سازی توابع پیچیده در عرصه‌های مختلف علوم از جمله علوم آب کاربردی رو به توسعه دارد (۲).

مدل EDOBASIN

این مدل به منظور طراحی، ارزیابی و مدیریت صحیح سیستم آبیاری کرتی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک تهیه شده است. در این مدل برای شبیه‌سازی هیدرودینامیکی جریان سطحی، از معادله موازنه حجم و برای بهینه‌سازی شاخص‌های عملکرد، از روش بهینه‌سازی SA استفاده گردیده است. علت استفاده از معادله موازنه حجم سهولت ترکیب آن با الگوریتم SA در فرایند شبیه سازی - بهینه سازی است. این مدل از سه قسمت اصلی تحت عنوان بخش ارزیابی، بخش طراحی و بخش بهینه‌سازی تشکیل شده است. شکل ۱ پنجره اصلی مدل را نشان می‌دهد. چنانچه بر روی آیکون سمت راست پایین پنجره اصلی مدل با نام help

کلیک کنیم پنجره‌ای باز می‌شود که در آن کلیه پارامترها و عواملی که در مدل به کار رفته است با ذکر واحد آن‌ها، تعریف شده‌اند. در بخش ارزیابی مدل از داده‌های ورودی شامل مشخصات فیزیکی کرت، مشخصات جریان در کرت و مشخصات مربوط به داده‌های پسروری و پیشروی در کرت استفاده می‌شود. در این بخش محاسبات مربوط به تعیین ضرائب معادله نفوذ لویس-کوستیاکف و همچنین راندمان‌ها در سیستم آبیاری کرتی انجام می‌شود و داده‌های خروجی این قسمت شامل راندمان نیاز آبی، راندمان کاربرد، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع می‌باشد. لازم به ذکر است که در بخش ارزیابی، مدل قادر است بسته به شرایط موجود، حالت آبیاری کامل و یا ناقص را انتخاب و محاسبات مربوطه را انجام دهد.



شکل ۱- پنجره اصلی مدل

روش طراحی در این مدل بر این فرض استوار است که هدف از آبیاری این است که عمق آبی معادل کمبود رطوبت خاک در سرتاسر طول کرت به زمین داده شود. داده‌های ورودی در بخش طراحی عبارتند از مشخصات فیزیکی کرت شامل شکل و اندازه کرت، مشخصات جریان در کرت و مشخصات ضرائب معادله نفوذ لویس-کوستیاکف. همچنین محاسباتی که در این بخش انجام می‌شود شامل محاسبه زمان پیشروی، محاسبه زمان قطع جریان و محاسبه راندمان نیاز آبی، راندمان کاربرد، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع خواهد بود. داده‌های خروجی در بخش طراحی مدل مورد نظر، شامل نتایج محاسبه راندمان‌های آب مورد نیاز، کاربرد، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع می‌باشد. در این مدل متغیرهای تصمیم‌گیری (طول کرت، عرض کرت و دبی ورودی)، در شرایط و محدودیت‌های تعریف شده در یک فرایند بهینه‌سازی به نحوی انتخاب می‌شوند که در ازای مقادیر

آنها، راندهای مورد نظر بطور توأم در ترکیشان در یک تابع هدف کمینه یا بیشینه شوند. به عبارت دیگر از آنجاییکه مقدار ایده آل برای بعضی راندها ۱ و برای بعضی صفر است، تابع هدف را هم می‌توان به شکل کمینه سازی و هم به شکل بیشینه سازی نوشت. تابع هدفی که برای این مدل در نظر گرفته شده است به صورت زیر می‌باشد:

$$FF_{\min} = C_1 \left(1 - \frac{E_r}{100}\right) + C_2 \left(1 - \frac{E_a}{100}\right) + C_3 \left(\frac{DPR}{100}\right) + C_4 \left(1 - \frac{DU}{100}\right) \quad (1)$$

که در آبیاری کامل راندها به شکل زیر است (۱۳)

$$E_r = \frac{Z_{req} L}{Z_{req} L} \times 100 = 100 \% \quad (2)$$

$$E_a = \frac{Z_{req} \cdot L}{Q_0 \cdot t_{co}} \times 100 \quad (3)$$

در روابط فوق E_r راندها آب مورد نیاز، E_a راندها کاربرد آب، Z_{req} عمق آب مورد نیاز در کرت بر حسب متر، L طول کرت بر حسب متر، Q_0 دبی جریان ورودی بر حسب مترمکعب در واحد عرض کرت در دقیقه و t_{cot} زمان قطع آبیاری بر حسب دقیقه می‌باشند. DPR نسبت نفوذ عمقی و DU یکنواختی توزیع نیز برترتیب از روابط زیر حساب می‌شوند.

$$DPR = \frac{V_z - Z_{req} L}{Q_0 t_{co}} \times 100 \quad (4)$$

$$DU = \frac{\overline{V_{lq}}}{\overline{V_z}} \times 100 \quad (5)$$

$$\overline{V_z} = \frac{\sum_{i=1}^N Z_{(i)}}{N} \quad (6)$$

$$\overline{V_{lq}} = \frac{\sum_{i=N-Jd}^N Z_{(i)}}{Jd} \quad (7)$$

در روابط فوق \bar{V}_q متوسط حجم آب نفوذ یافته در یک چهارم انتهایی کرت یا متوسط حجم آب نفوذ یافته در ۲۵ درصد از طول کرت که در آن آبیاری کمتری صورت گرفته است برحسب مترمکعب در واحد عرض، \bar{V}_z متوسط حجم کل نفوذ یافته در کرت برحسب مترمکعب در واحد عرض کرت، N تعداد تقسیمات کرت، J_d تقسیمات ۱/۴ انتهایی کرت و V_z حجم کل آب نفوذ کرده در کرت برحسب مترمکعب در واحد عرض، L طول کرت برحسب متر، Z_i نفوذ تجمعی در نقطه i ام برحسب مترمکعب در واحد عرض کرت می‌باشند. و چنانچه آبیاری ناقص انجام شده باشد راندمان‌ها به صورت زیر محاسبه خواهند شد:

$$E_a = \frac{Z_{req} x_d + V_{zi}}{Q_0 t_{co}} \times 100 \quad (8)$$

$$E_r = \frac{Z_{req} x_d + V_{zi}}{Z_{req} L} \times 100 \quad (9)$$

$$DPR = \frac{V_{za} - Z_{req} x_d}{Q_0 t_{co}} \times 100 \quad (10)$$

که در این روابط V_{za} حجم کل آب نفوذ کرده در کرت برحسب مترمکعب در واحد عرض، Z_{req} عمق آب مورد نیاز در کرت برحسب متر، x_d طول کرت که آب آبیاری تا عمق مورد نیاز نفوذ کرده است بر حسب متر، Q_0 دبی جریان ورودی برحسب مترمکعب در واحد عرض کرت در دقیقه و t_{co} زمان قطع آبیاری برحسب دقیقه می‌باشند.

روش پیشنهادی برای وزن دهی به راندمانها در فرایند بهینه سازی

مقادیر ضرایب وزنی جملات در تابع هدف C_i براساس اهمیت نسبی شاخص‌ها تعیین می‌گردد. نه تنها در مساله مورد نظر ما در آبیاری کرتی، بلکه به طور کلی در تمام مسائل بهینه‌سازی اگر کلیه شاخص‌ها یا راندمان‌ها، نسبت به یکدیگر اهمیت یکسانی داشته باشند، ضرایب وزنی در ساده‌ترین شکل خود عدد یک را اتخاذ می‌کند. اما اگر بین شاخص‌ها یا راندمان‌ها نوعی رقابت موجود باشد بطوری که کاهش یکی به افزایش دیگری منجر شود در اینصورت لازم است که برای آنها ضرایب وزنی قائل شد. اما اینکه چگونه این ضرایب انتخاب شوند اگر به روش مناسبی دسترسی نباشد معمولاً از قضاوت کارشناسی استفاده می‌شود که قطعاً توسط افراد مختلف به نتایج متفاوتی می‌انجامد. بنابراین ارائه یک روش مناسب و استاندارد که بتواند در اینگونه مسائل توسط هر کاربر به نتایج یکسانی نائل آید از ضروریات است که می‌تواند بسیاری از مشکلات را در زمینه بهینه‌سازی چند هدفی و تصمیم‌گیری چند معیاره رفع نماید. در اینجا از یک الگوی وزن دهی پیشنهادی و مستقل از هر قضاوت کارشناسی استفاده شده است که اساس آن مبتنی بر تعیین پتانسیل بهبود آرمانی و تحلیل حساسیت ضرایب وزنی پارامتری است که متعاقباً تشریح می‌گردد.

از آن جایی که برای شاخص‌های راندمان کاربرد، راندمان نیاز آبی و یکنواختی توزیع مقدار ایده‌آل یک و برای شاخص نسبت نفوذ عمقی مقدار ایده‌آل برابر صفر است. لذا می‌توان با ارزیابی و محاسبه این شاخص‌ها در وضعیت موجود و مقایسه با مقدار ایده‌آل‌شان کیفیت خوب و بد آن‌ها را مشخص نمود. بنابراین بهتر است برای شاخص‌هایی که کیفیت پایین‌تری دارند و از معیار ایده‌آل‌شان دورترند، وزن بیشتری قائل شد تا در فرایند بهینه‌سازی بتوان حتی‌المقدور آن‌ها را به مقدار ایده‌آل‌شان نزدیک کرد. لذا پتانسیل بهبود آرمانی را می‌توان به این صورت تعریف کرد که تفاوت بین عملکرد موجود و سطح عملکرد ایده‌آل (معیار استاندارد) هر شاخص می‌باشد به طوری که می‌توان نوشت:

$$| \text{عملکرد موجود شاخص} - \text{عملکرد ایده‌آل شاخص} | = \text{پتانسیل بهبود آرمانی} = \gamma_i$$

$$\beta_i = \theta \cdot \gamma_i = \text{اهمیت نسبی شاخص}$$

$$C_i = 1 + \beta_i = 1 + \gamma_i \theta \quad (11)$$

که در آن θ برای تمامی جملات یکسان قرار داده می‌شود. بنابراین مقادیر γ_i قبل از بهینه‌سازی می‌تواند به اندازه θ برابر بزرگ شود. نهایتاً ضرایب وزنی C_i در این مدل به صورت:

$$C_i = \lambda_i (1 + \gamma_i \theta) \quad (12)$$

به کار گرفته شده است و می‌توان با تحلیل حساسیت، تغییرات ضرایب وزنی و تاثیر آن را بر روی راندمان‌ها بررسی نمود. متغیرهای تصمیم‌گیری در بخش بهینه‌سازی عبارت است از دبی ورودی کرت، طول کرت و عرض کرت. با توجه به این که این پارامترها از طریق روابطی با هریک از راندمان‌ها در ارتباط می‌باشند لذا تابع هدف ارائه شده، تابع غیرمستقیم از متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشد. قیدها و محدودیت‌ها در این مدل عبارت است از محدوده مجاز دبی ورودی، محدوده مجاز طول کرت و محدوده مجاز عرض کرت که برحسب شرایط میدانی موجود توسط کاربر تعریف می‌شود. داده‌های ورودی در بخش بهینه‌سازی شامل ضرایب وزنی برای راندمان‌ها و پارامترهای الگوریتم SA می‌باشد. مدل پس از وارد شدن به الگوریتم بهینه‌سازی و طی کردن

مراحل بهینه‌سازی در نهایت طول و عرض کرت و دبی ورودی بهینه را تخمین می‌زند. به منظور آزمون قابلیت مدل، از یک سری

داده‌های واقعی یک مزرعه آزمایشی در ایالت کلرادو آمریکا دارای جنس خاک لوم سیلتی رسی که توسط کاندو و

اسکوگربو (۷) انجام شده است و به علت دقت و اعتبار لازم توسط واکر (۱۹۸۹) نیز بکار رفته، استفاده شده است (۱۳). لازم به

ذکر است به غیر از اطلاعات فوق الذکر اطلاعات مزرعه‌ای بیشتری که برای آبیاری کرتی با شیب صفر انجام شده باشد و قابل

اطمینان و استناد باشد در دسترس نبوده است. لازم به ذکر است که ابعاد کلی کرت با احتساب پشته‌های اطراف بطول ۳۶/۶ متر و عرض ۳۶/۶ متر گزارش شده، بنابر این عرض خالص تحت آبیاری ۳۶ متر در نظر گرفته می‌شود. این داده‌ها برای ارزیابی اولیه در جداول ۱ و ۲ ارائه شده که در آن‌ها ابعاد کرت، عمق آب مورد نیاز، دبی مورد استفاده و زمان‌های پیشروی در طول کرت نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات کرت آزمایشی از منبع (۱۱)

جنس خاک	دبی ورودی به کرت ($m^3/min/m$)	عمق آب مورد نیاز (mm)	شیب کرت (%)	عرض کرت (m)	طول کرت (m)
لوم سیلتی رسی	۰/۱۳۸۴	۱۰۰	۰	۳۶	۳۶

جدول ۲- زمان‌های پیشروی در کرت آزمایشی از منبع (۱۱)

فاصله از ابتدای کرت (m)	۰	۶	۱۲	۱۸	۲۴	۳۰	۳۶
زمان پیشروی (دقیقه)	۰	۱۸	۴۰	۶۴	۹۰	۱۱۷	۱۴۶

به منظور نمایش قابلیت بهینه‌سازی در مدل مورد نظر و مقایسه راندمان‌ها قبل و بعد از بهینه‌سازی و همچنین بررسی تاثیر

ضرایب وزنی شاخص‌ها بر عملکرد بهینه و ارزیابی الگوی پیشنهادی برای وزندهی به شاخص‌ها، چهار گزینه به شرح ذیل در نظر گرفته شده و بهینه‌سازی با مدل مورد نظر انجام گرفته است:

گزینه اول: برای همه شاخص‌ها (راندمان‌ها) ضرایب یکسان و معادل ۱ در نظر گرفته می‌شود در اینصورت $C_i = 1$ خواهد بود بطوریکه در مدل بایستی $\lambda_i = 1$ و $\theta = 0$ قرار داده شود.

گزینه دوم: برای همه شاخص‌ها (راندمان‌ها) ضرایب معادل پتانسیل بهبود آرمانی آنها در نظر گرفته می‌شود بطوریکه $C_i = \gamma_i$ خواهد بود. برای این منظور در مدل بایستی $\lambda_i = \gamma_i$ و $\theta = 0$ قرار داده شود.

گزینه سوم: وزن همه شاخص‌ها (راندمان‌ها) مطابق با الگوی پیشنهادی محاسبه می‌شود بطوریکه $C_i = \lambda_i (1 + \gamma_i \theta)$ و $\lambda_i = 1$

عملکرد موجود شاخص - عملکرد ایده آل شاخص $\gamma_i = |$ و $\theta = 1, 2, 3, \dots$

گزینه چهارم: حذف راندمان‌های ۱۰۰٪ (در این حالت Er و Du) از فرایند بهینه‌سازی و بهینه‌سازی بر مبنای دو راندمان دیگر.

نتایج و بحث

با استفاده از پارامترهای اندازه گیری شده در مزرعه و با استفاده از بخش ارزیابی مدل، معادله نفوذ لوئیس-کوستیاکف بصورت زیر

بدست آمد:

$$Z = 0.260t^{0.117} + 0.0003t$$

سپس با داده‌های موجود و معادله نفوذ، راندمان‌ها در ارزیابی اولیه توسط مدل محاسبه و در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- راندمان‌ها در عملکرد آبیاری کرتی در ارزیابی اولیه (عملکرد موجود)

راندمان نیاز آبی	راندمان کاربرد	نسبت نفوذ عمقی	یکنواختی توزیع
Er (%)	Ea (%)	DPR (%)	Du (%)
۱۰۰	۱۸/۱۳	۸۱/۸۷	۱۰۰

به منظور اعتبار سنجی مدل در مراحل قبل از بهینه‌سازی، راندمان‌هایی که در مرحله ارزیابی توسط مدل EDOBASIN محاسبه گردید با مدل شناخته شده SIRMOD برای حالت استفاده از معادله موازنه حجم مقایسه شده است (جدول ۴). همان‌طور که از مقادیر جدول (۴) مشخص است اختلافی که بین اعداد بدست آمده وجود دارد ناچیز است که این تفاوت با توجه به اختلافی که در زمان پیشروی وجود دارد (در حدود ۱ دقیقه) قابل توجیه می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه نتایج بدست آمده از بخش ارزیابی مدل EDOBASIN با SIRMOD در کورت آزمایشی

شاخص‌های عملکرد	راندمان نیاز آبی	راندمان کاربرد	نسبت نفوذ عمقی	یکنواختی توزیع
عملکرد	Er (%)	Ea (%)	DPR (%)	Du (%)
EDOBASIN	۱۰۰	۱۸/۱۳	۸۱/۷۸	۱۰۰
SIRMOD	۱۰۰	۲۰/۷۴	۷۱/۰۹	۹۶/۲۸

زمان پیشروی در ارزیابی اولیه با استفاده از مدل EDOBASIN با اعداد حاصل شده از مدل SIRMOD مقایسه شد.

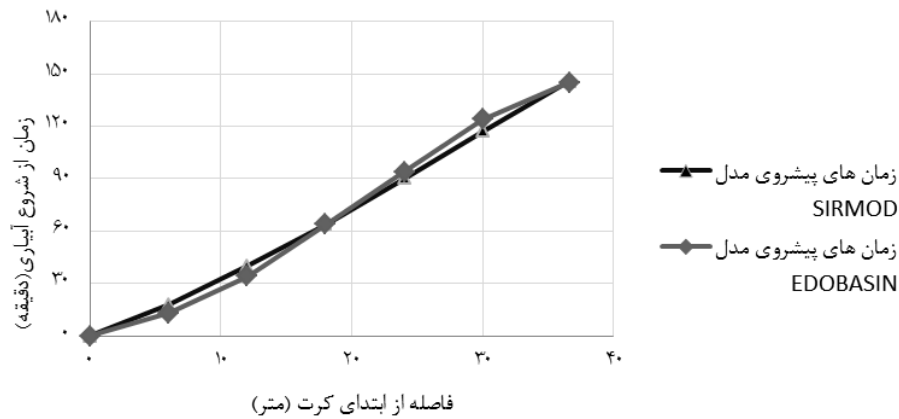
اختلاف حاصل برای شرایط کورت آزمایشی در حدود یک دقیقه بدست آمد که با توجه به زمان پیشروی ۱۵۰ دقیقه این اختلاف

معنی دار نمی باشد. البته برای شرایط دیگری ممکن است این اختلاف بیشتر باشد اما از آنجاییکه مقدار کل زمان پیشروی نسبت به

این اختلاف قابل توجه است لذا درصد خطا بسیار کم و یا در حد قابل قبول خواهد بود. در شکل (۲) منحنی پیشروی برای مدل

EDOBASIN و مدل SIRMOD نشان داده شده است. همانطور که مشخص است دو منحنی از یک روند تبعیت کرده و با

اختلاف خیلی کمی از یکدیگر در کنار هم قرار گرفته اند.



SIRMOD EDOBASIN

جدول ۵- محاسبه راندمان ها در گزینه های مختلف

شاخص ها	گزینه ها				
	FFmin	Er	Ea	DPR	Du
مقدار ایده آل	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
ارزیابی اولیه	۲/۶۵	۱۰۰	۱۸/۱۳	۸۱/۷۸	۱۰۰
گزینه اول	۲/۲۷	۱۰۰	۳۲/۱۴	۶۷/۸۵	۱۰۰
گزینه دوم	۲/۲۵	۱۰۰	۳۳/۱۳	۶۳/۹۷	۱۰۰
گزینه سوم	۱/۸۵	۱۰۰	۳۸/۱۳	۶۱/۸۶	۱۰۰
گزینه چهارم	۲/۳۷	-	۳۶/۰۰	۷۳/۲۰	-

در جدول (۵) مقادیر راندمان‌ها با توجه به گزینه‌های فوق بدست آمده و نمایش داده شده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود در گزینه سوم که مقدار ضریب وزنی هر شاخص با پتانسیل بهبود آرمانی $C_i = \lambda_i (1 + \gamma_i \theta)$ لحاظ شده است، بهترین نتیجه حاصل شده است. پس از حصول اطمینان از صحت محاسبات و اعداد حاصل شده، مدل وارد مرحله بهینه‌سازی می‌شود. در این مرحله با لحاظ نمودن محدودیت‌های تعریف شده برای دامنه متغیرهای تصمیم (قیود بهینه‌سازی) و با استفاده از معادله موازنه حجم و الگوریتم SA، فرایند شبیه‌سازی - بهینه‌سازی انجام و راندمانهای بهینه شده و متغیرهای تصمیم اصلاح شده (طول و عرض کرت و دبی) در ازای این راندمان‌ها توسط مدل محاسبه می‌شوند که برای نمونه پنجره جواب خروجی مدل بعد از بهینه‌سازی در (شکل ۳) نشان داده شده است.

Final result of optimization phase			
L (m):	47.4965	W (m):	33.928
Q0 (m ³ /min/m):	0.1637	FF(s)=FFmin(s)=	1.8561
Er(%):	100	Ea(%):	38.1315
DPR(%):	61.8685	Du(%):	100
Exit			

شکل ۳- خروجی مدل شامل تابع هدف، راندمان‌ها و یکنواختی توزیع و متغیرهای تصمیم‌گیری

همان‌طور که ملاحظه می‌شود با استفاده از فرایند بهینه‌سازی، راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع افزایش و میزان نسبت نفوذ عمقی کاهش یافته است برای راندمان نیازآبی نیز چون آبیاری به صورت کامل انجام شده است همان ۱۰۰٪ حاصل گردیده است. به عبارت دیگر با انجام عمل بهینه‌سازی میزان راندمان‌ها به میزان ۲۲ درصد در کرت آزمایشی بهبود داشته‌است. با توجه به نتایج حاصل شده از مدل می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌سازی می‌تواند در بهبود راندمان‌ها در سیستم آبیاری کرتی به نحو قابل توجهی موثر باشد و در این راستا مدل مورد نظر قادر است بهینه‌سازی را با چند گزینه تصمیم‌گیری و در نظر گرفتن مجموعه راندمان‌ها بطور همزمان انجام دهد.

نتیجه گیری

در این تحقیق مدل جدیدی برای ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی آبیاری کرتی با استفاده از روش‌های نوین بهینه‌سازی ارائه شده است. به‌منظور ارزیابی قابلیت مدل با کاربرد آن برای یک نمونه شرایط و داده‌های مزرعه‌ای، مشخص شد که می‌توان با اصلاح طول کرت، عرض کرت و مقدار دبی ورودی به کرت، راندمان نیاز آبی، راندمان کاربرد، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع را بهبود قابل ملاحظه بخشید. اعتبارسنجی این نتایج با مدل شناخته شده SIRMOD فقط در بخش ارزیابی امکان‌پذیر بوده که حداکثر اختلاف حدود دو درصد مشاهده گردید که می‌توان آن را ناشی از خطای استاندارد حاصل از برنامه‌نویسی و استفاده از روش‌های سعی و خطا و روش نیوتن رافسون در حل بعضی از معادلات دانست. در بخش بهینه‌سازی مدل EDOBASIN این امکان فراهم شده است که می‌توان سه متغیر تصمیم‌گیری دبی، طول کرت، عرض کرت را بسته به نظر زارع و یا کاربر، جداگانه یا دوه‌دو و یا هر سه با هم در نظر گرفته و گزینه‌های مختلفی را مورد بررسی قرار داد که از قابلیت‌های مهم این مدل نسبت به مدل‌های موجود می‌باشد. همچنین مشخص شد که در نظر گرفتن سه متغیر تصمیم‌گیری، دست طراح را برای انتخاب بهینه پارامترهای طراحی در آبیاری کرتی بازگذاشته و راندمان‌ها نیز افزایش بیشتری خواهند داشت. با مقایسه گزینه‌های در نظر گرفته شده، در حالی که ضرایب وزنی برای جملات تابع هدف یک در نظر گرفته شده بهبودی در شاخص‌های عملکرد مشاهده شده است. در حالی که ضریب وزنی هر شاخص معادل پتانسیل بهبود آرمانی همان شاخص در نظر گرفته می‌شود بهبود بیشتری در شاخص‌های عملکرد مشاهده است. در گزینه سوم که وزن‌دهی مطابق با الگوی پیشنهادی، یعنی $C_i = \lambda_i (1 + \gamma_i \theta)$ انجام می‌گیرد، که در آن $\lambda_i = 1$ و γ_i به عنوان پتانسیل بهبود آرمانی در نظر گرفته می‌شود بهترین حالت برای شاخص‌های عملکرد اتفاق می‌افتد. مدل جدید EDOBASIN دارای کارایی خوبی است که می‌تواند برای اهداف ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی آبیاری کرتی مورد استفاده قرار گیرد بطوریکه می‌توان گفت قابلیت بهینه‌سازی با گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری و وزن‌دهی به شاخص‌ها، ویژگی بارز این مدل می‌باشد.

فهرست منابع:

- ۱- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۲- محسنی موحد، س.ا. و م. اکبری. ۱۳۹۴. آشنایی با الگوریتم SA برای بهینه سازی و برخی کاربردها در مهندسی آب. انتشارات دانشگاه اراک
- ۳- مروج الاحکامی، ب. و ب. مصطفی زاده. ۱۳۹۰. آبیاری سطحی کاربرد مدل‌ها و بهینه سازی. انتشارات کنکاش
- 4- Boonstra, J. and M. Jurriens. 1988. *BASCAD. A mathematical model for level basin irrigation. Publication International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Wageningen. The Netherlands.*
- 5- Bradford, F.S. and D.N. Katapodes. 2001. Finite volume model for non-level basin irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 127. No 4.*
- 6- Hart, W. E., E. G. Peri and G. V. Skogerboe. 1979. Irrigation performance: An evaluation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. 105(IR3):275-288.*
- 7- Kundu, S.S. and G. V. Skogerboe. 1980. Field evaluation methods for measuring basin irrigation performance. *Tech. Rep. 59. Water management research project, Colorado State University.*
- 8- Lima, V.I.A., R.V. Pordeus, C.A.V. Azevedo, J.O. Pereira, V.L.A. Lima and M.R. Azevedo. 2014. Optimization of furrow irrigation systems with continuous flow using the software applied to surface irrigation simulations-SASI. *African Journal of Agricultural Research.*
- 9- Playan, E., W.R. Walker and P.G. Merkley. 1994. Two dimensional simulation of basin irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. Vol. 120.*
- 10- Sing, V. and M. Bhallamudi. 1997. Hydrodynamic modeling of basin irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. ISSN 0733-9437.*
- 11- Strelkoff, T.S., A.J. Clemmens and B.V. Schmidt. 1998. A model for simulating surface irrigation in borders, basins and furrows. *US Department of Agricultural Research Service. U.S. Water Conservation Laboratory.*
- 12- Vidal, R. V. V. (Ed) 1993. *Applied simulated annealing.* Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- 13- Walker, W. R. 1989. *Guidelines for designing and evaluation surface irrigation systems.* FAO Irrigation and Drainage Paper No.45. Rome. Italy.
- 14- Walker, W. R. 2007. *SIRMOD III- Surface irrigation simulation, evaluation and design.* Department of Biological and Irrigation Engineering Utah State University. 163 papers.

Development of a simulation-optimization model for optimal design of basin irrigation

Using SA algorithm

S.A. Mohseni movahed^{1*}, M. Koochakzadeh², P. Salehimoghadam³

Abstract

Basin irrigation is one of the conventional surface irrigation methods which is used to irrigate many crops all over the world. EDOBASIN, a new mathematical model for evaluation, design and optimal operation of basin irrigation has introduced in this paper. In this model the linear combination of desired efficiencies are considered in an objective function, and based on decision variables that include discharge, length and width of basin and also restrictions of parameters, the optimal design is performed. This model is a simulation-optimization model in which the volume balance equations for hydrodynamic simulation and SA method for optimization steps are used. Optimization capabilities with various decision options and allowing weights to the indicators are good characteristics of this model. Comparison of advance time in this model with the well-known model SIRMOD for a real conditions showed a good accuracy in the evaluation phase. In addition, the significant improvement of efficiencies after optimizing them simultaneously, indicate that the model is an efficient tool for optimal design and use this model for a data plot of an experimental field could enhance the efficiency of deep percolation ratio and application efficiency to 20% and keep constant the level of 100% for the efficiencies of water requirement and distribution uniformity.

Key words: Basin Irrigation, Volume balance model, Optimization, SA Method.

¹ . Assistant Professor of Water Engineering Department, Arak University , * Corresponding Author, movahed244@yahoo.com

² . Associate professor of Irrigation and Drainage Department, Tarbiat Modares University

³ . Msc in Irrigation and Drainage, Graduate of Tarbiat Modares University