یک مدل ریاضی جدید برای طراحی بهینه آبیاری نواری بر مبنای تحلیل حساسیت ضریب وزنی شاخص‌ها

سید اسداله محسنی موحد[۱*]، محمود اکبری[۲] و پروانه صالحی مقدم[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۱۸)

چکیده

چون همیشه نمی‌توان از آبیاری تحت فشار استفاده کرد، استفاده از روش‌های مدرن آبیاری سطحی ضروری است. در این مقاله ضمن معرفی مدل جدید BISEDOM برای طراحی و ارزیابی بهینه آبیاری نواری، تأثیر ضریب وزنی شاخص‌ها (راندمان‌ها) در فرآیند بهینه‌سازی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین الگوی وزنی که براساس پتانسیل بهبود است، معرفی می‌شود. در مدل BISEDOM برای شبیه‌سازی هیدرولیکی از مدل موازنه حجم و برای بهینه‌سازی از روش SA استفاده شده است. هم‌چنین بررسی ترکیب‌های متفاوت متغیرهای تصمیم‌گیری (دبی ورودی، طول، عرض و شیب نوار)، و نتیجتاً راندمان‌های معرف عملکرد آبیاری نواری در یک تابع هدف امکان‌پذیر شده است. ضمن این‌که به سبب ماهیت روش SA، باید پارامترهای این روش در مدل، پس‌بهینگی شوند. در این تحقیق نهایتاً مشخص شد شاخص‌های موزون مطابق الگوی پیشنهادی در بهبود عملکرد آبیاری نواری تأثیر معنی‌داری خواهد داشت. هم‌چنین اعتبارسنجی نتایج مدل، در سه بخش طراحی، ارزیابی و بهینه‌سازی با مدل SIRMOD و روش ریاضی مجانب نشان داد نتایج حاصل بسیار نزدیک به هم می‌باشد. لذا نتایج حاکی از کارایی مدل نسبت به مدل‌های موجود به‌ویژه برای اهداف بهینه‌سازی است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری نواری، مدل BISEDOM، پارامترهای SA، متغیر تصمیم‌گیری، ضریب وزنی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک

۲. گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. گروه آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a-movahed@araku.ac.ir

مقدمه

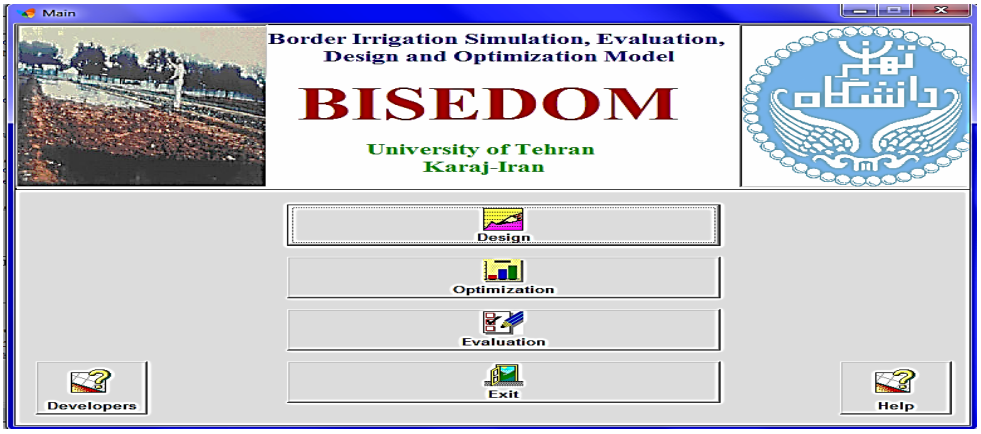
با توجه به بحران آب، صرفه‌جویی در آب مصرفی آبیاری نواری، ضروری است. تجربه زیاد زارعین و پیشرفت‌های علم هنوز نتوانسته راندمان استفاده از آب را به حداکثر رساند. لذا تلاش برای استفاده حداکثر از آب و زمین در این آبیاری مورد توجه است(۳). معادلات سنت‌ونانت (ترکیب معادلات پیوستگی و انرژی) در مدل‌سازی آبیاری سطحی به‌کار می‌روند. روش موازنه حجم از روش‌های حل این معادلات است. برای روش موازنه حجم، روش عددی پیشروی توانی مورد توجه است. که در آن از تابع پیشروی توانی و معادله نفوذ لوئیس کوستیاکف استفاده می‌شود (۱۳). برای مدل‌سازی آبیاری سطحی کارهای زیادی صورت گرفته است. که از آن جمله مدل SIRMOD، نرم‌افزار SRFR، بسته نرم‌افزاری SURDEV و مدل SURFACE را می‌توان نام برد. (۱۰، ۱۱، ۱۲و ۱۴)

علی‌رغم مدل‌های فوق که برای طراحی و ارزیابی آبیاری سطحی هستند، جای خالی مدل‌های بهینه‌سازی احساس می‌شد. اخیراً مدل‌هایی بدین منظور تدوین یافته‌اند. از جمله یزدی (۷) و صالحی مقدم (۴) به‌ترتیب مدل OPTIFUR و EDOBASIN را به منظور طراحی، ارزیابی و بهینه‌سازی آبیاری شیاری و کرتی ارائه نمودند. هم‌چنین مدل FIDO به منظور بهینه‌سازی طراحی و مدیریت آبیاری شیاری با استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم (DSS) و مدل هیدرودینامیک کامل توسط مک کلایمونت (۸) ارائه گردیده است. علی‌رغم مدل‌های متعددی که در زمینه طراحی و ارزیابی آبیاری نواری نوشته شده است، جای مدلی که راندمان‌ها را به‌طور همزمان در یک تابع هدف در نظر گرفته و پارامترها را بهینه نماید، خالی است. از آنجا که تمام راندمان‌های آبیاری سطحی (نیازآبی، کاربرد، نسبت نفوذ عمقی، یکنواختی توزیع و نسبت رواناب پایاب) در آبیاری نواری در نظرگرفته می‌شوند، لذا برای مدلی که آبیاری نواری را بهینه‌کند، روش SA مناسب بوده و مورد توجه قرار گرفته است. چرا که توانایی SA در خروج از بهینه‌های محلی و همگرایی به سوی بهینه سراسری از جنبه نظری و در کاربردهای عملی به کرات اثبات شده است. از طرفی روش SA به لحاظ ویژگی ریاضی، توسط روش مجانب می‌تواند خود را اعتبارسنجی کند. از این رو اکبری (۱)، به منظور طراحی، ارزیابی وبهینه‌سازی آبیاری نواری مدل BISEDOM را به زبان ویژوال بیسیک۶ تهیه نموده است.

تابع هدف در نظر گرفته شده در مدل BISEDOM به‌صورت ترکیب خطی راندمان‌ها بوده که برای هر کدام ضرایب وزنی در نظر گرفته شده است تا بتوان درجه اهمیت راندمان‌ها را با الگوهای مختلف وزن‌دهی بر عملکرد بهینه بررسی کرد. این قابلیت، از ویژگی‌های بارز این مدل نسبت به مدل‌های قبلی است. از ویژگی‌های دیگر این مدل که آن را نسبت به سایر مدل‌ها مشخص‌تر می‌نماید آن است که می‌توان گزینه‌های مختلفی از ترکیب متغیرهای تصمیم‌گیری را به‌طور همزمان در فرآیند بهینه‌سازی مورد آزمون قرار داده و نهایتاً بهترین حالت را برگزید. هدف از این تحقیق ضمن معرفی بیشتر مدل BISEDOM، آزمون و ارزیابی و مقایسه آن با بعضی مدل‌های معروف و هم‌چنین بررسی تأثیر درجه اهمیت راندمان‌ها بر عملکرد بهینه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، مدلی برای طراحی، ارزیابی و بهینه‌سازی آبیاری نواری به زبان ویژوال بیسیک ۶ تهیه شده که BISEDOM (Border Irrigation Simulation Evaluation, Design and Optimization Model) نامگذاری شده است. روش بهینه‌سازی SA (Simulated Annealing، شبیه‌سازی باز پخت) یکی از روش‌های عددی بهینه‌سازی است که بر مبنای مکانیک آماری و قیاس با فرآیند فیزیکی آنیلینگ شبیه‌سازی شده و یکی از روش‌های تصادفی هوشمند و پیشرفته است که برای مسائل مختلف بهینه‌سازی ترکیبی کاربردی رو به توسعه دارد. پارامترهای به‌کار رفته در الگوریتم رسمی SA شامل T_0: دمای اولیه، T_f: دمای نهایی، B: فاکتور کاهش دما، Epoch: طول دوره، It: حداکثر تکرارهای پذیرفته شده در هر دما، EBS :



شکل ۱. پنجره اصلی مدل BISEDOM

خطای مجاز در محاسبات شرط تعادل و Kdiv: پارامتر کوچک گرفتن طول گام تصادفی می‌باشد. در این روش، کیفیت جواب‌ها نسبت به پارامترهای SA حساس است. این کار با آزمون و ارزیابی مقادیر مختلف پارامترها (تحلیل حساسیت) در یک زمان معقول میسر خواهد بود. (۵)

مدل از سه قسمت اصلی تشکیل شده است: ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی. کاربر با انتخاب بخش ارزیابی و یا طراحی وارد بهینه‌سازی شده، مقدار متغیرهای تصمیم‌گیری و راندمان‌ها به ازای آنها در حالت بهینه محاسبه می‌شوند. در شکل ۱ پنجره اصلی مدل نشان داده شده که در آن شش آیکون وجود دارد: ۱- Design (ورود به طراحی)، ۲- Optimization (ورود به بهینه‌سازی)، با کلیک روی این آیکون پیغامی مشاهده می‌شود که ابتدا وارد ارزیابی یا طراحی شوید. ۳- Evaluation (ورود به ارزیابی)، ۴- Exit (خروج از مدل)، ۵- Help (توضیحی کلی در مورد مدل)، ۶- Developers (توضیحی در مورد نویسندگان مدل).

تابع هدف این مدل از ترکیب توأم شاخص‌های زیر به‌دست می‌آید: راندمان آب مورد نیاز(Er)، راندمان کاربرد(Ea)، نسبت نفوذ عمقی(DPR)، یکنواختی توزیع(DU) و نسبت رواناب پایاب(TWR). که در آن راندمان‌ها به‌طور توأم و همزمان در ترکیبشان در تابع هدف بهینه می‌شوند. از آنجایی که این راندمان‌ها بعضاً با هم رقابت دارند و پارامترهای مربوط به آنها غالباً به هم وابسته هستند، برای بهینه‌سازی توأم آنها بهتر و ساده‌تر است که ترکیب خطی این راندمان‌ها را با ضرایب وزنی که نشان‌دهنده درجه اهمیت هر راندمان است در یک تابع هدف بهینه نمود. یکی از روش‌های متعددی که برای توصیف منطقی یک مسأله بهینه‌سازی ارائه شده است روش تابع مطلوبیت است که به‌دلیل سهولت و هم‌خوانی بیشتر با تابع هدف مورد نظر در این مدل، مورد استفاده قرارگرفته است. در این روش، برحسب درجه اهمیت هر تابع هدف، ضریب وزنی برای هر یک از آنها تعریف می‌شود که از ترکیب خطی مجموعِ آنها، تابع مطلوبیت یا تابع هدف کل به‌دست می‌آید (۶):

$$\text{Min}FF=\sum_{i=1}^{K} C_i f_i(x) \qquad [1]$$

که در آن، FF: تابع هدف کل، Ci: ضریب مثبت و موزون i امین تابع هدف و بیانگردرجه اهمیت آن نسبت به بقیه، k:تعداد توابع هدفی که باید کمینه شوند. مقدار ایده‌آل راندمان‌های کاربرد، آب مورد نیاز و یکنواختی توزیع یک و مقدار ایده‌آل نسبت نفوذ عمقی و نسبت رواناب پایاب صفر می‌باشد. بنابراین، شکل کمینه تابع هدفی که متشکل از راندمان‌های فوق می‌باشد، به‌صورت زیر است:

$$FF_{min}=C_1\left(1-\frac{Er}{100}\right)+C_2\left(1-\frac{Ea}{100}\right)+C_3\left(\frac{DPR}{100}\right)+C_4\left(1-\frac{DU}{100}\right)+C_5\left(\frac{TWR}{100}\right) \qquad [2]$$

این معادله ساده‌ترین شکل ترکیب راندمان‌ها در یک تابع هدف می‌باشد. براساس آن چه در تعریف تابع مطلوبیت گفته شده رابطه‌ای که برای تابع هدف در این مدل ارائه شده است به‌صورت یک تابع چند هدفی می‌باشد که هر یک از جملات آن، یک تابع هدف بوده و در نهایت تابع مطلوبیت کل حاصل می‌شود. مقادیر C_i ضرایب وزنی جملات تابع هدف به اهمیت نسبی شاخص‌ها بستگی دارد. برای راندمان‌های مورد نظر در دو حالت آبیاری کامل و ناقص از روابط موجود استفاده شده است. متغیرهای تصمیم‌گیری عبارت است از طول نوار، عرض هر نوار، شیب نوار و دبی هر نوار. از آنجایی که این متغیرهای تصمیم‌گیری از طریق روابطی با هریک از راندمان‌ها در ارتباط می‌باشند لذا تابع هدف ارائه شده تابع غیرمستقیمی از متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشد.

قیدهای مدل عبارت است از محدوده مجاز طول نوار، محدوده مجاز عرض نوار، محدوده مجاز دبی ورودی، محدوده مجاز شیب نوار که برای هر کدام براساس خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی و مدیریتی محدوده‌ای تعریف شده است و هم‌چنین کاربر می‌تواند مقادیری را با توجه به محدوده‌های تعریف شده در نظر بگیرد.

مقادیر ضرایب وزنی جملات در تابع هدف C_i براساس اهمیت نسبی شاخص‌ها تعیین می‌گردد. نه تنها در آبیاری نواری، بلکه 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 به‌طوری‌که کاهش یکی به افزایش دیگری منجر شود در این صورت بهتر و بعضاً 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. به‌عنوان نمونه می‌توان از روش مقایسه جفت جفتی شاخص‌ها که توسط ماج (۹) ارائه شده است استفاده نمود.

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 این رابطه محسنی موحد (۵) روشی ساده، منطقی و مبتنی بر اصول ریاضی و بدون قضاوت کارشناسی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها یا راندمان‌ها در توابع چند هدفی پیشنهاد نموده است که در کارهای تحقیقی دیگری (۷و ۴) نیز ارزیابی شده و نتایج خوبی به‌دست آمده است که در اینجا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش مورد استفاده این‌گونه است که باید برای شاخص‌هایی که در وضعیت موجود، عملکرد بدتری دارند اهمیت بیشتری قائل شد. آن جا که برای شاخص‌های راندمان کاربرد، راندمان نیاز آبی و یکنواختی توزیع مقدار ایده‌آل یک و برای شاخص نسبت نفوذ عمقی و نسبت رواناب پایاب مقدار ایده‌آل برابر صفر است، لذا می‌توان با محاسبه این شاخص‌ها در وضعیت موجود و مقایسه با مقدار ایده‌آل‌شان کیفیت آنها را مشخص نمود. لذا پتانسیل بهبود آرمانی را می‌توان تفاوت بین عملکرد موجود و ایده‌آل(معیار استاندارد) هر شاخص تعریف کرد:

γ_i=پتانسیل بهبود آرمانی = |عملکرد موجود شاخص − عملکرد ایده‌آل شاخص| [۳]

$\beta_i = \theta.\gamma_i$=اهمیت نسبی شاخص [۴]

$$C_i = ۱ + \beta_i = ۱ + \gamma_i\theta \qquad [۵]$$

که در آن θ برای تمامی جملات یکسان قرار داده می‌شود. بنابراین مقادیر γ_i قبل از بهینه‌سازی می‌تواند به اندازه θ بزرگ شود. نهایتاً ضرایب وزنی C_i در این مدل به‌صورت $C_i=\lambda_i(1+\gamma_i\theta)$ به‌کار گرفته شده است و می‌توان با تحلیل حساسیت تغییرات ضرایب وزنی و تأثیر آن را بر روی راندمان‌ها بررسی نمود. در این حالت که در واقع ضرایب وزنی با تحلیل حساسیت به‌دست می‌آید در هر گام بهینه‌سازی مقدار θ یک واحد افزایش داده می‌شود تا جایی که دیگر بهبود بیشتری حاصل نگردد. لازم به ذکر است که

به لحاظ محدود بودن فضای امکان‌پذیر در فرآیند جستجوی بهینه که توسط قیود بهینه‌سازی محدود می‌شود معمولاً به گام-های زیادی برای افزایش θ نیاز نخواهد بود. ضریب λ_i برای این است که بتوان با صفر قرار دادن آن، شاخص یا شاخص‌هایی را از فرآیند بهینه‌سازی حذف کرد. در غیر این صورت مقدار $\lambda_i=1$ قرار داده می‌شود. لذا برای تحلیل حساسیت ضرایب وزنی جملات تابع هدف، می‌توان حالت‌های مختلف زیر را در نظر گرفت (۵):

۱. در صورتی‌که اهمیت نسبی تمامی راندمان‌ها یکسان باشد، ضرایب C_i همه مساوی یک می‌باشند و بدین ترتیب مقادیر λ_i ، γ_i برابر یک و θ صفر خواهد بود.

۲. اگر بهینه‌سازی با در نظر گرفتن ضرایب وزنی و تأثیر تغییرات این ضرایب مد نظر باشد به جای γ_i پتانسیل بهبود آرمانی و به جای θ و λ_i مقدار یک و در هر بار بهینه‌سازی مقدار θ یک واحد زیاد می‌شود.

۳. اگر تأثیر حذف یک یا چند راندمان مد نظر باشد، ضریب λ_i مربوط به آن صفر قرار داده می‌شود.

۴. هرگاه بهینه‌سازی بدون تغییر ضرایب وزنی و تحلیل حساسیت آنها و فقط با ضرایب وزنی برحسب پتانسیل بهبود آرمانی شاخص‌ها مدنظر باشد به جای λ_i ضریب وزنی مورد نظر را قرار داده و حاصل‌ضرب $\gamma_i\theta$ با صفر قرار دادن θ حذف می‌شود.

۵. هرگاه بهینه‌سازی با ضرایب وزنی براساس سلیقه کاربر مدنظر باشد به جای λ_i ضریب وزنی مورد نظر را قرار داده و حاصل‌ضرب $\gamma_i\theta$ با صفر قرار دادن θ حذف می‌شود.

در نتیجه شکل نهایی تابع هدف که در بخش بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته به‌صورت زیر است:

$$FF_{min}=\lambda_1(1+\gamma_1\theta)\left(1-\frac{Er}{100}\right)+\lambda_2(1+\gamma_2\theta)\left(1-\frac{Ea}{100}\right)+\lambda_3(1+\gamma_3\theta)\left(\frac{DPR}{100}\right)+\lambda_4(1+\gamma_4\theta)\left(1-\frac{DU}{100}\right)+\lambda_5(1+\gamma_5\theta)\left(\frac{TWR}{100}\right)$$

[۶]

به منظور نمایش قابلیت بهینه‌سازی در مدل موردنظر 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، سه گزینه به شرح زیر در نظر گرفته شده و بهینه‌سازی با مدل مورد نظر انجام گرفته است:

گزینه اول: بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن ضرایب وزنی برای شاخص‌ها(راندمان‌ها) در تابع هدف که در این حالت طبق الگوی پیشنهادی $C_i=1$ خواهد بود به‌طوری‌که $\lambda_i=1_i$ و $\theta=0$ قرار داده می‌شود.

گزینه دوم: ضریب وزنی هر شاخص معادل پتانسیل بهبود آرمانی همان شاخص در نظر گرفته می‌شود. که در این حالت $C_i=\gamma_i$ به‌طوری‌که $\lambda_i=\gamma_i$ و $\theta=0$ قرار داده می‌شود.

گزینه سوم: وزن‌دهی مطابق با الگوی پیشنهادی، که در این حالت $C_i=\lambda_i(1+\gamma_i\theta)$ در نظر گرفته می‌شود. به‌طوری‌که $\lambda_i=1$ و |عملکردموجودشاخص-عملکردایده‌آل شاخص|$=\gamma_i$ و $\theta=1,2,3,\ldots\ldots$.

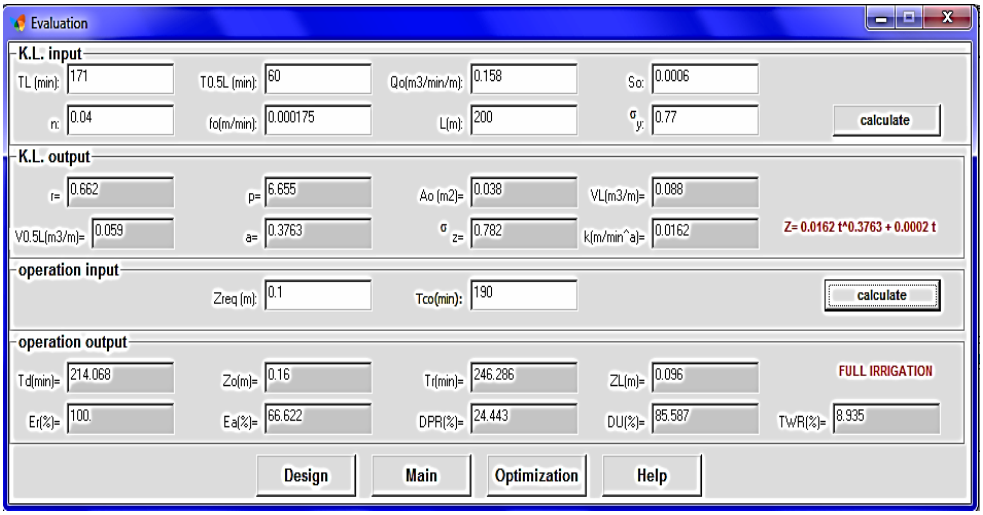
نتایج و بحث

ارزیابی اولیه

از سری سوم داده‌های آبیاری نواری روستای حسن کندی میاندوآب ارومیه (۱) ارزیابی اولیه مزرعه‌ای انجام شده و نتایج حاصل در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در ارزیابی اولیه، مشاهده می‌شود بعضی از راندمان‌ها پایین هستند. با استفاده از بخش بهینه‌سازی مدل، با تغییراتی که در متغیرهای تصمیم‌گیری ایجاد می‌شود می‌توان راندمان‌ها را به حد دلخواه رساند و نشان داد که در آبیاری نواری نیز می‌توان راندمان بالایی داشت. اما نخست باید مدل در هر سه بخش اعتبارسنجی شود.

اعتبارسنجی مدل BISEDOM

به منظور اعتبارسنجی مدل، روش‌های مختلفی وجود دارد مانند



شکل ۲. نمایی از پنجره ارزیابی مدل در ارزیابی اولیه

مقایسه جواب به‌دست آمده با جواب‌های حاصل از روش‌های دیگر، مقایسه جواب‌ها با سطح عملکرد موجود سیستم مورد نظر و روش‌های ریاضی محض مثل روش مجانب یا حد پایین غیرامکان‌پذیر. مدل‌هایی که تاکنون برای آبیاری نواری نوشته شده‌اند مانند SIRMOD راندمان‌ها را به‌طور انفرادی در نظر می‌گیرند، به علاوه در این مدل‌ها فرآیند بهینه‌سازی صورت نمی‌گیرد. توانایی بالای SIRMOD در شبیه‌سازی و ارائه نتایج به‌صورت جدول و گرافیک بر کسی پوشیده نیست؛ لیکن این مدل نمی‌تواند بهینه‌سازی صورت دهد. در حالی‌که در BISEDOM راندمان‌ها به‌طور توام در نظر گرفته شده و بهینه می‌شوند. بنابراین نمی‌توان جواب‌های BISEDOM را با مدل‌های دیگر مقایسه نمود. ولی می‌توان جواب‌های طراحی یا ارزیابی BISEDOM را قبل از این‌که وارد بهینه‌سازی شود با SIRMOD مقایسه کرد. برای بخش بهینه‌سازی از روش مجانب استفاده گردید که در ادامه نشان داده شده است.

اعتبارسنجی بخش طراحی مدل BISEDOM

با استفاده از داده‌های میدانی (۱۳) راندمان‌ها با دو مدل SIRMOD و BISEDOM محاسبه و با هم مقایسه شده‌اند. (جدول ۱) ملاحظه می‌شود اختلاف ناچیزی بین با SIRMOD وجود دارد.

اعتبارسنجی بخش ارزیابی مدل BISEDOM

از داده‌های آبیاری نواری کمال آباد کرج (۲) و مقایسه با SIRMOD، راندمان‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در اینجا نیز نتایج هر دو مدل بسیار نزدیک است.

اعتبارسنجی بخش بهینه‌سازی مدل BISEDOM

امکان قیاس بین اعداد حاصل شده از بخش بهینه‌سازی مدل BISEDOM با مدل‌های دیگر به‌دلیل عدم بهینه‌سازی در سایر مدل‌ها وجود ندارد. به همین منظور از روش مجانب که توسط محسنی موحد (۵) ارائه شده، استفاده گردید. در این روش مقادیر بهبود یافته تابع هدف، در دامنه انتخابی به‌عنوان متغیر مستقل و تعداد تکرارهای پذیرفته شده به‌عنوان متغیر وابسته با مدل تابع معکوس در رگرسیون ساده مدل می‌شود و با رسیدن به یک ضریب همبستگی مورد قبول مقادیر a و b ضرایب ثابت تابع معکوس را از جدول تحلیل رگرسیون استخراج کرده و مدل رگرسیون تابع معکوس به‌صورت $1/N = a + b(FF)$ تشکیل می‌شود. در این رابطه FF مقدار تابع هدف و N تعداد تکرارهای پذیرفته شده می‌باشد. حال در ازای خط مجانب تابع معکوس را محاسبه کرده و به‌عنوان برآوردی از بهینه سراسری مسأله مورد نظر پذیرفته می‌شود(جدول ۳).

$$\lim_{N\to\infty} 1/N = a + b(FF) \Rightarrow FFglobal \approx -a/b \qquad [7]$$

جدول ۱. مقایسه نتایج مدل BISEDOM و مدل SIRMOD در بخش طراحی

مدل	Er(%)	Ea(%)	DPR(%)	DU(%)	TWR(%)	FF
BISEDOM	۱۰۰	۱۹/۹۹	۰/۲۱۲	۱۰۰	۷۹/۷۹۸	۱/۶۰
SIRMOD	۹۹/۲۹	۱۹/۸۶	۰/۱۱	۹۸/۸۶	۸۰/۰۴	۱/۶۲

جدول ۲. مقایسه مدل BISEDOM با SIRMOD در داده‌های کمال‌آباد کرج در بخش ارزیابی

مدل	Er(%)	Ea(%)	DPR(%)	DU(%)	TWR(%)	FF
BISEDOM	۱۰۰	۵۲/۱۲۲	۴۲/۹۷۸	۷۸/۸۵۶	۴/۹۰۱	۱/۱۷
SIRMOD	۹۹/۶۷	۵۱/۹۵	۴۳/۲۶	۸۱/۴۲	۴/۷۹	۱/۱۵

جدول ۳. خلاصه محاسبات تخمین بهینه سراسری با روش مجانب

درصد خطا	بهینه BISEDOM	بهینه تخمینی	وضع موجود	ضریب همبستگی	b	a
۱۰ درصد	۰/۳۵۵	۰/۳۲۱	۰/۸۱۱۷	۰/۹۷۳	۰/۰۵۲	−۰/۰۱۷

از طیف گسترده انتقال‌های رو به پایین از ابتدا تا انتها مواردی انتخاب گردید (با توزیع مناسب) و تحلیل همبستگی انجام گرفت. نتیجه آن بود که با ضریب همبستگی ۰/۹۷۳ بهینه BISEDOM با تقریب ۱۰ درصد بیشتر از بهینه سراسری حاصل از روش مجانب (به‌عنوان روش مبنا) تخمین زده شد. در شکل ۳ نتایج این آزمون همبستگی به‌صورت نمودار همبستگی نشان داده شده است.

تحلیل حساسیت پارامترهای الگوریتم SA در مدل BISEDOM

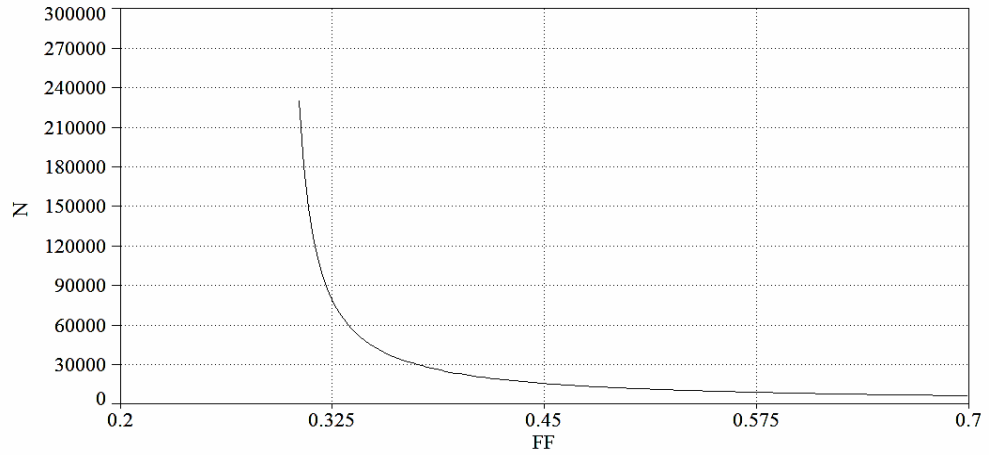
به منظور بهینه‌سازی سیستم آبیاری نواری با SA احتیاج به پارامترهایی می‌باشد که قبلاً توضیح داده شده است. لذا به منظور دستیابی به بهترین ترکیب پارامترهای SA باید تحلیل حساسیت بر روی این پارامترها به این صورت انجام گیرد که به‌ترتیب B، T_0، T_f، Epoch، EBS، It و K_{div} بر مبنای زمان اجرا و مقدار تابع هدف انتخاب می‌شوند. مقادیر مناسب و نهایی پارامترهای اصلی الگوریتم SA، عبارتند از: B=۰/۹، K_{div}=۸۰، It=۳۰، Epoch=۵، EBS= ۰/۰۱، T_f=۱، T_0=۱۰۰۰.

نتایج حاصل از تعیین ضرایب وزنی جملات تابع هدف

در جدول ۴ مقادیر راندمان‌ها با توجه به گزینه‌های ارائه شده به‌دست‌آمده و نمایش داده شده‌اند. همان‌طورکه 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 با θ=۱ حاصل شده است. و ترکیب توام شاخص‌های عملکرد آبیاری نواری در بهینه‌سازی تابع هدف توانسته است نتیجه قابل قبولی را برای آبیاری نواری ارائه دهد و با بهینه‌سازی می‌توان راندمان‌های استاندارد عملکرد آبیاری نواری را حتی المقدور در فضای امکان‌پذیر ارتقا بخشید. هم‌چنین می‌توان نتیجه گرفت، از آن جایی که شاخص‌ها با هم رقابت دارند، بهترین طراحی زمانی حاصل می‌شود که این شاخص‌ها به‌طور همزمان و با در نظر گرفتن ضرایب وزنی به روش پیشنهادی در یک تابع هدف بهینه شوند.

نتایج حاصل از تغییر در تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در حالت بهینه‌سازی

در جدول ۵ چند ترکیب متغیرهای تصمیم‌گیری ذکر شده است.



شکل ۳. همبستگی مقادیر بهبود یافته تابع هدف و تکرارها برای تمام انتقال‌های رو به پایین

جدول ۴. محاسبه راندمان‌ها در گزینه‌های مختلف

راندمان	Er	Ea	DPR	Du	TWR	FFmin
مقدار ایده‌آل	۱۰۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰
ارزیابی اولیه	۱۰۰	۶۶/۶۲	۲۴/۴۴	۸۵/۵۹	۸/۹۴	۰/۸۱۱۷
گزینه اول	۷۸/۶۳	۸۹/۷۶	۱/۶۴	۸۴/۹۳	۸/۶	۰/۵۶۹۲
گزینه دوم	۷۸/۶۳	۹۱/۴۶	۰	۸۴/۳۸	۸/۵۴	۰/۵۴۰۷
گزینه سوم	۱۰۰	۸۹/۷۶	۱/۶۴	۸۴/۹۳	۸/۶	۰/۳۵۵۵

جدول ۵. تابع هدف به ازای ترکیب‌های مختلفی از متغیرهای تصمیم‌گیری

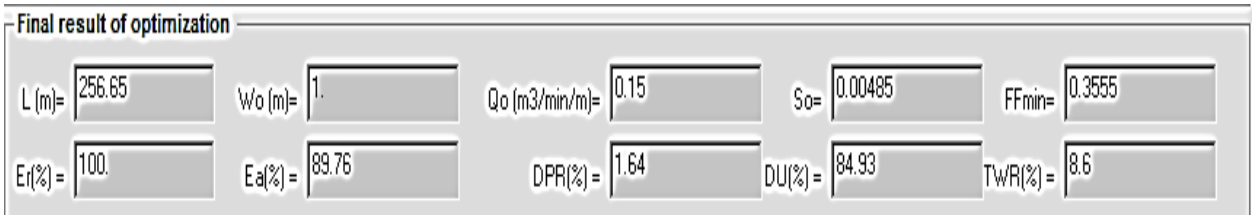
متغیر تصمیم‌گیری	FFmin	متغیر تصمیم‌گیری	FFmin
دبی	۰/۶۷	دبی و طول	۰/۵۶۹۱
طول	۰/۷۳	طول و شیب	۰/۵۰۷
شیب	۰/۷۸۶۸	تمام متغیرها	۰/۳۵۵۵

این که کدام مورد لحاظ شود، بستگی به نظر و توانایی تغییر توسط زارع دارد. ملاحظه می‌شود هرچه تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری افزایش یابد، دست کاربر برای طراحی بهینه نوار بازتر است. لذا بهترین حالت زمانی حاصل می‌شود که این متغیرهای تصمیم‌گیری به‌طور همزمان در تابع هدف بهینه‌سازی شوند.

بهینه‌سازی ارزیابی اولیه

پس از اعتبارسنجی هر سه بخش مدل، حصول اطمینان از صحت محاسبات و اعداد حاصل شده، پس از ارزیابی اولیه و تحلیل حساسیت پارامترهای SA، تعیین ضرایب وزنی و حدود قابل تغییر متغیرهای تصمیم‌گیری، نتایج نهایی به‌دست می‌آید. که در شکل ۴ راندمان‌های مورد نظر به همراه مقدار تابع هدف بهینه به ازای این مقادیر و هم‌چنین مقدار بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری نمایش داده شده است.

مشاهده می‌شود راندمان‌ها و یکنواختی نسبت به ارزیابی اولیه بهبود یافته است. بهینه‌سازی توانست راندمان کاربرد را از



شکل۴. نتایج نهایی بخش بهینه‌سازی مدل بر مبنای ارزیابی اولیه

۶۶٪ به ۹۰٪، نفوذ عمقی را از ۲۴٪ به ۲٪ و سه شاخص دیگر را که در ارزیابی اولیه وضعیت خوبی داشتند در همان حدود نگاه دارد. با توجه به نتایج می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌سازی می‌تواند در بهبود آبیاری نواری مؤثر باشد و از آنجا که مدل‌های قبلی قادر نیستند بهینه‌سازی را با چند گزینه تصمیم‌گیری و در نظر گرفتن مجموعه راندمان‌ها به‌طور همزمان انجام دهند، لذا مدل ارائه شده می‌تواند کارا باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدلی جهت ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی آبیاری نواری ارائه گردید، تا بتواند راندمان‌های پایین آبیاری نواری را بهبود بخشد. با کاربرد مدل برای داده‌های مزرعه‌ای، مشخص شد می‌توان با اصلاح متغیرهای تصمیم‌گیری، راندمان‌ها را بهبود قابل ملاحظه بخشید. نتایج بهینه‌سازی توانست راندمان کاربرد را از ۶۶٪ به ۹۰٪، نفوذ عمقی را از ۲۴٪ به ۲٪ و سه شاخص دیگر را که در ارزیابی اولیه وضعیت خوبی داشتند را در همان حدود نگاه دارد. در مرحله طراحی و ارزیابی مقایسه با SIRMOD و در مرحله بهینه‌سازی مقایسه با روش مجانب جهت حصول اطمینان از درستی پاسخ‌ها انجام شد و نتایج با یکدیگر اختلاف بسیار ناچیزی داشتند.

با مقایسه گزینه‌های در نظر گرفته شده، در گزینه سوم که وزن‌دهی مطابق با الگوی پیشنهادی است، بهترین حالت برای شاخص‌های عملکرد اتفاق می‌افتد. از طرفی زمانی‌که متغیرهای تصمیم‌گیری به‌طور همزمان بهینه‌سازی شوند، نتیجه بهتر می‌شود. این بدان شرط است که پارامترهای SA نیز در فرآیند تحلیل حساسیت بهترین ترکیب را اتخاذ نمایند. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق پیشنهاد می‌شود که به منظور داشتن دورنمایی از ابعاد و عملکرد نوار، از مدل تهیه شده استفاده شود تا بتوان راندمان‌ها را بهبود بخشید.

منابع مورد استفاده

۱. اکبری، م. ۱۳۹۰. تهیه مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای عملکرد آبیاری نواری. پایان‌نامه ارشد آبیاری و زه‌کشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲. عباسی، ف.، م. جلینی، م. معیری و ح. طائفه رضایی. ۱۳۷۸. تهیه یک مدل ریاضی برای طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی. نشریه ۱۲۲، گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۳. علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۵۱ صفحه.

۴. صالحی مقدم. پ. ۱۳۸۹. ارائه مدلی جهت ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری کرتی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۵. محسنی موحد، ا. ۱۳۸۱. تهیه مدل ریاضی بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری با استفاده از روش آنیلینگ شبیه‌سازی شده (SA) و تعیین ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی. رساله دکتری آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

٦. مدرس، م. و ا. آصف‌وزیری. ۱۳۷۹. تحقیق در عملیات، برنامه‌ریزی خطی. جلد اول، چاپ نهم، انتشارات تندر، تهران.

۷. یزدی، ز. ۱۳۸۷. تهیه یک مدل ریاضی برای طراحی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری شیاری با استفاده از مدل موازنه حجم و روش بهینه‌سازی SA. پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان.

8. McClymont, D. J., R. J. Smith and S.R. Raine. 1999. An Integrated Numerical Model for the Design And Management Of Furrow Irrigation. MODSS'99 Conference Brisbane, Australia.
9. Mudge, A. E. 1971. Value Engineering, a Systematic Approach. Mc. Graw-Hill, New York.
10. Anonymous, 2004. NRCS surface irrigation simulation, evaluation and design software user manual. NRSC National Engeering Handbook Part 623 irrigation.
11. Anonymous, 1999. SRFR software version4.06 Help index USDA. Agricultureal research service, water conservation laboratory.
12. Anonymous, 1989. Utah State University. SIRMOD- Surface Irrigation Simulation Software. Copyright by Utah State University, Logan UT.
13. Walker, W. R. and G. V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice". Prentice- Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.386pp.
14. Zerihun, D. and J. Feyen. 1999. BORDEV: Border Design-management and Evaluation manual & BASDEV: Basin Design-management and Evaluation manual. Unpublished manual. Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.

A New Mathematical Model for Optimal Design of Border Irrigation Based on Sensitivity Analysis of Weighting Coefficients of Indicators

S. A. Mohseni Movahed[1]*, M. Akbari[2] and P. Salehi Moghadam[3]

(Received : March 7-2012 ; Accepted : Sep. 8 -2012)

Abstract

As pressurized irrigation is not possible for all circumstances, the use of modern techniques in surface irrigation is essential. In this paper, BISEDOM, a new mathematical model for evaluation, design and optimization of border irrigation is introduced. The effects of weighting coefficients of indicators are investigated based on the potential to improve and the most appropriate weighting scheme in optimization process is presented. In this model, volume balance equations for hydrodynamic simulation and SA method for optimization steps are used. Due to the nature of the SA, its parameters are determined by the method of sensitivity analysis. In this model, evaluation of different combinations of decision variables (inlet flow, length, width and slope of the strip) and consequently the performance of irrigation efficiencies reagent strip in an objective function is possible. Finally, the results indicate that the proposed method for weighted indicators has significant effects on improving performance of border irrigation. Model validation results in three parts of design, evaluation and optimization in comparison with SIRMOD and asymptote method showed that the results are very close to each other. The results also indicate that the proposed model has a good efficiency in comparison with other existing models especially for optimization purposes.

Keywords: Border irrigation, BISEDOM model, SA parameters, Decision variable, Weighted coefficient.

1. Dept. of Water Eng., College of Agric. and Natur. Res., Arak Univ., Arak, Iran.
2. Dept. of Irring. and Reclam. Eng., College of Agric., and Natur. Tes., Univ. of Tehran, Tehran, Iran.
3. Dept. of Irring. and Drain. Eng., College of Agric., Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: a-movahed@araku.ac.ir