توسعه یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای طراحی بهینه آبیاری کرتی با استفاده از الگوریتم SA

سید اسدالله محسنی موحد[۱*]، مهدی کوچک‌زاده[۲] و پروانه صالحی مقدم[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۶)

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 به‌منظور ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری کرتی معرفی شده است. در این مدل راندمان‌های مورد نظر به‌صورت ترکیبی خطی در یک تابع هدف درنظر 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 وزن‌دهی 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 وکارایی مدل ارائه شده در مرحله بهینه‌سازی است به‌طوری که 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.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کرتی، مدل موازنه حجم، بهینه‌سازی، روش SA

۱.گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
۲.گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: movahed244@yahoo.com

مقدمه

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 صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی که بیشترین تلفات آب را به‌ویژه در روش‌های آبیاری سطحی دارد، اجتناب ناپذیر است. اگر چه استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار یکی از راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی است ولی از آنجایی که 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 به‌خوبی 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 به‌طور متداول در آبیاری سطحی و مدل‌سازی به‌کار رفته معادلات سنت ونانت می‌باشند. برای حل معادلات سنت ونانت می‌توان از روش‌های حل دینامیکی و سینماتیکی استفاده کرد. روش موازنه حجم از جمله روش‌های حل سینماتیکی معادلات سنت ونانت می‌باشد. برای حل معادله موازنه حجم نیز روش پیش روی توانی به‌عنوان یک راه حل عددی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در حال حاضر جهان مشکلات ناشی از بحران آب را تجربه می‌کند و صرفه جویی در میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی که بیشترین تلفات آب را به‌ویژه در روش‌های آبیاری سطحی دارد، اجتناب ناپذیر است. 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 توصیه می‌شود. 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). مدلBASCAD 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 اجرا می‌شود. در این مدل با استفاده از اینرسی صفر معادلات سنت ونانت حل شده و همچنین از بعضی روش‌های غیرخطی 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، نرم‌افزار SRFR را برای شبیه‌سازی یک بعدی جریان در آبیاری سطحی ارائه دادند (۱۱). 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 مدلی دو بعدی را برای بررسی اثرات شکل کرت برروی تغییرات نفوذ و راندمان‌های آبیاری نوشتند که در آن از روش تفاضل محدود برای حل معادلات استفاده شده است (۹). سینگ و بالامودی یک مدل برای شبیه‌سازی آبیاری کرتی تهیه کردند که در آن از روش موازنه حجم استفاده شده است (۱۰). بردفورد و کاتاپودز نیز مدلی دو بعدی در شرایط غیرماندگار برای شبیه‌سازی زمان پیشروی و نفوذ در داخل کرت ارائه دادند

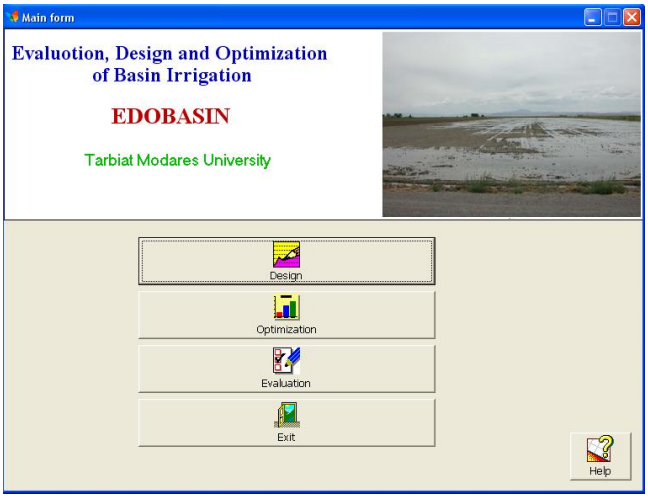
(۵). مدل شبیه‌سازی SIRMOD III، از جدیدترین نسخه‌های نرم‌افزاری برای طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی (شیاری، نواری و کرتی) است که توسط واکر از بخش آبیاری دانشگاه یوتا ارائه گردیده و برای حل معادلات سنت ونانت در آن از مدل‌های موج سینماتیک، اینرسی صفر و هیدرودینامیک استفاده شده است (۱۴). مدل‌های دیگری نیز برای شبیه‌سازی آبیاری شیاری، نواری و کرتی ارائه شده‌اند که برای اطلاعات بیشتر می‌توان به مروج‌الاحکامی و مصطفی‌زاده مراجعه کرد (۳). 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، نشان دادند که سه ترم راندمان و یک ترم یکنواختی نیاز است تا کارکرد هیدرولیکی یک سیستم آبیاری کاملاً تشریح شود (۶). راندمان‌ها بر یکدیگر تأثیر متقابل دارند به‌طوری که بهبود یکی(مثلاً راندمان نیاز آبی) ممکن است باعث بد شدن راندمان دیگر(تلفات نفوذ عمقی) شود. بنابر 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 به‌ویژه توانایی‌های بالای مدل SIRMOD، هیچ یک برای دستیابی به بهترین گزینه‌های تصمیم در ازای بهینه‌سازی همزمان راندمان‌ها در یک تابع هدف برنامه‌ریزی نشده‌اند. اخیراً لیما و همکاران (۸) از یک مدل شبیه‌سازی آبیاری سطحی فقط برای بهینه‌سازی آبیاری شیاری استفاده کرده‌اند لیکن در روش آنها بهینه‌سازی همزمان همه راندمان‌های با قابلیت وزن دهی به شاخص‌ها در یک تابع هدف لحاظ نشده است. لذا توسعه مدلی برای بهینه‌سازی آبیاری کرتی نیز که بتواند راندمان‌ها را به‌صورت توام در یک تابع هدف درنظر 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 به‌منظور ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی همزمان راندمان‌های آبیاری کرتی به زبان ویژوال‌بیسیک 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 نیاز آبی، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع) درنظر گرفته شده است که در ترکیب‌شان در یک تابع هدف بهینه می‌شوند. به‌علت پیچیدگی تابع هدف در شبیه‌سازی هیدرودینامیک استفاده از روش بهینه‌سازی SA مناسب تشخیص داده شد. ویژگی مهم این مدل قابلیت وزندهی به شاخص‌ها بر مبنای پتانسیل بهبود است که مستقل از هرگونه قضاوت شخصی است.

مواد و روش‌ها

الگوریتم SA

این روش برمبنای 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 به تدریج و مرحله به مرحله سرد می‌شوند تا سرانجام به کریستال کامل یعنی حالت مطلوب و بهینه برسند. روش SA نیز که با این فرایند شبیه‌سازی شده است دارای یک سری پارامترهای کنترلی است که عبارتند از دمای اولیه، دمای نهایی، فاکتور کاهش دما و غیره. به‌طوری که تابع هدف مورد نظر در دمای نهایی که اجرای الگوریتم به پایان می‌رسد دارای مقدار بهینه و معادل با کریستال کامل شبیه‌سازی می‌شود. با توسعه‌ای که در الگوریتم‌های SA به‌وجود 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 پارامترهایش حساس است. این کار با آزمون و ارزیابی



شکل ۱- پنجره اصلی مدل

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 به‌منظور طراحی، ارزیابی و مدیریت صحیح سیستم آبیاری کرتی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ویژوال‌بیسیک 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 شده است. علت استفاده از معادله موازنه حجم سهولت ترکیب آن با الگوریتم SA در فرایند شبیه‌سازی- بهینه‌سازی 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 برروی آیکون سمت راست پایین پنجره اصلی مدل با نام help کلیک کنیم پنجره‌ای بازمی‌شود 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 پسروی و پیشروی در کرت استفاده می‌شود. در این بخش محاسبات مربوط به تعیین ضرائب معادله نفوذ لوئیس- 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.

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 ضرایب معادله نفوذ لوئیس- 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 موردنیاز، کاربرد، نسبت نفوذ

عمقی و یکنواختی توزیع می‌باشد. در این مدل متغیرهای تصمیم‌گیری (طول کرت، عرض کرت و دبی ورودی)، در شرایط و محدودیت های تعریف شده در یک فرایند بهینه‌سازی به نحوی انتخاب می‌شوند که در ازای مقادیر آنها، راندمان‌های مورد نظر به‌طور توام در ترکیب‌شان در یک تابع هدف کمینه یا بیشینه شوند. به عبارت دیگر از آنجایی که مقدار ایده‌آل برای بعضی راندمان‌ها ۱ و برای بعضی صفر است، تابع هدف را هم می‌توان به شکل کمینه‌سازی و هم به شکل بیشینه‌سازی نوشت. تابع هدفی که برای این مدل درنظر گرفته شده است به‌صورت 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 راندمان‌ها به شکل زیر است (۱۳).

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

$$E_r = \frac{Z_{req}L}{Z_{req}L}\times 100 = 100\% \quad (3)$$

در روابط فوق E_r راندمان آب مورد نیاز، E_a راندمان کاربرد آب، Z_{req} عمق آب مورد نیاز در کرت برحسب متر، L طول کرت برحسب متر، Q_0 دبی جریان ورودی برحسب مترمکعب در واحد عرض کرت در دقیقه و t_{co} زمان قطع آبیاری برحسب دقیقه می‌باشند. DPR نسبت نفوذ عمقی و Du یکنواختی توزیع نیز به‌ترتیب 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 $\overline{V_{lq}}$ 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، $\overline{V_z}$ متوسط حجم کل نفوذ یافته در کرت برحسب مترمکعب در واحد عرض کرت، N تعداد تقسیمات کرت، Jd 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 به‌صورت 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 بهینه‌سازی

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 به‌طور 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 به‌طوری که کاهش یکی به افزایش دیگری منجر شود در این صورت لازم است که برای آنها ضرایب وزنی قائل شد. اما اینکه چگونه این ضرایب انتخاب شوند اگر به‌روش

مناسبی دسترسی نباشد معمولاً از قضاوت کارشناسی استفاده می‌شود که قطعا توسط افراد مختلف به نتایج متفاوتی می‌انجامد. بنابراین ارائه یک روش مناسب و استاندارد که بتواند در این گونه 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 آنجایی 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 سطح عملکرد موجود و سطح عملکرد ایده‌آل (معیار استاندارد) هر شاخص می‌باشد به‌طوری که می‌توان نوشت:

$\gamma_i =$ |عملکرد موجود شاخص − عملکرد ایده‌آل شاخص| = پتانسیل بهبود آرمانی

$\beta_i = \theta\gamma_i =$ اهمیت نسبی شاخص

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

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. نهایتا ضرایب وزنی C_i در این مدل به صورت:

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

به کار گرفته شده است و می‌توان با تحلیل حساسیت، تغییرات ضرایب وزنی و تأثیر آن را برروی 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 هر یک 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 درنهایت طول و عرض کرت و دبی ورودی بهینه را تخمین می‌زند. به‌منظور آزمون قابلیت مدل، از یک سری داده‌های واقعی یک مزرعه آزمایشی در ایالت کلرادوی 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 به‌کار رفته، استفاده شده است (۱۳). لازم به‌ذکر 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 به‌ذکر است که ابعاد کلی کرت با احتساب پشته‌های اطراف به طول ۳۶/۶ متر و عرض ۳۶/۶ متر گزارش شده، بنابر این عرض خالص تحت آبیاری ۳۶ متر درنظر گرفته می‌شود. این داده‌ها برای ارزیابی اولیه در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده که در آنها ابعاد کرت، عمق آب موردنیاز، دبی مورد استفاده و زمان‌های پیشروی در طول کرت نشان داده شده‌اند.

به‌منظور نمایش قابلیت بهینه‌سازی در مدل مورد نظر و مقایسه راندمان‌ها قبل و بعد از بهینه‌سازی و همچنین بررسی تأثیر ضرایب وزنی شاخص‌ها بر عملکرد بهینه و ارزیابی الگوی پیشنهادی برای وزندهی به شاخص‌ها، چهار گزینه به شرح ذیل درنظر گرفته شده و بهینه‌سازی با مدل مورد نظر انجام گرفته است:

گزینه اول: برای همه شاخص‌ها (راندمان‌ها) ضرایبی یکسان و معادل یک درنظر گرفته می‌شود در این صورت $C_i = 1$ خواهد بود به‌طوری که در مدل بایستی $\lambda = 1$ و $\theta = 0$ قرار داده شود.

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)
لوم‌سیلتی‌رسی	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

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

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

جدول ۴. مقایسه نتایج به‌دست آمده از بخش ارزیابی مدل EDOBASIN با SIRMOD در کرت آزمایشی

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

گزینه دوم: برای همه شاخص‌ها (راندمان‌ها) ضرایبی معادل پتانسیل بهبود آرمانی آنها درنظر گرفته می‌شود به‌طوری که $C_i = \gamma_i$ خواهد بود. برای این منظور در مدل بایستی $\lambda_i = \gamma_i$ و $\theta = ۰$ قرار داده شود.

گزینه سوم: وزن همه شاخص‌ها (راندمان‌ها)مطابق با الگوی پیشنهادی محاسبه می‌شود به‌طوری که $C_i = \lambda_i(۱+\gamma_i\theta)$ و $\lambda_i = ۱$ و

$\theta = ۱,۲,۳,.....$ و $\gamma_i =$ |عملکرد موجود شاخص- عملکرد ایده‌آل شاخص|

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

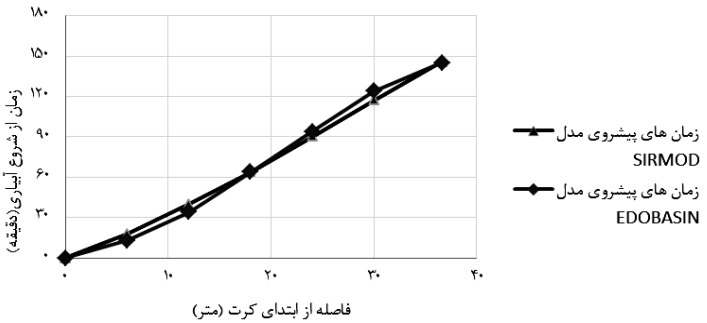
نتایج و بحث

با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزرعه و با استفاده از بخش ارزیابی مدل، معادله نفوذ لوئیس- کوستیاکف به‌صورت زیر به‌دست آمد:

$$Z = ۰/۲۶۰t^{۰/۱۱۷} + ۰/۰۰۰۳t$$

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

به‌منظور 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 (جدول۴). همان‌طور که از مقادیر جدول (۴) مشخص است اختلافی که بین اعداد به‌دست 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.



شکل ۲. منحنی‌های پیشروی در دو مدل EDOBASIN و SIRMOD برای کرت آزمایشی

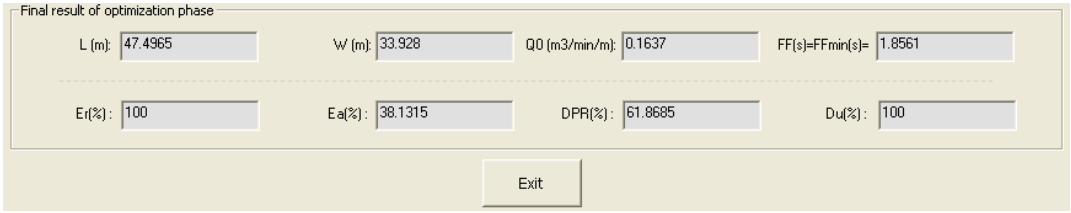
جدول ۵. محاسبه راندمان‌ها در گزینه‌های مختلف

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

زمان پیشروی در ارزیابی اولیه با استفاده از مدل EDOBASIN با اعداد حاصل شده از مدل SIRMOD مقایسه شد. اختلاف حاصل برای شرایط کرت آزمایشی در حدود یک دقیقه به‌دست آمد که با توجه به زمان پیشروی ۱۵۰ دقیقه این اختلاف معنی دار نمی‌باشد. البته برای شرایط دیگری ممکن است این اختلاف بیشتر باشد اما از آنجایی که مقدار کل زمان پیشروی نسبت به این اختلاف قابل توجه است لذا درصد خطا بسیار کم ویا در حد قابل قبول خواهد بود. در شکل (۲) منحنی پیشروی برای مدل EDOBASIN و مدل SIRMOD نشان داده شده است. همان طور که مشخص است دو منحنی از یک روند تبعیت کرده و با اختلاف خیلی کمی از یکدیگر در کنار هم قرار گرفته‌اند.

در جدول (۵) مقادیر راندمان‌ها با توجه به گزینه‌های فوق به‌دست آمده و نمایش داده شده‌اند. همان طور 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.

همان طور که ملاحظه می‌شود با استفاده از فرایند بهینه‌سازی، راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع افزایش و میزان نسبت نفوذ عمقی کاهش یافته است برای راندمان نیاز آبی نیز چون آبیاری به‌صورت کامل انجام شده است همان ۱۰۰٪ حاصل گردیده



شکل۳. خروجی مدل شامل تابع هدف، راندمان‌ها و یکنواختی توزیع و متغیرهای تصمیم‌گیری

است. به عبارت دیگر با انجام عمل بهینه‌سازی، راندمان‌ها به میزان ۲۲ درصد در کرت آزمایشی بهبود داشته‌است. با توجه به نتایج حاصل از مدل می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌سازی می‌تواند در بهبود راندمان‌ها در سیستم آبیاری کرتی به نحو قابل توجهی مؤثر باشد و در این راستا مدل مورد نظر قادر است بهینه سازی را با چند گزینه تصمیم گیری و در نظر گرفتن مجموعه راندمان‌ها به‌طور همزمان انجام دهد. حاصل گردیده است. به عبارت دیگر با انجام عمل بهینه‌سازی میزان راندمان‌ها به میزان ۲۲ درصد در کرت آزمایشی بهبود داشته است. با توجه به نتایج حاصل شده از مدل می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌سازی می‌تواند در بهبود راندمان‌ها در سیستم آبیاری کرتی به نحو قابل توجهی مؤثر باشد و در این راستا مدل مورد نظر قادر است بهینه‌سازی را با چند گزینه تصمیم‌گیری و درنظر گرفتن مجموعه راندمان‌ها به‌طور همزمان انجام دهد.

نتیجه‌گیری

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، جدا جدا یا دوبه‌دو و یا هر سه با هم درنظر گرفته و گزینه‌های مختلفی را مورد بررسی قرار داد که از قابلیت‌های مهم این مدل نسبت به مدل‌های موجود می‌باشد. همچنین مشخص شد که درنظر 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 درنظر گرفته شده، در حالتی که ضرایب وزنی برای جملات تابع هدف یک درنظر گرفته شده بهبودی در شاخص‌های عملکرد مشاهده شده است. در حالتی که ضریب وزنی هر شاخص معادل پتانسیل بهبود آرمانی همان شاخص درنظر 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 به‌عنوان پتانسیل بهبود آرمانی درنظر 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 به‌طوری که می‌توان گفت قابلیت بهینه‌سازی با گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری و وزن‌دهی به شاخص‌ها، ویژگی بارز این مدل می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. علیزاده، ا. ۱۳۸۵. *طراحی سیستم‌های آبیاری (جلد اول) طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی*. چاپ اول، فصل اول و فصل دهم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

۲. محسنی موحد، س. ا. و م. اکبری. ۱۳۹۴ . *آشنایی با الگوریتم SA برای بهینه‌سازی و برخی کاربردها در مهندسی آب*. چاپ اول، فصل دوم، انتشارات دانشگاه اراک.

۳. مروج‌الاحکامی، ب. و ب. مصطفی‌زاده. ۱۳۹۰ . *آبیاری سطحی(کاربرد مدل‌ها و بهینه‌سازی)*. چاپ اول، فصل دهم، انتشارات کنکاش، اصفهان.

4. Boonstra, J., M. Jurriens. 1988. BASCAD. A mathematical model for level basin irrigation. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). 9-29. Wageningen. The Netherlands.
5. Bradford, F. S. and D. N. Katapodes. 2001. Finite volume model for non-level basin irrigation. J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE. 127(4): 216-223.
6. Hart, W. E., E. G. Peri and G. V. Skogerboe. 1979. Irrigation performance: An evaluation. J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE. 105(IR3): 275-288.
7. Kundu, S. S. and G. V. Skogerboe. 1980. Field evaluation methods for measuring basin irrigation performance, Water management research project, Colorado State University, Technical report 59.
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 J. Agri. Res. 9(42): 3115-3125.
9. Playan, E., W. R. Walker and P. G. Merkley. 1994. Two dimensional simulation of basin irrigation. J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE. 120(5): 837-855.
10. Sing, V. and M. Bhallamudi. 1997. Hydrodynamic modeling of basin irrigation. J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE. 123: 407-414.
11. Strelkoff, T. S., A. J. Clemmens and B.V. Schmidt. 1998. A model for simulating surface irrigation in borders, basins and furrows, U.S. Department of Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory.
12. Vidal, R. V. V. 1993. Applied simulated annealing. Springer-Verlag.17-61. 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.

J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 21, No. 3, Fall 2017, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Development of a Simulation-Optimization Model for Optimal Design of Basin Irrigation using SA Algorithm

S. A. Mohseni Movahed[1]*, M. Koochakzadeh[2] and P. Salehimoghadam[2]

(Received: March 30-2015 ; Accepted: Dec. 06-2016)

Abstract

Basin irrigation is one of the conventional surface irrigation methods used to irrigate many crops all over the world. EDOBASIN, a new mathematical model for evaluation, design and optimal operation of basin irrigation has been 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 are used for hydrodynamic simulation and SA method are used for optimization steps. 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 condition 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 of 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.

Keywords: Basin Irrigation, Volume balance model, Optimization, SA Method.

1. Dept. of Water Eng. College of Agric., Arak Univ., Arak, Iran.
2. Dept. of Irrigation and Drainage, College of Agric., Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: movahed244@yahoo.com