دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی
۲ خرداد ماه ۱۳۸۷

تهیه مدلی جهت ارزیابی، طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری شیاری

زهرا یزدی[۱]، سیداسدالله محسنی موحد[۲]، مجید حیدری[۳]

چکیده:

از آن جائیکه سیستم‌های آبیاری سطحی بیش از ۹۵ درصد از اراضی فاریاب جهان را تشکیل می‌دهند، لذا طراحی و مدیریت بهینه سیستم‌های آبیاری، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. آبیاری شیاری یکی از رایج‌ترین انواع روش‌های آبیاری سطحی است که اگر به درستی طراحی و اجرا شود برای زارعین یکی از بهترین روش‌ها محسوب می‌شود. اما چنانچه بخوبی اجرا نشود، موجب کاهش راندمان کاربرد، تلفات آب آبیاری، عدم یکنواختی توزیع آب و در نتیجه کاهش محصول می‌گردد. از این رو بهترین روشِ طراحی، طراحی بهینه است که در آن راندمان‌های مورد نظر بطور توأم و همزمان در ترکیبشان در یک تابع هدف بهینه شوند. این روش طراحی فقط از طریق فرآیند توأم شبیه‌سازی – بهینه‌سازی امکان‌پذیر است. بر این اساس مدلی کامپیوتری جهت ارزیابی، طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد و راندمان‌های آبیاری شیاری ارائه گردیده است، که برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان سطحی از معادله موازنه حجم و برای بهینه‌سازی از روش بهینه‌سازی SA استفاده شده است. در این مدل براساس متغیرهای تصمیم‌گیری متفاوت، طراحی بهینه پارامترهای طراحی در شرایط و محدودیت‌های واقعی طرح ارائه می‌شود. به منظور بهینه‌سازی، چهار شاخص عملکرد شامل راندمان کاربرد، راندمان آب مورد نیاز، نسبت نفوذ عمقی و نسبت پایاب در یک تابع هدف بطور توأم تعریف شده‌اند. بهینه‌سازی چنین تابع هدفی تنها با روش‌های

۱- دانشجوی سال آخر دوره کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان

Shohreh_yazdi@yahoo.com

۲- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان

movahed244@yahoo.com ، mheydari_ir@yahoo.com

۳- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان

movahed244@yahoo.com ، mheydari_ir@yahoo.com

عددی کارا میسر می‌باشد. از این‌رو در مدل ارائه شده برای اولین بار از روش بهینه‌سازی SA که یک روش عددی با ساختار تصادفی هوشمند بوده و مبتنی بر شبیه‌سازی فرآیند فیزیکی آنیلینگ می‌باشد، استفاده شده است.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی عملکرد آبیاری شیاری، روش بهینه‌سازی SA، تابع هدف، راندمان کاربرد، راندمان نیاز آبی، نسبت نفوذ عمقی، نسبت پایاب، مدل موازنه حجم

مقدمه:

جهان در حال حاضر در حال تجربه بحران آب می‌باشد. بیش از یک میلیارد نفر از مردم به آب سالم دسترسی ندارند. تا سال ۲۰۲۵ بیش از نیمی از جمعیت جهان در کشورهایی زندگی می‌کنند که بیش از ۴۰ درصد از منابع آب تجدیدشونده آن‌ها نابود شده است. با این روند پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک بسیاری از مناطق جهان آب کافی برای تولید غذا نخواهند داشت (۸). طبق برآوردهای بعمل آمده ۲۰ – ۱۵ درصد از اراضی زیرکشت دنیا بصورت آبی بوده و مقایسه‌های موجود در زمینه میزان محصولات بدست آمده از اراضی آبی و اراضی غیرآبی نشان‌دهنده تفاوت محصول در حدود ۴۰ – ۳۰ درصد می‌باشد. از این‌رو، اراضی آبی در آینده با مشکلات و مسائل متعددی مواجه هستند. یکی از اصلی‌ترین آن‌ها ، پائین بودن راندمان آبیاری می‌باشد. برآوردهای دقیق نشان داده است که حداقل ۴۰ درصد آب تأمین شده برای آبیاری اراضی در اثر نفوذ به اعماق زمین یا بصورت جریان سطحی از دسترس خارج و تلف می‌شود (۲۰).

روش‌های آبیاری سطحی تا کمی بعد از جنگ جهانی دوم رایج‌ترین شیوه آبیاری در مزارع کشاورزی بودند و علی رغم پیشرفت فن‌آوری و ابداع روش‌های قطره‌ای و بارانی، هنوز بیش از ۹۵ درصد از کل اراضی فاریاب به این طریق آبیاری می‌شوند (۲). آبیاری شیاری یکی از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری سطحی است که در اکثر نقاط جهان رواج دارد. در این روش آب روی تمام سطح خاک جریان نمی‌یابد، بلکه درون جویچه‌های باریک موسوم به فارو یا شیار محدود می‌شود که آب به تدریج در کف و کناره‌های شیار نفوذ می‌کند و خاک مرطوب می‌شود. در این روش لازم است شکل، طول شیار، فاصله بین شیارها، دبی ورودی به شیار، زمان کاربرد، شیب شیار و درجه اتوماتیک شدن مناسب باشد و مدیریت خوبی اعمال شود تا نتیجه مطلوب بدست آید (۴).

هدف اصلی ارزیابیِ سیستم‌های آبیاری شیاری تعیین شکل سیستم آبیاری و سیستم مدیریت آن و یافتن گزینه‌هایی که ممکن است در بهبود عملکرد سیستم آبیاری مؤثر و امکان‌پذیر باشد. یکی دیگر از اهداف ارزیابی تهیهِ داده‌ها و اطلاعات لازم برای بهبود بخشیدن طراحی و نیز ارائه روش‌های بهینه است. ارزیابی مزارعِ تحت آبیاری شیاری نه تنها آماری را که بوسیله آن مشکلات را می‌توان دریافت، بلکه اطلاعات لازم برای دستیابی به سطوح بالای مدیریت و کنترل را در اختیار می‌گذارد (۷ و ۲۰). ارزیابی ممکن است نشان

دهد که برای دست یافتن به راندمان و یکنواختی بالاتر نیاز است جریان و مدت زمان جریان در ابتدای زمین کاهش یابد یا برای بهبود عملکرد نیاز است شکل، اندازه و توپوگرافی زمین تغییر کند و شاید ترکیبی از چندین روش بهبود نیاز باشد(۲۱). یکی از مهم‌ترین مسائلی که از ارزیابی مزرعه‌ای حاصل می‌شود، تعیین پارامتر نفوذ متوسط برای مزرعه است که معمولا"از اندازه‌گیری سرعت پیشروی استنتاج می‌شود و سپس محاسبه راندمان‌ها و یکنواختی آبیاری می‌باشد(۷).

نفوذ[1]، مهم‌ترین فاکتور مؤثر در آبیاری سطحی است که به نوع خاک، شرایط سطح آن، فرصت زمان نفوذ و عوامل دیگر بستگی دارد (۱۳). نفوذ برحسب تعریف عبارت است از وارد شدن آب از سطح زمین به داخل خاک که یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر در آبیاری سطحی و نیز یکی از مشکل‌ترین پارامترهایی است که باید بطور دقیق در مزرعه تعیین گردد، بخصوص این‌که خصوصیات نفوذ نسبت به زمان و مکان متغیر می‌باشد. در آبیاری شیاری، جریان نفوذ آب در خاک دو بعدی است و تعیین عمق آب نفوذ یافته در شیارها، به دلائل متعدد از جمله تغییر در سطح تماس آب با خاک، اثر شیارهای مجاور، شکل هندسی شیارها و عوامل دیگر پیچیدگی بیشتری دارد. به عبارت دیگر، نفوذ آب در شیارها فقط تابعی از فرصت زمان نفوذ نیست، بلکه به اندازه و خصوصیات سطحی که نفوذ از آن صورت می‌گیرد نیز بستگی دارد (۱۳ و ۱۹). کریستیانسن و همکاران (۱۹۶۶) استفاده از مدل موازنه حجم را برای تعیین ضرائب معادله لوئیس – کوستیاکف بیان کردند. فانگمیر و رمزی (۱۹۷۸) نیز با استفاده از روش موازنه حجم در شیارهای دقیق، ضرائب معادله نفوذ لوئیس – کوستیاکف را تعیین کردند. همچنین الیوت و واکر (۱۹۸۲) بیان کردند که شاید بهترین و مؤثرترین روش ارزیابی براساس اندازه‌گیری سرعت پیشروی – سطح مقطع هیدرولیکی و میزان پایاب باشد.

از جمله عواملی که در اجرا یا مدیریت یک سیستم آبیاری در نظر گرفته می‌شود، راندمان و یکنواختی آن می‌باشد. این عوامل به روش‌های مختلف توصیف و تعیین می‌گردند. بطور کلی مناسب بودن یک سیستم آبیاری به میزان ذخیره آب در اطراف ریشه گیاه و میزان تلفات مربوط به نفوذ عمقی آب و میزان تلفات مربوط به رواناب و یکنواختی توزیع آب و سایر عوامل بستگی دارد (۲۰ و ۲۱).

یکی از رایج‌ترین پارامترها در ارزیابی عملکرد یک سیستم آبیاری، راندمان است. برحسب تعریف راندمان آبیاری، نسبتِ مقدار آب لازم برای هدف خاص بر کل آب تحویل داده شده در پهنه مورد نظر می‌باشد(۱۵). در این راستا آن مقدار از آب تحویل داده شده که به مصرف مورد نظر نمی‌رسد تلفات محسوب می‌شود. بدیهی است که برای افزایش راندمان در محدوده مورد نظر، لازم است تلفات آب شناسایی و به حداقل رسانده شوند (۱). کاهش تلفات و افزایش بازده آبیاری یکی از گام‌های اساسی در توسعه کشاورزی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب و خاک به حساب می‌آید. با توجه به این‌که نیاز آبیاری مستقیما" به راندمان آبیاری مرتبط می‌شود، بنابراین پیش‌بینی راندمان آبیاری حائز اهمیت است. در

1- Infiltration

طراحی، مدیریت و بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری مشکل اساسی در تصمیم‌گیری مقدار راندمان آبیاری می‌باشد (۳).

یک سیستم آبیاری بایستی رطوبت منطقه ریشه گیاه را به اندازه کافی و یکنواخت تأمین نماید، به طوری‌که از ایجاد هرگونه تنش برای گیاه پیشگیری گردیده و باعث صرفه‌جویی انرژی، آب، مواد غذایی گیاهی و کارگر شود. از این رو هدف از روش‌های طراحی تأمین آب مورد نیاز گیاه بوده و تقریبا" معادل میزان جذب رطوبت خاک توسط گیاه می‌باشد. بنابراین، حداکثر راندمان کاربرد وقتی حاصل می‌شود که مناطقی که کمترین مقدار آب را دریافت داشته‌اند به اندازه کافی پر شود، همچنین نفوذ عمقی بایستی از طریق کاهش زمان نفوذ و تنظیم زمان قطع جریان آب به حداقل رسیده و رواناب سطحی بایستی کنترل شده و یا مجدداً مورد استفاده قرار گیرد (۷ و ۲۰).

عمدتاً چهار معیار کمی که استاندارد عملکرد آبیاری سطحی را بیان می‌کنند عبارتند از: راندمان کاربرد آب، نسبت نفوذ عمقی، نسبت پایاب و راندمان نیاز آبی (۷).

برای طراحی بهینه آبیاری شیاری در اغلب مدل‌ها به علت سهولت در محاسبات و برنامه‌نویسی فقط یک راندمان را در نظر گرفته و پارامترهای طراحی را بدست می‌آورند که یکی از اِشکالات این مدل‌ها به حساب می‌آید. در صورتی‌که هارت و همکاران (۱۹۷۹) نشان دادند که سه ترم راندمان و یک ترم یکنواختی توزیع نیاز است تا کارکرد هیدرولیکی یک سیستم آبیاری کاملا" تشریح شود.

در حال حاضر بسته نرم‌افزاری که بتواند طراحی بهینه روش‌های آبیاری شیاری را براساس بهینه‌سازی توأم چهار معیار استاندارد عملکرد آبیاری شیاری و با حالت‌های مختلفی از متغیرهای تصمیم‌گیری انجام دهد، ارائه نشده است. از آن‌جایی‌که راندمان‌های فوق بعضا" با هم رقیب بوده و روی یکدیگر تأثیر متقابل دارند و از طرفی پارامترهای مربوط به آن‌ها غالبا" به هم وابسته هستند، برای بهینه‌سازی توأم آن‌ها بهتر و ساده‌تر است که ترکیب خطی این راندمان‌ها را در یک تابع هدف بهینه نمود. گرچه تابع‌هدف[1]، ترکیبی خطی از راندمان‌ها است ولی اگر راندمان‌ها برحسب پارامترهایشان مرتب شوند، آنگاه ملاحظه خواهد شد که تابع‌هدف تابعی پیچیده، چند متغیره و غیرخطی خواهد بود که برای بهینه‌سازی آن نمی‌توان از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی استفاده کرد و یا اینکه بسیار دشوار خواهد بود، لذا بایستی از روش عددی بهینه‌سازی سودجست.

از این‌رو در این تحقیق از برای اولین بار از روش آنیلینگ شبیه‌سازی شده[2] که یک روش بهینه‌سازی[3] عددی با ساختار تصادفی هوشمند و برمبنای مکانیک آماری و قیاس با فرآیند فیزیکی آنیلینگ شبیه‌سازی شده، استفاده شده است. این روش اولین بار توسط متروپولیس و همکاران (۱۹۵۳) مطرح شد. بعدها کرک پاتریک و همکاران (۱۹۸۳) و متعاقبا" سرنی (۱۹۸۵) بطور مستقل دریافتند که می‌توان از این ایده برای

1- Fitness Function
2- Simulated Annealing
3- Optimization

مسائل بهینه‌سازی ترکیبی سود جست و بر این اساس روش آنیلینگ شبیه‌سازی شده را پایه‌گذاری نمودند.

هدف از این تحقیق ارائه مدلی است جهت ارزیابی، طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری شیاری که به منظور آزمون کارآئی مدل ارائه شده، شیاری در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان احداث و آزمایشات لازم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها:

از آن‌جائیکه آبیاری شیاری یکی از رایج‌ترین انواع روش‌های آبیاری سطحی است که اگر به درستی طراحی و اجرا شود برای زارعین یکی از بهترین روش‌ها محسوب می‌شود. اما چنانچه بخوبی اجرا نشود، موجب کاهش راندمان کاربرد، تلفات آب آبیاری، عدم یکنواختی توزیع آب و در نتیجه کاهش محصول می‌گردد. از این رو بهترین روشِ طراحی، طراحی بهینه است که در آن راندمان‌های مورد نظرکه شامل راندمان کاربرد، نسبت نفوذ عمقی، نسبت پایاب و راندمان نیاز آبی می‌شوند، بطور توأم و همزمان در ترکیبشان در یک تابع هدف بهینه شوند. این روش طراحی فقط از طریق فرآیند توأم شبیه‌سازی– بهینه‌سازی امکان‌پذیر است. بر این اساس مدلی کامپیوتری جهت ارزیابی، طراحی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد و راندمان‌های آبیاری شیاری ارائه گردیده است که برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان سطحی از معادله موازنه حجم و برای بهینه‌سازی از روش بهینه‌سازی SA استفاده شده است.

در این تحقیق سعی شده است با ارزیابی سیستم‌های آبیاری شیاری، عملکرد سیستم تعیین شود و در صورتی‌که سیستم آبیاری مورد نظر از عملکرد پائینی برخوردار باشد، اصلاحاتی برای ارتقاء عملکرد صورت گیرد. برای اصلاح سیستم می‌توان از بخش طراحی به صورت سعی و خطا و یا از بخش بهینه‌سازی به منظور طراحی بهینه متغیرهای طراحی استفاده نمود. لذا مدل ارائه شده به منظور بالا بردن عملکرد سیستم آبیاری شیاری از فرآیند توأم شبیه‌سازی – بهینه‌سازی استفاده می‌کند.

مدل ارائه شده، مدلی است تحت عنوان مدل ارزیابی، طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آبیاری شیاری، که به زبان برنامه‌نویسی فرترن ۷۷ تحت نرم افزار Fortran Powerstation 4.0 تحت ویندوز XP نوشته و اجرا شده است. این مدل جهت ارزیابی، طراحی و همچنین بهینه‌سازی عملکرد آبیاری شیاری با جریان ثابت، بدون کاهش دبی و استفاده مجدد از هرزآب پایاب تهیه و ارائه شده است که شامل سه بخش مجزای ارزیابی، طراحی و بهینه‌سازی می‌باشد.

از آن‌جائیکه اغلب سیستم‌های آبیاری شیاری دارای عملکرد پائین هستند، لذا ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری می‌تواند اولین قدم در راه بهبود این سیستم‌ها باشد. با انجام ارزیابی یک سیستم آبیاری شیاری می‌توان اشکالات طراحی، اجرا و مدیریتی سیستم را مشخص نمود و سپس راه‌کارهای لازم جهت ارتقاء عملکرد و بازده سیستم را اعمال نمود. از این‌رو در تحقیق حاضر جهت تعیین معادله نفوذ

لوئیس – کوستیاکف در درجه اول و همچنین تعیین عملکرد سیستم آبیاری که شامل راندمان‌های آبیاری می‌شود، بخشی از مدل جهت ارزیابی سیستم آبیاری شیاری بکار برده شده است. در بخش ارزیابی، مدل با استفاده از یک سری داده‌های ورودی که از اطلاعات صحرایی بدست می‌آید ارزیابی را انجام می‌دهد و در نهایت داده‌های خروجی را در قالب راندمان کاربرد، نسبت نفوذ عمقی، نسبت پایاب و راندمان نیاز آبی نمایش می‌دهد. در این بخش با دادن داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای کاربر می‌تواند معادله نفوذ لوئیس – کوستیاکف را تعیین و سپس عملکرد سیستم موجود را ارزیابی کند و در صورت نیاز با انجام یک سری اصلاحات در سیستم آبیاری شیاری نظیر اصلاح طول شیار، دبی ورودی به شیار و همچنین زمان قطع آبیاری، وضع سیستم موجود را بهبود دهد و یا با طراحی و مدیریت جدیدی عملکرد سیستم آبیاری مورد نظر را ارتقاء بخشد.

بخش طراحیِ مدل ارائه شده بر این فرض استوار است که هدف از آبیاری، بکار بردن عمق آبی معادلِ کمبود رطوبت خاک در سرتاسر طول شیار است. بنابراین، حداکثر راندمان کاربرد وقتی حاصل می‌شود که مناطقی که کمترین مقدار آب را دریافت داشته‌اند به اندازه کافی پر شوند. در مدل ارائه شده، طراحی شیار برای سیستم‌های شیاری بدون کاهش دبی یا امکانات استفاده مجدد از پایاب انجام می‌شود و طراحی سیستم به گونه‌ای است که آب در انتهای پایین دست شیار به اندازه عمق آب مورد نیاز نفوذ کند و آبیاری کامل صورت گیرد. در این بخش کاربر می‌تواند بصورت سعی و خطا با دادن پارامترهای متفاوت و نیز با در نظر گرفتن بهترین راندمان‌ها به ازاء تعداد مجموعه‌های بدست آمده برای آن پارامترها، طراحی بهینه را با توجه به دبی‌های جریان و زمان‌های قطع آب در شیار انتخاب کند.

همچنین در این تحقیق جهت بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم‌گیری از روش بهینه‌سازی SA استفاده شده است. روش SA براساس یک ساختار همسایگی از جواب جاری به یکی از جواب‌های نزدیک به آن حرکت می‌کند و با شروع از یک جواب اولیه برای متغیرهای تصمیم‌گیری(دبی کل سیستم و طول شیار)، جواب جدید S' در همسایگی جواب فعلی S بطور تصادفی ایجاد می‌شود. برای تولید جواب‌های اولیه ومجاور از یک الگوریتم تولید اعداد تصادفی یکنواخت و در فضای امکان‌پذیر استفاده می‌شود. هر گزینه تصادفی که در مجاورت جواب قبلی تولید می‌شود باید قیدهای مسأله (روابط ۸ و ۹) را ارضا کند، در غیر این صورت گزینه دیگری به صورت تصادفی تولید می‌شود. سپس تغییر در مقدار تابع هدف $D = FF(S') - FF(S)$ محاسبه می‌شود. در کمینه‌سازی تابع هدف، در صورتی که $D \leq 0$ باشد S' جایگزین S می‌شود (حرکت نزولی)، ولی اگر $D > 0$ باشد انتقال به جواب جدید (حرکت رو به بالا) با احتمال بولتزمن $\exp(-\frac{D}{T \times K_b})$ پذیرفته می‌شود که در آن T یک پارامتر کنترلی است که معادل با دما در فرآیند شبیه-سازی شده می‌باشد و K_b ثابت بولتزمن[1] می‌باشد (۱۰ و ۱۶). این عملیات به اندازه طول دوره در یک درجه حرارت تکرار می‌شود. دما نیز در حین ادامه عملیات توسط یک تابع سرد کردن به تدریج سرد

1- Boltzman Constant

می‌شود، تا این‌که شرط توقف مورد نظر برقرار گردد. باید توجه داشت که شرط توقف طوری انتخاب شود که انتقال‌های کافی برای نیل به همگرائی و اطمینان از جواب‌های با کیفیت بالا فراهم شود.

در طول اجرای الگوریتم SA باید توجه داشت که جواب‌های بهتر ذخیره شوند زیرا در حرکت‌های رو به بالا بعضی از جواب‌های بد نیز پذیرفته می‌شوند. در الگوریتم SA جواب‌های بدتر که همان انتقال‌های رو به بالا است با احتمال $p = \exp(\frac{-D}{T}) > R$ پذیرفته می‌شوند، که R یک عدد تصادفی یکنواخت بین صفر و یک است. با کاهش مرحله به مرحله T احتمال پذیرش جواب‌های بد (حرکت‌های رو به بالا) کاهش می‌یابد. در حرکت‌های رو به بالا این توانائی برای SA بوجود می‌آید که برای جستجوی کمینه سراسری از دام نقاط کمینه محلی خارج شود (۵ و ۶). الگوریتم SA نسبت به پارامترهایش حساس می‌باشد و تعیین پارامترهائی که جواب‌های مناسبی را ایجاد نمایند بسیار مهم است (۲۲). از این‌رو بایستی بهترین ترکیب آن‌ها مطابق با روش‌های توصیه شده در منبع (۵) تعیین و سپس در اجرای نهائی مورد استفاده قرار گیرد.

در بخش بهینه‌سازی، طراحی سیستم آبیاری شیاری براساس بهینه‌سازی انجام می‌گیرد و پارامترهای بهینه طراحی از بین تولید شده‌ها انتخاب می‌شوند. در طراحی سیستم‌های آبیاری شیاری می‌توان ترکیب مناسبی از شاخص‌های عملکرد را در یک تابع هدف در مقایسه با سطح ایده‌آل شاخص‌ها با رعایت انواع قیدها و محدودیت‌های موجود فیزیکی و مدیریتی و بطور کلی شرایط واقعی طراحی، بهینه کرده و راه کارهای بهبود را استخراج نمود. مدل بهینه‌سازی مورد نظر شامل چند زیر برنامه است که تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در آن‌ها متفاوت است. در هر سابروتین ممکن است ترکیبی از متغیرهای تصمیم‌گیریِ دبی کل سیستم و طول شیار بهینه شوند. این انعطاف‌پذیری به کاربر این امکان را می‌دهد تا متغیرهای تصمیم‌گیری مورد نظر را انتخاب نماید و از این رو مدل ارائه شده می‌تواند کاربرد وسیعی در طراحی بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری داشته باشد.

تابع هدف مورد استفاده در این تحقیق از ترکیب توأم توابع هدفی بدست می‌آید که عبارتند از: راندمان کاربرد آبیاری (E_a)، نسبت نفوذ عمقی (DPR)، نسبت رواناب پایاب (TWR) و راندمان آب مورد نیاز یا کفایت آبیاری (E_r) در آبیاری شیاری.

مقدار ایده‌آل شاخص‌های راندمان کاربرد و راندمان آب مورد نیاز برابر ۱ و مقدار ایده‌آل شاخص‌های نسبت نفوذ عمقی و نسبت رواناب پایاب برابر صفر است. بنابراین براساس مبانی تئوری بهینه‌سازی، تابع هدفی که در شکل کمینه‌سازی بتواند مجموعه شاخص‌های فوق را بهینه کند، بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Min } FF = (1 - E_a) + (1 - E_r) + DPR + TWR \qquad (۱)$$

این معادله ساده‌ترین شکل ترکیب شاخص‌ها (ترکیب خطی) در یک تابع هدف کل است. در این تحقیق به دلیل سادگی شکل تابع هدف از شکل خطی استفاده شده است. رابطه‌ای که برای تابع هدف در این تحقیق

ارائه شده است یک تابع چند هدفی می‌باشد که هر یک از جملات آن یک تابع هدف بوده و از ترکیب خطی آن‌ها به صورت مزبور تابع هدف کل حاصل می‌شود. هر کدام از توابع هدف که همان شاخص‌های عملکرد هستند به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- راندمان کاربرد E_a:

$$E_a = \frac{Z_{req} L}{Q_0 t_{co}} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن:

Z_{req}: عمق آب مورد نیاز در شیار برحسب متر مکعب بر متر

L: طول شیار برحسب متر

Q_0: دبی جریان ورودی برحسب متر مکعب در دقیقه

t_{co}: زمان قطع آبیاری برحسب دقیقه

- نسبت نفوذ عمقی DPR:

$$DPR = \frac{V_z - Z_{req} L}{Q_0 t_{co}} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن:

V_z: حجم کل آب نفوذ کرده در شیار برحسب متر مکعب

حجم کل آب نفوذ کرده در شیار با فرض این‌که مرطوب شدن جانبی بین شیارها بطور یکنواخت رخ دهد و زمان پسروی سبب افزایش فرصت زمان نفوذ در طول شیار نشود، با استفاده از قانون ذوزنقه‌ای بدست می‌آید:

$$V_z = \frac{L}{2n}(Z_0 + 2Z_1 + 2Z_2 + \ldots + Z_n) \qquad (۴)$$

که در آن:

Z_i: نفوذ تجمعی در نقطه i ام برحسب متر مکعب بر متر

n: تعداد تقسیمات شیار

مقادیر نفوذ تجمعی را می‌توان از رابطه‌ای که در زیر به آن اشاره شده بدست آورد:

$$Z_i = K[t_r - (t_a)_i]^a + f_0[t_r - (t_a)_i] \quad (۵)$$

که در آن:

t_r: زمان پسروی برحسب دقیقه که در بسیاری موارد با صرف‌نظر کردن از زمان پسروی، از زمان قطع آبیاری استفاده می‌شود

- **نسبت پایاب** TWR:

$$TWR = 100 - E_a - DPR \quad (۶)$$

- **راندمان آب مورد نیاز** E_r:

$$E_r = \frac{Z_{req}\, L}{Z_{req}\, L} \times 100 = 100\,\% \quad (۷)$$

متغیرهای تصمیم‌گیری در تابع هدف مورد نظر عبارتند از: دبی کل سیستم آبیاری (Q_T)، طول شیار (L) که محدودیت‌ها و قیدهای آن‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{حداقل مجاز} \leq (Q_T) \leq \text{حداکثر مجاز} \quad (۸)$$

$$\text{حداقل مجاز} \leq (L) \leq \text{حداکثر مجاز} \quad (۹)$$

در ادامه کار به‌منظور اجرای مدل ارائه شده در بخش بهینه‌سازی، یک شیاری آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا احداث و آزمایشات لازم بر روی آن انجام گرفت. طول شیار مورد آزمایش ۳۵ متر، با عرض شیار ۰/۵ متر و شیب ۰/۶ درصد در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری زمان‌های پیشروی و پسروی در طول شیار، ایستگاه‌هایی به فواصل ۷ متری توسط میخ چوبی مشخص و علامت‌گذاری شدند. از آن‌جائیکه در شیار، زراعتی صورت نگرفته بود، بنابر پیشنهادات ضریب زبری مانینگ ۰/۰۴ در نظر گرفته شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی به شیار از پارشال فلوم در ابتدا و انتهای شیار استفاده گردید. در ابتدای شیار برای ثابت نگه داشتن جریان ورودی به شیار از یک منبع آب با تراز ثابت استفاده گردید و در ادامه آب بعد از خروج از منبع به پارشال فلوم واقع ابتدای شیار هدایت شد. همچنین جهت تعیین هیدروگراف خروجی از یک پارشال فلوم در انتهای

شیار استفاده گردید. مشخصات شیار و جریان آب ورودی به شیارِ مورد آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیار و جریان آب ورودی و خروجی از شیار به منظور ارزیابی

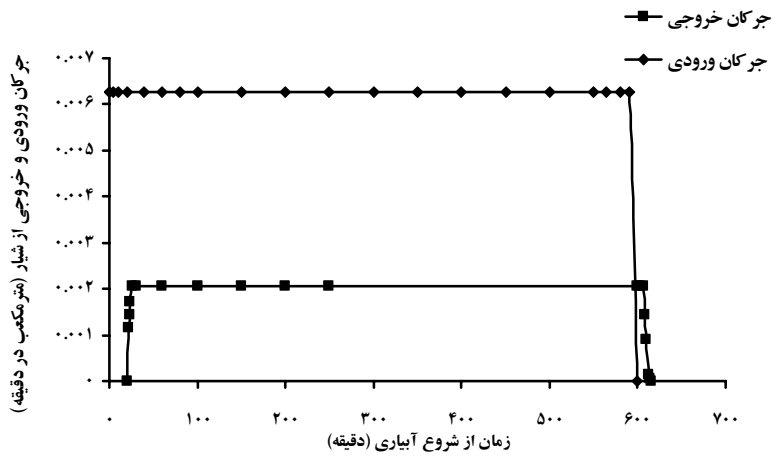
طول شیار (m)	فاصله شیارها (m)	شیب طولی شیار (٪)	عمق آب مورد نیاز (cm)	دبی ورودی به شیار (m^3/min)	دبی خروجی از شیار (m^3/min)
۳۵	۰/۵	۰/۶	۱۰	۰/۰۰۶۲۶	۰/۰۰۲۰۵۴

از آن‌جائیکه ضرایب معادله نفوذ برای شیار مورد نظر در دست نبود، در ابتدا یک ارزیابی اولیه برای تعیین ضرایب معادله نفوذ لوئیس - کوستیاکف انجام گرفت که از روش ارزیابی براساس اندازه‌گیری سرعت پیشروی - سطح مقطع هیدرولیکی و میزان پایاب به همراه روش دو نقطه‌ای استفاده گردید. برای این منظور با یک دبی ثابت حدوداً ۰/۱ لیتر بر ثانیه آبیاری شیاری آغاز شد. سپس زمان‌های پیشروی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری یادداشت و بعد از رسیدن آب به انتهای شیار برای پارشال فلوم خروجی نیز اعداد مربوط به اشل تا پایان قطع جریان آب از انتهای شیار یادداشت شد. یادداشت برداری از پارشال فلوم‌ها تا به صفر رسیدن مقدار دبی ورودی و خروجی در شیار ادامه یافت و در آخر زمان ناپدید شدن آب یا پسروی در هر ایستگاه نیز ثبت شد. بعد از اتمام عملیات آبیاری، سطح مقطع عرضی جریان به منظور تعیین محیط خیس شده و نیز تعیین سطح مقطع عرضی شیار مورد آزمایش از روی داغاب و با استفاده از مقطع سنج شیار اندازه‌گیری شد.

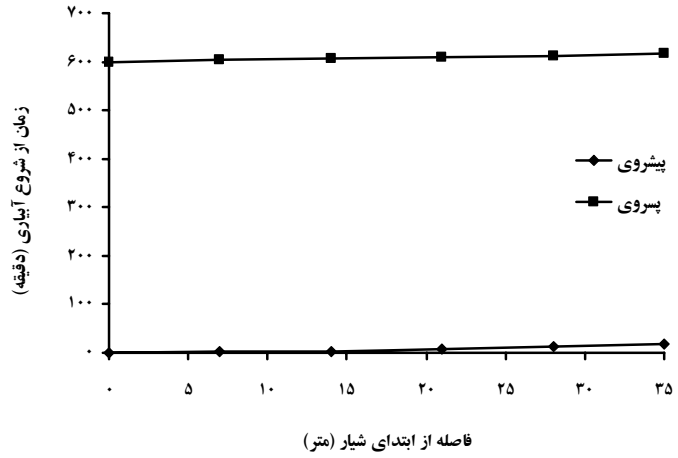
سپس به منظور تعیین ضرایب معادله نفوذ لوئیس – کوستیاکف، پارامترهای اندازه‌گیری شده از آزمایش صحرایی به بخش ارزیابی مدل مورد نظر وارد شدند و در نهایت معادله نفوذ لوئیس – کوستیاکف به صورت زیر بدست آمد:

$$Z = 0/0001749\, t^{0.6760038} + 0.0001203\, t \qquad (۱۰)$$

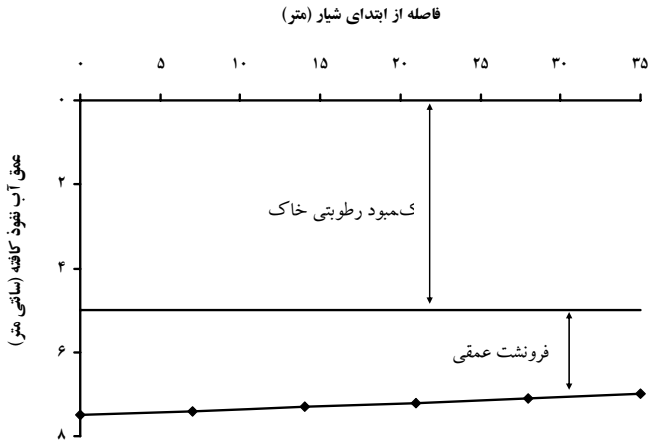
نمودارهای مربوط به هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی، پیشروی و پسروی در ارزیابی اولیه به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) آورده شده است. همچنین توزیع رطوبت تحت الارضی در ارزیابی اولیه که بوسیله اگر زدن مشاهده گردید در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۱- هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی از شیار در ارزیابی اولیه برای تعیین معادله نفوذ



شکل ۲- نمودارهای پیشروی و پسروی شیار در ارزیابی اولیه برای تعیین معادله نفوذ



شکل ۳- توزیع رطوبت تحت الارضی در طول شیار در ارزیابی اولیه برای تعیین معادله نفوذ

بعد از بدست آمدن ضرایب معادله نفوذ لوئیس – کوستیاکف از ارزیابی اولیه راندمان‌های مورد نظر به ازاء آن در ارزیابی اولیه حاصل شدند که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- راندمان‌های آبیاری در عملکرد آبیاری شیاری در ارزیابی اولیه

راندمان آب مورد نیاز E_r (٪)	نسبت رواناب پایاب TWR (٪)	نسبت نفوذ عمقی DPR (٪)	راندمان کاربرد E_a (٪)
۱۰۰/۰	۳۲/۱۳	۲۱/۳۰	۴۶/۵۶۶

در مرحله بعد ضرایب معادله نفوذ بدست آمده از مرحله ارزیابی در بخش بهینه‌سازی مدل وارد می‌شوند. در این مرحله با انتخاب متغیرهای تصمیم‌گیری طول شیار و دبی کل ورودی به سیستم جهت بهینه‌سازی از سابروتین مربوط به آن استفاده گردید. در ابتدا محدوده قیدهای مورد نظر برای متغیرهای تصمیم‌گیری طول و دبی به همراه مشخصات طراحی در بخش ورودی مدل وارد شدند.

بدین منظور مدل بهینه‌سازی جهت طراحی شیار مورد نظر با توجه به مشخصات طراحی و متغیرهای تصمیم‌گیری دبی کل سیستم و طول شیار ارائه شده در جدول (۳) به صورت بهینه طراحی و مدیریت گردید، تا توانائی مدل بهینه‌سازی را در بهبود عملکردهای سیستم آبیاری نشان دهد. برای ضرایب معادله نفوذ لوئیس – کوستیاکف از داده‌های ارزیابی که در بالا به آن اشاره شد، استفاده گردیده است.

جدول ۳- مشخصات شیار، محدوده دبی سیستم و طول شیار به منظور طراحی بهینه سیستم آبیاری

محدوده طول شیار				محدوده دبی کل سیستم					
L_{max} (m)	L_{min} (m)	W_f (m)	W (m)	QT_{max} (m^3/min)	QT_{min} (m^3/min)	V_{max} (m/min)	D_i (cm)	S_0 (%)	Tco_{max} (hr)
۳۵	۲۰	۵۰۰	۰/۵	۶	۱	۶	۱۰	۰/۶	۱۵

نتایج و بحث:

در ادامه با دادن تمام ورودی‌های مورد نیاز در بخش بهینه‌سازی، تحلیل حساسیت جهت تعیین پارامترهای SA انجام گرفت. بعد از تحلیل حساسیت پارامترهای الگوریتم SA نتایج بدست آمده گزارش می‌شود. نتایج بهینه‌سازی برای شرایط موجود و مشخصات مورد نظر به منظور طراحی آبیاری شیاری در فایل خروجی مربوط به بهینه‌سازی طول و دبی کل سیستم گزارش می‌شود. نتایج بهینه‌سازی شامل دبی ورودی بهینه به شیار، طول بهینه شیار، زمان پیشروی، زمان قطع، شاخص‌ها و تابع هدف در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج به دست آمده از بخش بهینه‌سازی مدل

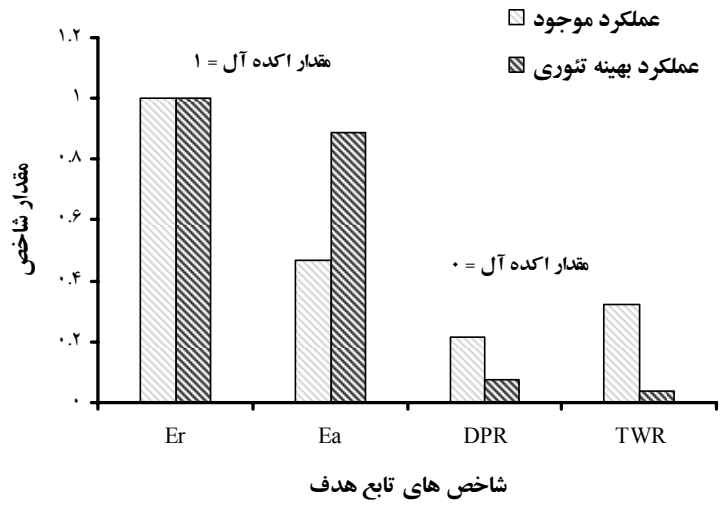
راندمان آب مورد نیاز (٪)	نسبت رواناب پایاب (٪)	نسبت نفوذ عمقی (٪)	راندمان کاربرد (٪)	فرصت زمان نفوذ (min)	زمان پیشروی (min)	طول شیار (m)	دبی ورودی به شیار (m^3/min)
۱۰۰	۳/۷۶۹	۷/۶۰۷	۸۸/۶۲۴	۳۴۱	۴۱	۲۳	۰/۰۰۳۴

نتایج بدست آمده از بخش بهینه‌سازی مدل بیانگر این است که طول شیار مورد نظر باید از ۳۵ متر به ۲۳ متر و دبی ورودی به شیار از ۰/۰۰۶۲۶ مترمکعب در دقیقه باید به ۰/۰۰۳۴ مترمکعب در دقیقه کاهش یابد تا عملکرد سیستم آبیاری شیاری درحد قابل ملاحظه‌ای ارتقاء یابد. خلاصه نتایج بدست آمده از عملکرد موجود و عملکرد بهینه در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵- خلاصه نتایج از عملکرد موجود سیستم با عملکرد بهینه تئوری بدست آمده از مدل

تابع هدف (۰ = مقدار ایده‌آل)			نسبت رواناب پایاب (۰ = مقدار ایده‌آل)			نسبت نفوذ عمقی (۰ = مقدار ایده‌آل)			راندمان کاربرد (۱ = مقدار ایده‌آل)			راندمان آب مورد نیاز (۱ = مقدار ایده‌آل)		
درصد بهبود	عملکرد بهینه تئوری	عملکرد موجود	درصد بهبود	عملکرد بهینه تئوری	عملکرد موجود	درصد بهبود	عملکرد بهینه تئوری	عملکرد موجود	درصد بهبود	عملکرد بهینه تئوری	عملکرد موجود	درصد بهبود	عملکرد بهینه تئوری	عملکرد موجود
۷۹/۰۵	۰/۲۲۷۵۷	۱/۰۸۶۸	۸۸/۲۶	۰/۰۳۷۶۹	۰/۳۲۱	۶۷/۰۶	۰/۰۷۶۰۸	۰/۲۳۱	۹۰/۲۹	۰/۸۸۶۲	۰/۴۶۵۷	۰	۱	۱

همچنین مقایسه شاخص‌های عملکرد در حالت موجود و عملکرد بهینه تئوری در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- مقایسه شاخص‌های عملکرد در حالت موجود و عملکرد بهینه تئوری

در شکل (۴) ملاحظه می‌شود که شاخص‌های عملکرد بهینه تئوری بدست آمده از بخش بهینه‌سازی مدل بهبود قابل توجهی نسبت به عملکرد موجود سیستم آبیاری شیاری داشته است. بنابراین نتایج بدست آمده نشان دهنده توانایی مدل ارائه شده در طراحی بهینه متغیرهای سیستم آبیاری شیاری است.

با توجه به نتایج بدست آمده، نتیجه گرفته می‌شود که با طراحی و مدیریت بهینه سیستم‌های آبیاری شیاری و همچنین در نظرگرفتن شاخص‌ها و متغیرهای تصمیم‌گیری مختلف می‌توان راندمان آبیاری شیاری درحد سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای البته با کمترین هزینه ممکن ارتقاء داد.

همچنین نتیجه گرفته می‌شود، مناسب‌ترین شاخص‌های عملکرد در طراحی بهینه سیستم‌های آبیاری شیاری شاخص‌هائی هستند که بتوانند بخوبی منعکس کننده اهداف و معیارهائی طراحی باشند نظیر راندمان کاربرد آبیاری، نسبت نفوذ عمقی، نسبت رواناب پایاب و راندمان آب مورد نیاز، که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند.

تشکر و قدردانی:

با تشکر از اساتید محترم گروه آبیاری که تمام آموخته‌های دوره کارشناسی و کارشناسی‌ارشد خود را مدیون ایشان می‌باشم. همچنین در این‌جا لازم می‌دانم که از زحمات اساتید و کادر محترم دانشکده کشاورزی، بخصوص گروه محترم مهندسی آبیاریِ دانشگاه بوعلی سینا همدان که در انجام این تحقیق اینجانب را مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

منابع و مراجع:

۱. پارسی‌نژاد، مسعود. یزدانی، محمدرضا و رضوی‌پور، تیمور.(۱۳۸۲). «*نگرشی واقعی به راندمان کاربرد آب در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی-شبکه آبیاری سپیدرود گیلان)*». مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.ص ۱۱۱-۱۲۰.

۲. حقایقی مقدم، ابوالقاسم ، توحیدلو ، قاسم و صدرقاین، حسین.(۱۳۸۲). «*بررسی کارایی مصرف آب و عملکرد محصول چغندر در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی*». مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران .تهران، ص ۲۴۷-۲۶۰.

۳. شماعی، غلامرضا. موسوی، سید فرهاد. مصطفی‌زاده، بهروز.(۱۳۷۵). «*ارزیابی راندمان‌های سیستم آبیاری شیاری در اراضی یکپارچه و پراکنده استان چهارمحال و بختیاری*». مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران . تهران.

۴. علیزاده، امین. (۱۳۸۱). «*طراحی سیستم‌های آبیاری*». انتشارات آستان قدس رضوی . ۶۵۵ صفحه.

۵. محسنی موحد، سید اسدالله. (۱۳۸۱). «*تهیه مدل ریاضی بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری با استفاده از روش آنیلینگ شبیه سازی شده (SA) و تعیین ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی*». رساله دوره دکتری آبیاری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۶. محسنی موحد، سید اسدالله. منعم، محمد جواد.(۱۳۸۶). «*معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری*» .مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان. سال یازدهم، شماره چهلم(الف) . صفحه ۱۳-۲۵.

۷. مصطفی زاده، بهروز. موسوی، سید فرهاد. (۱۳۸۵). «*آبیاری سطحی:تئوری و عمل*». (تألیف دبلیو. آر. واکر و گ. و. اسکوگربو). انتشارات کنکاش، اصفهان، ۵۸۲ صفحه.

۸. میرئی، محمدحسین. فرشی، علی‌اصغر. (۱۳۸۲). «*چگونگی مصرف و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی*». مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ص۲۰۳-۲۱۳.

9. Cerny, V. (1985). " *Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm*".Journal of Optimization Theory and Applications , 45: 41-51.
10. Chinneck, J. W. (2006). "*Practical Optimization: a Gentle Introduction*" Chapter 14 In: *Heuristics for Discrete Search: Genetic Algorithms and Simulated Annealing*.
11. Christiansen, J. E., Bishop, A. A., Kiefer, F. W.,Jr. and Fok, Y. S. (1966). "*Evaluation of Intake Rate Constants to Advance of Water in Surface Irrigation*". Trans. ASAE 9(5):671-674.
12. Elliott, R. L and Walker, W. R. (1982). "*Field evaluation of furrow infiltration and advance functions*". Trans. ASAE. 25(2):396-400.
13. Fangmeier, D. D. and Ramsey, M. K. (1978). "*Intake characteristics in irrigation furrows*" .Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. ASAE. 21(4): 697-705.
14. Hart, W. E,. Peri, E. G. and Skogerboe, G. V. (1979). "*Irrigation Performance: An Evaluation*" .Journal of Irrigation and Drainage Engineering .ASCE. Div. 105(IR3):275-288.
15. Jensen, M. E. (1980). "*The role of irrigation in food and fiber production. In Design and operation of farm irrigation systems*", ed. M. E. Jensen. Michigan: The American Society of Agricultural Engineers. p15–41.
16. Johnson,D.S., Aragon,C.R., McGeoh,L. A. and Schevon, C. (1989). "*Ptimization by simulated annealing: an experimental evaluation*".part I, Operations Research, 37:865-892.
17. Kirkpatrick, S. Gelatt, C.D Jr. and Vecchi, M. P. (1983). " *Optimization by simulated annealing* " . Science, 220(4598): 671-680.
18. Metropolise, N. Rosenbluth, A. Teller, A. and Teller, E. (1953). " *Equation of state calculations by computing machines* " . Journal of Chemical Physice, 21(6): 1087-1092.

19. Strelkoff, T and Sousa, F.(1984).“*Modeling effect of depth on furrow infiltration*” Journal of Irrigation and Drainage Engineering .ASCE. Div. 110:375-387.
20. Walker, W. R. (1989). “ *Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems*“ .FAO Irrigation and Drainage Paper No.45, Rome,Italy.
21. Walker, W. R. (2007).“*SIRMOD III – Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design* “ . Department of Biological and Irrigation Engineering Utah State University. 163 paper.
22. Zegordi, S. H., Itoh, K. and Enkawa, T. (1995). “ *A knowledgeable simulated annealing scheme for the early / tardy flow shop scheduling problem*”. International Journal of Production Research, 33: 1449-1466.