



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۱۶۶-۱۵۱

بهینه‌سازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRMOD

نسرين آزاد طلائی^۱، وحید رضاوردی نژاد^{۲*}، سینا بشارت^۳، جواد بهمنش^۴، سید علی اشرف صدرالدینی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ایران
۴. استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰

چکیده

این تحقیق با هدف تحلیل عملکرد سیستم آبیاری موجی و بهینه‌کردن پارامترهای مدیریتی و طراحی انجام پذیرفت. بدین منظور، با ایجاد جویچه‌هایی با طول ۸۰ متر و شیب ۱/۱ درصد، با اجرای چهار تیمار آبیاری موجی در دو دبی ۰/۶ و ۰/۸ لیتر بر ثانیه و دو زمان چرخه ۴۰ و ۵۰ دقیقه، پارامترهای آب و خاک برداشت و مدل آبیاری سطحی SIRMOD واسنجی و ارزیابی شد. سپس، منحنی‌های هم‌بازده سیستم آبیاری به منظور بهینه‌سازی دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و با هدف حداکثر کردن بازده کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری استخراج شد. نتایج نشان داد در جویچه‌های مورد آزمایش با بافت لوم شنی، با تأمین کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد، با انتخاب دبی ۱/۲ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۱۷۰ دقیقه، یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد به ترتیب ۸۴ و ۶۰ درصد خواهد بود. طبق نتایج به دست آمده، در دبی‌های مختلف با در نظر گرفتن بهترین طول جویچه، با تأمین کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد، راندمان کاربرد تا حداکثر ۶۵ درصد افزایش می‌یابد، ولی در صورتی که کفایت آبیاری ۹۰ درصد در نظر گرفته شود، در دبی‌های مختلف، در طول مشخصی از جویچه امکان دسترسی به راندمان کاربرد بیش از ۹۰ درصد وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی عملکرد، جریان ورودی، زمان قطع جریان، طول جویچه، منحنی هم‌بازده.

مقدمه

یکی از مشکلات اصلی آبیاری سطحی، نفوذ زیاد آب در خاک و یکنواخت نبودن نیمرخ رطوبتی خاک است که موجب کاهش بازده آبیاری می‌شود. آبیاری جویچه‌ای یکی از روش‌های آبیاری سطحی است. از جمله تلفات عمده آب در آبیاری جویچه‌ای نفوذ عمقی و رواناب انتهایی است. برای کاهش این تلفات روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است، از جمله روش آبیاری موجی. روش موجی را استرینگهام و کلر (۲۶) کردند. طبق تعریف عبارت است از کاربرد متناوب آب آبیاری در جویچه یا نوار که بب یک سری فاصله زمان‌های متغیر یا ثابت قطع و وصل ایجاد می‌شود (۱۸). تا قبل از سال ۱۹۸۲، تحقیقات در زمینه آبیاری موجی در ایالت‌های یوتا، کلرادو، آیداهو و واشنگتن آمریکا انجام پذیرفت و به نتایج مشابهی به دست آمد (۸). در سال ۱۹۷۸ نخستین آزمایش‌های آبیاری موجی در دانشگاه ایالتی یوتا به منظور کاهش جریان ورودی بعد از تکمیل مرحله پیشروی انجام پذیرفت (۲۹). نتایج آزمایش‌ها از سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۲ در دانشگاه ایالتی یوتا نشان داد که آبیاری موجی حجم آب مورد نیاز مرحله پیشروی را کاهش و یکنواختی پخش آب در طول جویچه را بهبود می‌بخشد (۱۹). مطالعات دیگری در مقایسه مسافت‌های پیشروی حاصل از جریان پیوسته و منقطع نشان داد که با حجم یکسان آب انتقال یافته به جویچه، سرعت پیشروی آب در روش آبیاری موجی (جریان ورودی منقطع) بیشتر است (۲۵ و ۱۴).

نفوذ یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در آبیاری موجی است. مطالعات اولیه نشان داده است که قطع و وصل جریان در سطح مزرعه موجب کاهش سرعت نفوذ می‌شود. این موضوع به دلیل تشکیل لایه متراکمی از ذرات ریزدانه خاک است که بر اثر حرکت آب به وجود می‌آید. فشار منفی حاصل از مرحله زهکشی نیز موجب تراکم این لایه سطحی نازک و کاهش نفوذپذیری می‌شود (۸).

در مطالعه‌ای پتانسیل کاهش نفوذ عمقی، رواناب و بهبود راندمان در آبیاری موجی نسبت به پیوسته بررسی شد. رواناب در آبیاری موجی، به دلیل کوتاه‌تر شدن زمان کاربرد آب، بین ۱۹ تا ۷۰ درصد نسبت به آبیاری پیوسته کاهش یافت. همچنین، با انتخاب دبی و نسبت چرخه مناسب، نفوذ عمقی کاهش و راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع افزایش یافت (۲۱).

نتایج مطالعه دیگری در مقایسه آبیاری موجی با جریان پیوسته نشان داد که سرعت نفوذ نهایی در جریان موجی بسیار کمتر از جریان پیوسته و سرعت پیشروی جبهه رطوبتی، به علت کاهش نفوذ عمقی، بیشتر از تیمارهای پیوسته است. همچنین، جریان موجی موجب کاهش توأم نفوذ عمقی و رواناب پایاب، کاهش اختلاف زمان نفوذ ابتدا و انتهای جویچه، افزایش یکنواختی نفوذ و کاهش زمان پیشروی آب در طول جویچه نسبت به آبیاری پیوسته می‌شود (۱۵). هدف از طراحی شبکه آبیاری سطحی، تشخیص یا برآورد مقادیر اولیه (مشخصات نفوذ، ضریب زبری، شیب جریان، فاصله بین جویچه‌ها و جزآن) در تعیین و مدیریت متغیرهای آبیاری (دبی جریان، طول جویچه و زمان قطع جریان) است. بنابراین، طراحی آبیاری سطحی با دیدگاه رسیدن به حداکثر بازده و حداقل هزینه با بهینه‌کردن مقادیر اولیه و متغیرها انجام می‌شود. با استفاده از مدل‌سازی جریان قبل از فرایند آبیاری می‌توان در راستای مدیریت، طراحی، بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی هر چه بهتر آبیاری سطحی گام برداشت.

مسئله بهینه‌سازی پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای در تحقیقات زیادی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در مطالعه‌ای درباره بهینه‌سازی آبیاری جویچه‌ای تحت شرایط اجرایشده در کشت و صنعت سلمان فارسی با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR، ده مقدار مختلف دبی ورودی و چهار مقدار مختلف شیب جویچه در نظر گرفته شد. بهینه‌ترین

مدیریت آب و آبیاری

مطالعه‌ای در زمینه بهینه‌سازی راندمان آبیاری جویچه‌ای نشان داد که بیشترین راندمان کاربرد با افزایش دبی جریان در شروع آزمایش به دست می‌آید و قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه باید دبی را کاهش داد (۱۷). در تحقیق دیگری، در بهینه‌سازی سیستم آبیاری جویچه‌ای با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی آبیاری سطحی (SASI)، با در نظر گرفتن دبی‌های مختلف برای جویچه، دبی بهینه با هدف حداکثر بودن کارایی مصرف آب و بهبود کارایی سیستم آبیاری جویچه‌ای به دست آمد (۲۴).

در مطالعه‌ای، از مدل SIRMOD در ارزیابی عملکرد آبیاری جویچه‌ای در پنج راهبرد مختلف آبیاری شامل ترکیبات متفاوتی از دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان در رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری استفاده شد. نتایج آن نشان داد با بهینه‌سازی سیستم آبیاری می‌توان تا ۴۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی داشت (۲۳).

در تحقیق دیگری، در ارزیابی و تحلیل عملکرد سیستم آبیاری جویچه‌ای، از تحلیل عملیاتی مدل WinSRFR و منحنی‌های هم‌بازده سیستم آبیاری جویچه‌ای و با هدف حداکثر کردن بازده کاربرد و یکنواختی توزیع و حداقل کردن رواناب خروجی و نفوذ عمقی، به منظور بهینه‌سازی دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان استفاده شد (۷). همچنین، در مطالعه‌ای مشابه، عملکرد آبیاری جویچه‌ای در شرایط تحکیم بستر کشت چغندر قند با مدل WinSRFR بهینه‌سازی شد. براین اساس با مدیریت زمان آبیاری و دبی ورودی به جویچه به همراه تحکیم بستر جویچه، کارایی مصرف آب حدود ۲۷ درصد افزایش یافت (۵).

در رابطه با آبیاری موجی و بهینه‌سازی پارامترهای طراحی آن، تحقیقات محدودی در سال‌های اخیر انجام شده است. در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SIRMOD، اثر تغییر پارامترهای موج در آبیاری موجی روی خاکی با بافت لوم سیلتی بررسی شد و پارامترهایی انتخاب شد که بهترین

دبی ورودی و شیب جویچه برای به دست آوردن بالاترین راندمان در شرایط آبیاری جویچه‌های اجرا شده در کشت و صنعت به دست آمد (۱۳).

در مطالعه دیگری، در جهت افزایش راندمان آبیاری جویچه‌ای، بهینه‌سازی طول جویچه و نسبت زمان (به مفهوم نسبت زمان نفوذ آب مورد نیاز منطقه ریشه به زمان پیشروی آب) در سناریوهای مختلف شامل شیب‌های متفاوت جویچه و دبی‌های مختلف جریان بررسی شد (۲۲). نتایج مطالعه مذکور نشان داد که برای دستیابی به حداکثر راندمان آبیاری، زمان پیشروی باید دو چهارم کل زمان آبیاری باشد.

در تحقیقی، به منظور بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای، از مدل هیدرودینامیکی کامل استفاده شد که به روش ضمنی پرزمن و با استفاده از الگوریتم جاروب برگشتی گسسته و حل شد و با داده‌های مزرعه‌ای و مدل SIRMOD صحت‌سنجی گردید. به این ترتیب راندمان کاربرد از ۵۷ درصد به ۷۰ درصد و راندمان نیاز آبیاری از ۸۱ درصد به ۹۵ درصد افزایش یافت (۳).

در مطالعه دیگری از مدل SIRMOD در شبیه‌سازی یکنواختی توزیع آبیاری و بهینه‌سازی پارامترهای آبیاری شامل شیب جویچه، طول جویچه و دبی جریان ورودی در آبیاری جویچه‌ای استفاده شد و نتایج نشان داد که در محدوده شیب‌های بین ۱ تا ۳ درصد، کاهش شیب جویچه موجب افزایش یکنواختی توزیع شد و در همان شیب، افزایش طول جویچه یکنواختی توزیع آب در جویچه را کاهش داد (۳۰).

نتایج تحقیقی درباره طراحی سیستم آبیاری جویچه‌ای در خاک‌های رسی مناطق خشک مصر با استفاده از مدل بیلان حجمی نشان داد که طول جویچه و دبی ورودی مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر راندمان کاربرد است و برای به دست آوردن بیشترین راندمان کاربرد باید با افزایش طول جویچه دبی ورودی را افزایش داد (۲۰).

مدیریت آب و آبیاری

آبیاری موجی استفاده نشده است. در تحقیقات صورت گرفته در زمینه بهینه سازی سیستم آبیاری موجی، با اجرای آبیاری موجی در مزرعه یا مدل شبیه سازی، وضعیت راندمان سیستم در تعداد محدودی از شرایط طراحی یا مدیریتی بررسی و بهترین شرایط از بین سناریوها انتخاب شد. در حالی که این تحقیق با هدف بهینه سازی پارامترهای دبی جریان ورودی و زمان قطع موجی و استخراج منحنی های هم بازده، همچنین انتخاب بهترین طول جویچه در جهت افزایش راندمان آبیاری موجی انجام گرفت. در این تحقیق منحنی های هم بازده سیستم آبیاری ابزار مدیریتی جدید و کارایی در جهت ارتقای سیستم آبیاری موجی به کار گرفته شد. در روش ارائه شده در این تحقیق امکان بررسی طیف وسیع و پیوسته ای از شرایط دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و بهینه سازی آن با تحلیل هم زمان راندمان کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری وجود دارد.

مواد و روش ها

جمع آوری داده ها

به منظور جمع آوری داده های صحرائی، آزمایش های میدانی در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشگاه تبریز در عرض جغرافیایی 1° و 38° و طول جغرافیایی 2° و 46° و ارتفاع ۱۵۶۷ تراز سطح دریا انجام گرفت. بعد از عملیات تهیه زمین، جویچه هایی به طول ۸۰ متر ایجاد و شیب طولی یکنواخت ۱/۱ درصد با دوربین نقشه برداری تنظیم شد. نتایج تجزیه فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی نشان داد که بافت سطحی خاک لوم شنی و مقادیر شن و سیلت و رس آن به ترتیب برابر $6/6\%$ ، $24/2\%$ و $12/2\%$ درصد است. در این تحقیق، با اجرای آبیاری موجی و با کاربرد دو دبی $0/6$ و $0/8$ لیتر بر ثانیه (دبی های غیرفرسایشی)، دو زمان چرخه

راندمان و یکنواختی را به دست می دهد. طبق نتایج به دست آمده، حداکثر یکنواختی در نسبت های سیکل $2:3$ و $3:4$ و دبی ۲ لیتر در ثانیه و حداکثر راندمان در دبی $0/5$ لیتر در ثانیه و نسبت سیکل $3:4$ رخ داد (۲).

نتایج تحقیق مشابهی نشان داد که در خاک های با بافت های سنگین و نسبتاً سنگین حداکثر راندمان در نسبت سیکل $1:4$ و دبی $0/5$ لیتر در ثانیه و در خاک های سبک و نسبتاً سبک حداکثر راندمان به ترتیب در نسبت های سیکل $1:3$ و $2:3$ و در دبی های $0/96$ و ۲ لیتر در ثانیه رخ داد (۱). در انتخاب بهترین دبی و نسبت تناوب در خاکی با بافت شنی، شش تیمار جریان موجی (سه نسبت تناوب مختلف در دو دبی) بررسی و بازده کاربرد، بازده ذخیره، توزیع یکنواختی و رواناب پایاب ارزیابی شد. طبق نتایج به دست آمده، دبی $0/5$ لیتر در ثانیه در نسبت دوره $1:4$ بهترین عملکرد را داشته است (۱۵).

در مطالعه دیگری، با استفاده از مفهوم شبیه سازی بهینه یابی، روش جدیدی برای تعیین طول و دبی بهینه جویچه تحت سه روش جریان پیوسته، کاهشی و موجی ارائه شد. در مطالعه مذکور، تابع هدف حداکثر کردن راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب است و برای شبیه سازی شاخص های تابع هدف بهینه یابی از مدل SURFACE استفاده شد (۱۶).

در تحقیق دیگری نیز با به کارگیری روش بهینه سازی جستجوی ممنوع در آبیاری موجی، مدلی برای بهینه سازی پارامترهای آبیاری تهیه شد (۹). با توجه به اهمیت بهینه کردن پارامترهای طراحی و مدیریتی سیستم های آبیاری در جهت دستیابی به راندمان بالا، مرور مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داد که علی رغم توجه برخی محققان به بهینه سازی پارامترهای دبی ورودی و زمان قطع جریان در جریان پیوسته، تاکنون از این تکنیک در بهینه سازی پارامترهای طراحی و مدیریتی سیستم

مدیریت آب و آبیاری

بهبودسازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRMOD

فرسایشی حدود ۰/۶ لیتر بر ثانیه بود، اما با توجه به امکان تشکیل تعداد مشخصی موج و تسریع حرکت آب به انتهای جویچه، دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه نیز در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری منحنی‌های پیشروی و پسروی، جویچه‌ها با فواصل ۱۰ متری ایستگاه‌بندی شد. برای تعیین مشخصه‌های سطح مقطع جویچه‌ها از مقطع سنج جویچه استفاده شد و اندازه‌گیری‌ها در سه مقطع در طول جویچه و در دو حالت قبل از جریان آب در جویچه‌ها و بعد از آن انجام گرفت. اطلاعات مربوط به شکل هندسه جویچه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

۴۰ و ۵۰ دقیقه با نسبت چرخه ثابت ۰/۵ تحت عنوان تیمارهای S₁ (دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه و زمان چرخه ۵۰ دقیقه)، S₂ (دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه و زمان چرخه ۴۰ دقیقه)، S₃ (دبی ۰/۶ لیتر بر ثانیه و زمان چرخه ۵۰ دقیقه) و S₄ (دبی ۰/۶ لیتر بر ثانیه و زمان چرخه ۴۰ دقیقه) در نظر گرفته شد.

انتخاب شرایط تیمارهای آزمایشی از قبیل دبی و زمان چرخه، بر اساس ملاحظات مربوط به دبی غیرفرسایشی، طول جویچه و امکان تشکیل تعداد مشخصی موج، رسیدن آب به انتهای جویچه، نفوذ آب در جویچه و جهت واسنجی و صحت‌سنجی پارامترهای مدل SIRMOD انجام شد. براساس رابطه پیشنهادی SCS، حد آستانه دبی

جدول ۱. ضرایب و پارامترهای اندازه‌گیری شده تیمارهای مختلف

تیمار				واحد	علامت	متغیر آبیاری
S ₄	S ₃	S ₂	S ₁			
۴۰	۵۰	۴۰	۵۰	min	t	زمان چرخه
۶	۵	۶	۴	-	-	تعداد موج
۰/۶		۰/۸		(lit/s)	Q	دبی ورودی
۰/۲۶		۰/۱۷		-	σ ₁	پارامترهای هندسی
۱/۵۵		۱/۴۷		-	σ ₂	
۵/۴۸		۶/۲۷		-	γ ₁	
۰/۷۱		۰/۷۶		-	γ ₂	
۰/۰۰۰۲۶		۰/۰۰۰۳۸		(m ³ m ⁻¹ min ⁻¹)	f ₀	جویچه خشک
۰/۰۰۰۲۵		۰/۰۰۰۲۴		(m ³ m ⁻¹ min ^{-a})	k	
۰/۵۵۴		۰/۵۵۳		-	a	پارامترهای معادله نفوذ
۰/۰۰۰۰۸		۰/۰۰۰۱۹		(m ³ m ⁻¹ min ⁻¹)	f ₀	
۰/۰۰۰۸۹		۰/۰۰۰۶۶		(m ³ m ⁻¹ min ^{-a})	k	
۰/۷۳۰		۰/۸۴۱		-	a	

جوینچه باید با توجه به خصوصیات خاک و جریان حاکم بر شرایط واسنجی شود.

در این مطالعه، برای واسنجی پارامترهای مذکور در مدل SIRMOLD از روش بهینه‌سازی چندسطحی (۲۷) استفاده شد. با مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ در سیستم‌های مختلف آبیاری جوینچه‌ای (معمولی، یک در میان ثابت و متغیر) و نیز رژیم‌های مختلف جریان ورودی (کاهش و بدون کاهش دبی ورودی)، روش بهینه‌سازی چندسطحی دقیق‌ترین روش پیشنهاد شده است (۶). روش بهینه‌سازی چندسطحی روشی مبتنی بر داده‌های مراحل مختلف آبیاری است و برای واسنجی ضریب زبری مانینگ و پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لویس برای آبیاری جوینچه‌ای پیشنهاد شده است.

گام نخست در این روش، تخمین اولیه پارامترهای مجهول (n و f_0 , k , a) است. در این تحقیق، به‌منظور تخمین اولیه پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ به‌ترتیب از مقادیر جدول ۱ و مقادیر توصیه‌شده SCS استفاده شد.

در گام دوم، پارامترها به‌ترتیب اولویت و حساسیت با روش بهینه‌سازی برآورد شد. بدین منظور از مقادیر پیشروی جریان برای واسنجی پارامترهای k , f_0 و a و از مقادیر پسروی برای واسنجی ضریب زبری مانینگ و با هدف کمینه‌بودن اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده استفاده شد. در این راستا، واکر با آزمون و خطا، ترتیب تخمین k , f_0 , a و n را مناسب‌ترین گزینه پیشنهاد کرد. در این روش پس از تخمین هر پارامتر، مراحل قبل جهت تخمین مجدد پارامترهای قبلی تکرار می‌شود. پس از واسنجی پارامترهای مذکور، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل SIRMOLD در پیش‌بینی زمان پیشروی و پسروی، از روابط همبستگی و خطا بین مقادیر

برای محاسبه مقادیر آب نفوذیافته در جوینچه از معادله کاستیاکوف-لویس اصلاح شده استفاده شد. این معادله یکی از پرکاربردترین معادلات تخمین میزان نفوذ در آبیاری سطحی است که برای گستره وسیعی از خاک‌ها مناسب است (۴).

$$Z = kt^a + f_0 t \quad (1)$$

در این رابطه، Z نفوذ تجمعی ($m^3 m^{-1}$)، t زمان (min)، f_0 شدت نفوذ نهایی ($m^3 m^{-1} min^{-1}$) و k ($m^3 m^{-1} min^{-a}$) و a (-) ضرایب معادله است. ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف-لویس در آبیاری موجی بر اساس روش واکر-هامفری (۲۸) برای دو نوع جوینچه خشک و خیس در نظر گرفته شد (جدول ۱).

در این رابطه، Z نفوذ تجمعی ($m^3 m^{-1}$)، t زمان (min)، f_0 شدت نفوذ نهایی ($m^3 m^{-1} min^{-1}$) و k ($m^3 m^{-1} min^{-a}$) و a (-) ضرایب معادله است. ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف-لویس در آبیاری موجی بر اساس روش واکر-هامفری (۲۸) برای دو نوع جوینچه خشک و خیس در نظر گرفته شد (جدول ۱).

مدل SIRMOLD، واسنجی و ارزیابی عملکرد آن

یکی از ابزارهای مورد استفاده در شبیه‌سازی آبیاری سطحی مدل SIRMOLD است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد و قادر است آبیاری موجی را نیز شبیه‌سازی کند. مدل‌های آبیاری سطحی که فرایند آبیاری را شبیه‌سازی می‌کند به ورودی‌هایی نیاز دارد که دقت اندازه‌گیری آن در نتایج مدل بسیار مؤثر خواهد بود. پارامترهایی که به‌عنوان ورودی مدل SIRMOLD باید به مدل معرفی شود عبارت است از دبی ورودی، طول و شیب زمین، ضرایب تابع نفوذ، زبری جوینچه، مشخصات سطح مقطع جریان و مشخصات موج در آبیاری موجی. از میان پارامترهای مذکور، ضرایب تابع نفوذ و ضریب زبری

مدیریت آب و آبیاری

تحلیل این منحنی‌ها بر اساس خطوط تراز بازده صورت می‌گیرد که تفاوت بین اندازه‌گیری‌های بازده منتخب را تابعی از Q و T_{co} نشان می‌دهد. با استفاده از این ابزار می‌توان به جستجوی ترکیبات متغیرهای تصمیم‌گیری پرداخت که منجر به سطوح بالایی از یکنواختی و کارایی می‌شود، در حالی که محدودیت‌های عملی و هیدرولیکی را توجیه می‌کند. منحنی‌های هم‌تراز بازده در این تحقیق عبارت است از راندمان کاربرد (AE: حجم آبی که در منطقه توسعه ریشه‌ها ذخیره می‌شود به حجم آب وارد شده به مزرعه (۱۱))، یکنواختی توزیع (DU: راندمان کاربرد آب در چارک پایین مزرعه (۱۱))، کفایت آبیاری (Er: درصدی از سطح مزرعه که به اندازه مورد نیاز یا بیشتر آبیاری می‌شود (۱۱))، نفوذ عمقی (DP: درصدی از آب واردشده به مزرعه که از منطقه توسعه ریشه‌ها به‌صورت نفوذ عمقی خارج می‌شود) و رواناب (RO: درصدی از آب واردشده به مزرعه که از منطقه توسعه ریشه‌ها به‌صورت رواناب از انتهای جویچه خارج می‌شود).

در این فرایند، به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری، شش میزان دبی بر اساس حداقل و حداکثر دبی مجاز جریان ورودی (۱۰) و راندمان مطلوب آبیاری در محدوده دبی‌های ۰/۷ تا ۱/۲ لیتر بر ثانیه و یازده زمان قطع جریان در محدوده ۸۰ تا ۴۸۰ دقیقه (بر اساس ملاحظات مربوط به رسیدن آب به انتهای جویچه و حد مطلوب راندمان آبیاری) با تعداد چهار موج و نسبت چرخه ۰/۵ در نظر گرفته شد و با اجرای مدل در هر سناریو، پارامترهای عملکرد سناریو مشخص گردید. سپس، منحنی‌های هم‌بازده ترسیم و پارامترهای طراحی و مدیریتی سیستم آبیاری موجی بر اساس تحلیل منحنی‌های مذکور بهینه شد. در نهایت، با در نظر گرفتن طول‌های مختلف برای جویچه (۴۰ تا ۱۰۰ متر) در محدوده دبی‌های مورد مطالعه، امکان

مشاهده و برآورد شده توسط مدل در چهار تیمار استفاده شد. بدین منظور، از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای نسبی (RE) طبق روابط (۲) و (۳) در بررسی خطای مدل‌سازی، همچنین از مقدار ضریب تعیین (R^2)، طبق رابطه (۴)، برای بیان میزان دقت مدل‌سازی و همبستگی بین مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_0 - X_p)^2}{n}} \quad (2)$$

$$RE = \sum \frac{|X_0 - X_p|}{X_0} \times 100 \quad (3)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum(X_0 - \bar{X}_0)(X_p - \bar{X}_p)}{\sqrt{\sum(X_0 - \bar{X}_0)^2 \sum(X_p - \bar{X}_p)^2}} \right)^2 \quad (4)$$

در این روابط، X_0 مقدار مشاهده‌ای، X_p مقدار پیش‌بینی شده، \bar{X}_p و \bar{X}_0 به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده‌ای و میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌هاست.

بهینه‌سازی دبی ورودی و زمان قطع جریان با استفاده از منحنی‌های هم‌بازده

برای تحلیل تناسب عملکردی میان ترکیب مقادیر متفاوت دبی ورودی و زمان قطع جریان در سیستمی با ابعاد، شیب و خصوصیات خاک مشخص، می‌توان از تحلیل منحنی‌های هم‌بازده استفاده کرد. این تحلیل با کمک کنترل‌کننده‌های عملکردی (حداکثر بودن عملکرد) انجام می‌شود که تغییرات پارامترهای عملکردی آبیاری را تابعی از متغیرهای تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. تحلیل ممکن است توصیه‌ای عملیاتی برای شرایط متوسط تخمینی زمین (نفوذ، زبری، عمق به‌کارگیری مورد نظر) ایجاد کند یا ممکن است نیاز برای طراحی جایگزین را پیشنهاد کند. این منحنی‌ها با درون‌یابی از نتایج شبیه‌سازی مدل در شبکه‌ای مستطیل‌شکل از نقاط و در فضایی امکان‌پذیر از مقادیر دبی و زمان قطع جریان ایجاد می‌شود.

منحنی‌های هم‌بازده برای بهینه‌سازی دبی جریان ورودی (Q) و زمان قطع جریان (T_{co}) استفاده می‌شود و

مدیریت آب و آبیاری

نسرین آزاد طلائی، وحید رضاوردی نژاد، سینا بشارت، جواد بهمنش، سید علی اشرف صدرالدینی

به ترتیب منحنی‌های پیشروی و پسروی و همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل را در چهار موج تیمار S_1 نشان می‌دهد. همچنین، خطای مدل در شبیه‌سازی منحنی‌های مذکور در چهار تیمار در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، مدل SIRMOD، منحنی‌های پیشروی و پسروی را با دقت بالایی شبیه‌سازی می‌کند و بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردشده منحنی‌های پیشروی و پسروی همبستگی بالایی وجود دارد (شکل ۲).

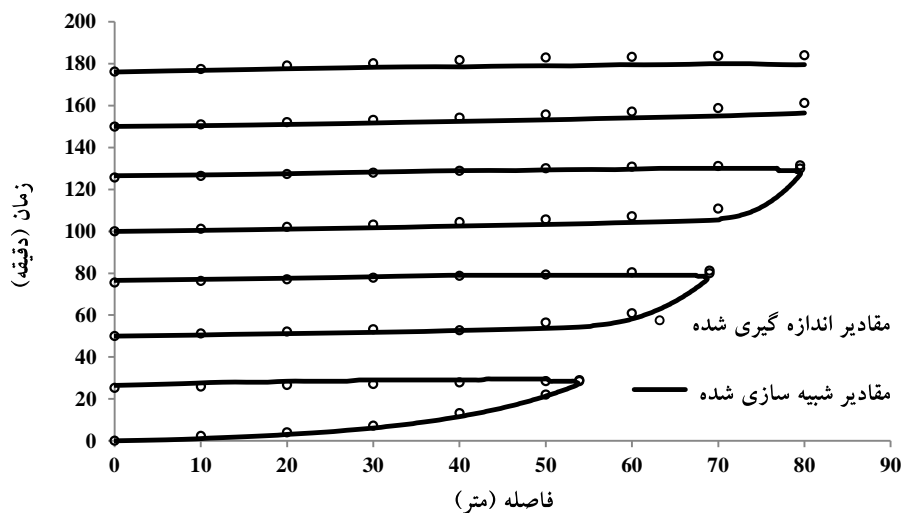
افزایش راندمان کاربرد با تغییر طول جویچه بررسی شد. در این تحقیق، برنامه لازم برای تولید منحنی‌های هم‌بازده، در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته شد.

نتایج و بحث

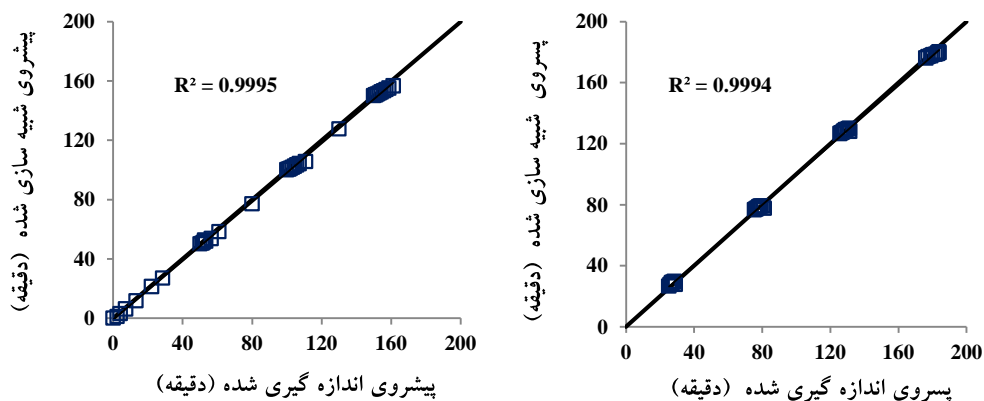
ارزیابی عملکرد مدل SIRMOD در شبیه‌سازی

منحنی پیشروی و پسروی

منحنی‌های پیشروی و پسروی تیمارهای مختلف با مدل شبیه‌سازی شده و خطای مدل محاسبه شد. شکل ۱ و ۲



شکل ۱. منحنی‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمار S_1



شکل ۲. همبستگی مقادیر پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در چهار موج تیمار S_1

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

بهبودسازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRM0D

جدول ۲. خطای مدل SIRM0D در شبیه‌سازی منحنی‌های پیشروی و پسروی تیمارهای مختلف

پسروی		پیشروی		تیمار
RE (%)	RMSE (min)	RE (%)	RMSE (min)	
۲/۰۸	۲/۰۰	۵/۲۱	۲/۱۶	S ₁
۱/۹۳	۱/۸۶	۳/۹۲	۲/۷۳	S ₂
۱/۳۹	۱/۹۷	۴/۸۲	۲/۵۹	S ₃
۱/۴۰	۲/۰۷	۴/۴۲	۳/۵۴	S ₄

مشابه این نتایج در مطالعه‌ای، قابلیت بالای نرم‌افزار (SIRM0D extension) NRSC-SURFACE در شبیه‌سازی زمان پیشروی جریان موجی نشان داده شده است (۱۲). جدول ۲ نشان می‌دهد که خطای برآورد منحنی‌های پیشروی و پسروی در مدل SIRM0D بسیار پایین است و مدد زمان پسروی را با خطای کمتری شبیه‌سازی کرده است.

Dmin < Dreq را نشان می‌دهد، در حالی که در سمت راست، Dmin > Dreq. لذا، در بخش چپ خط نقطه‌چین، هر چند ممکن است با ترکیباتی از Q و T_{co} به بازده کاربرد بالا دست یافت، حداقل عمق مورد نیاز آبیاری برآورد نخواهد شد. ستاره موجود در سمت چپ خط‌چین نشان‌دهنده شرایط موجود (وضعیت فعلی) است. در شرایط موجود، بازده کاربرد ۷۲/۵۹ درصد است که در آن Dmin < Dreq و کفایت آبیاری ۹۶/۷۸ درصد است.

در تأمین عمق مورد نیاز آبیاری در همه قسمت‌های جویچه، باید جفت داده‌های از زمان قطع جریان و دبی را روی خط نقطه‌چین در این منحنی انتخاب کرد که در آن راندمان کاربرد حداکثر باشد. همان‌گونه که منحنی هم‌بازده راندمان آبیاری در شکل ۳ نشان می‌دهد، با در نظر گرفتن دبی ۱/۲ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۱۷۰ دقیقه، عمق مورد نیاز آبیاری تأمین می‌شود و با کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد، راندمان کاربرد حدود ۶۰ درصد خواهد بود. با افزایش زمان قطع جریان، با تأمین عمق آب مورد نیاز، راندمان کاربرد کاهش می‌یابد. منحنی‌های هم‌نفوذ عمقی و هم‌رواناب خروجی این تیمار نشان می‌دهد که ترکیبات متفاوت از Q و T_{co} موجب کاهش رواناب یا نفوذ عمقی و افزایش راندمان کاربرد می‌شود. تغییرات منحنی‌های هم‌نفوذ عمقی در اغلب نقاط، خطوط عمودی دارد، ولی

مشابه این نتایج در مطالعه‌ای، قابلیت بالای نرم‌افزار (SIRM0D extension) NRSC-SURFACE در شبیه‌سازی زمان پیشروی جریان موجی نشان داده شده است (۱۲). جدول ۲ نشان می‌دهد که خطای برآورد منحنی‌های پیشروی و پسروی در مدل SIRM0D بسیار پایین است و مدد زمان پسروی را با خطای کمتری شبیه‌سازی کرده است.

منحنی‌های هم‌بازده و تحلیل آن

منحنی‌های هم‌بازده‌ی که در این تحقیق ایجاد شد عبارت است از راندمان کاربرد (AE)، یکنواختی توزیع (DU)، کفایت آبیاری (Er)، نفوذ عمقی (DP) و رواناب (RO) که در شکل ۳ به همراه خط Dreq=Dmin (Dreq=عمق مورد نیاز آبیاری: ۳۰ میلی‌متر و Dmin کمترین عمق آب نفوذ یافته در انتهای جویچه) برای تیمار S₁ ارائه شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، راندمان کاربرد در گوشه پایین و سمت چپ نمودار جایی که جویچه دچار کم‌آبی می‌شود، به حداکثر خود می‌رسد و با افزایش دبی و زمان قطع جریان کاهش می‌یابد. در این شکل، خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مکان نقاطی از Q و T_{co} است که Dreq=Dmin و در انتهای جویچه حداقل عمق مورد نیاز آبیاری تأمین می‌شود. ترکیبات Q-T_{co} در سمت چپ خط نقطه‌چین

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

خواهد بود. با حرکت روی خط $D_{req}=D_{min}$ و با هدف تأمین عمق مورد نیاز آبیاری، با انتخاب دبی $1/2$ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان 170 دقیقه، راندمان کاربرد در این تیمار 60 درصد خواهد بود که در این شرایط یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری نیز بیشترین مقدار خود، یعنی به ترتیب 84 و 100 درصد، را خواهد داشت. نتایج مطالعه نشان داد که با مدیریت زمان قطع جریان و دبی ورودی، بازده کاربرد را می توان در سیستم آبیاری یک در میان ثابت از $54/5$ درصد به 74 درصد افزایش داد (۷).

تحقیق دیگری نیز نشان داد که در آبیاری جویچه‌ای، با انتخاب بهترین جریان ورودی و زمان قطع جریان راندمان کاربرد از 57 درصد به 70 درصد و راندمان نیاز آبیاری از 81 درصد به 95 درصد افزایش یافت (۳). همچنین، در مطالعه بهینه‌سازی آبیاری جویچه‌ای در شرایط اجرا شده در کشت و صنعت سلمان فارسی، دبی بهینه ورودی جویچه‌ها برای به دست آوردن بالاترین راندمان برابر $1/5$ لیتر بر ثانیه به دست آمد (۱۳).

برای نشان دادن تغییرات شاخص‌های عملکرد در اثر تغییر دبی در شرایط $D_{req}=D_{min}$ ، می توان به شکل ۴ مراجعه کرد. همان گونه که این شکل نشان می دهد، با افزایش دبی در تأمین $D_{req}=D_{min}$ ، زمان قطع جریان کاهش می یابد. در این شرایط، رواناب انتهایی با شیب ثابت کمی افزایش می یابد، ولی نفوذ عمقی با افزایش دبی کاهش می یابد و این کاهش تا دبی $0/8$ لیتر بر ثانیه دارای شیب بیشتری است. پس از آن با شیب کمتری کاهش می یابد. راندمان کاربرد نیز با افزایش دبی، تا دبی $0/8$ لیتر بر ثانیه افزایش یافت و شیب افزایش راندمان کاربرد پس از دبی مذکور کمتر است. افزایش یکنواختی توزیع در اثر افزایش دبی، در شرایط تأمین عمق مورد نیاز آبیاری بسیار کم و در حد 2 درصد است. همان گونه که انتظار می رود، کفایت آبیاری در همه شرایط 100 درصد است.

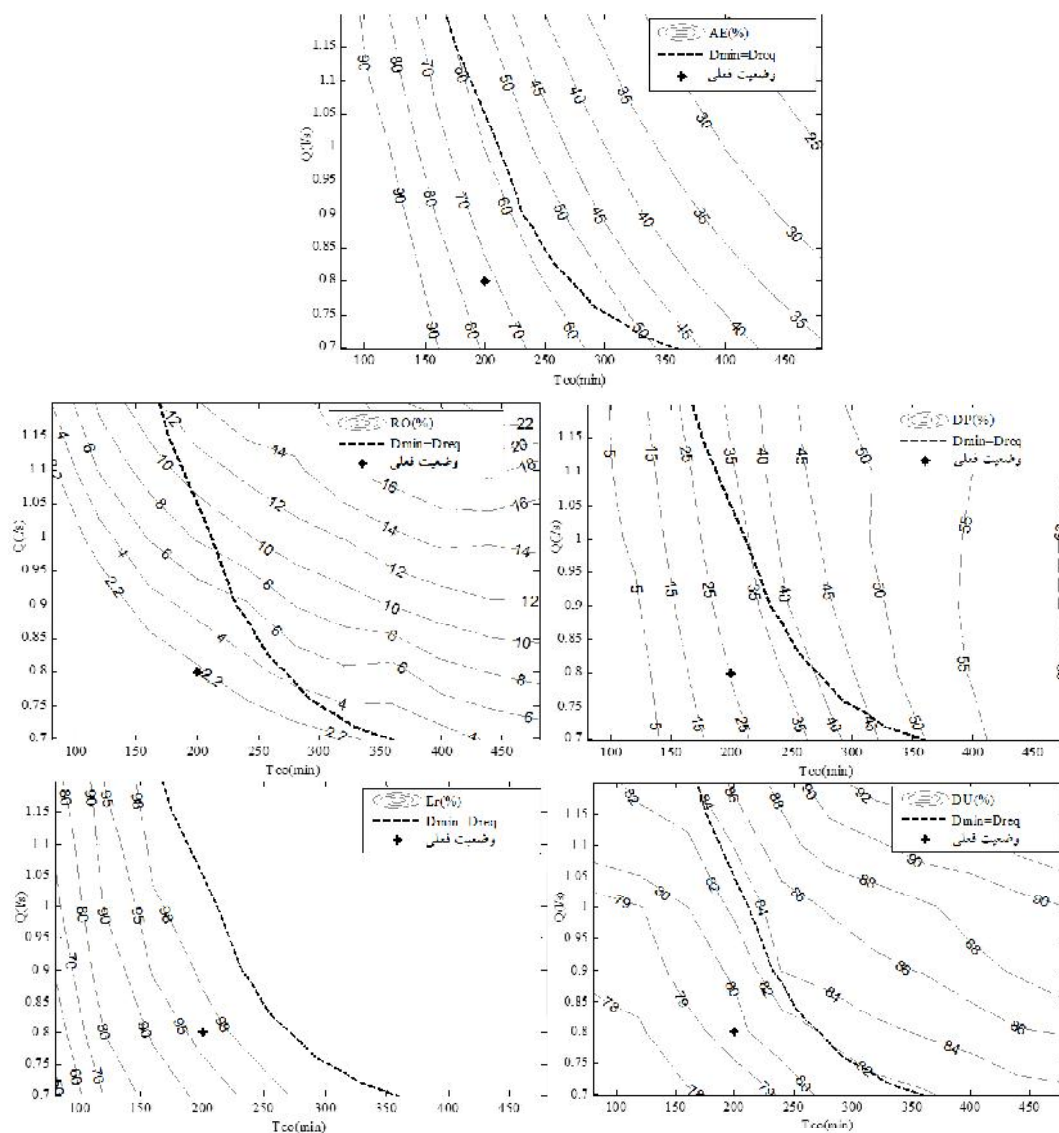
منحنی های هم رواناب خروجی دارای خطوط افقی است. این بدان معناست که در زمان قطع جریان مشخصی، تغییر و افزایش دبی تأثیر چندانی بر مقدار نفوذ عمقی نخواهد داشت، ولی رواناب انتهایی افزایش خواهد یافت. برعکس، در دبی مشخصی، با افزایش زمان قطع جریان، نفوذ عمقی به شدت افزایش پیدا خواهد کرد، ولی رواناب انتهایی تغییر چندانی نخواهد داشت. بنابراین، با افزایش زمان قطع جریان، افزایش نفوذ عمقی، و با افزایش دبی، افزایش رواناب خروجی موجب کاهش راندمان کاربرد در اثر افزایش T_{co} و Q شده است. ولی در کل، علت کاهش راندمان کاربرد، به خصوص در زمان های قطع طولانی، به طور عمده در این بافت خاک سبک مربوط به نفوذ عمقی است و رواناب نقش کمی در کاهش راندمان کاربرد دارد.

ولی نتایج مطالعه ای در سیستم آبیاری جویچه ای پیوسته نشان داد که با افزایش دبی رواناب افزایش و کارایی مصرف آب کاهش یافت، ولی تغییرات نفوذ عمقی کمتر از رواناب بود و کارایی مصرف آب به تلفات رواناب بیش از نفوذ عمقی وابسته بود (۲۴). منحنی های هم بازده یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در شکل ۳ نشان می دهد که ترکیباتی از T_{co} و Q موجب کاهش شدید یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در دبی ها و زمان های قطع جریان کوتاه خواهد شد. در شرایط کنونی، کفایت آبیاری و یکنواختی توزیع به ترتیب در حدود 97 و 78 درصد و بیانگر شرایط مناسب آبیاری در وضعیت کنونی است و با انتخاب جفت مقادیر T_{co} و Q می توان کفایت آبیاری و توزیع یکنواختی را بیش از این نیز افزایش داد.

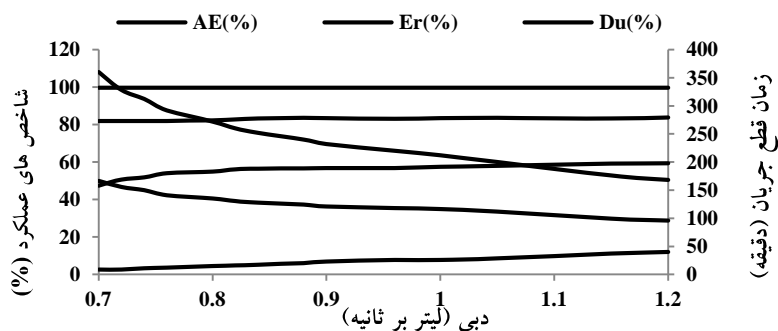
در حالت کلی، ترکیب مطلوب $Q-T_{co}$ ترکیبی است که بازده کاربرد و یکنواختی توزیع را به حداکثر برساند؛ یعنی، روی خط $D_{req}=D_{min}$ ، شرایط حداکثر شدن مجموع بازده کاربرد و یکنواختی توزیع طرح بهینه در نظر گرفته می شود. در این صورت، کفایت آبیاری نیز 100 درصد

مدیریت آب و آبیاری

بهینه‌سازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRMOD



شکل ۳. منحنی‌های هم‌تراز بازده کاربرد آب (AE)، درصد نفوذ عمقی (DP)، درصد رواناب خروجی (RO)، یکنواختی توزیع آب (DU) و کفایت آبیاری (Er) به‌عنوان تابعی از دبی و زمان قطع جریان در جویچه با شرایط تیمار S_1



شکل ۴. تغییرات شاخص‌های عملکرد در اثر تغییر دبی در شرایط $D_{req}=D_{min}$ در تیمار S_1

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

تأثیر طول جویچه در جهت افزایش راندمان آبیاری

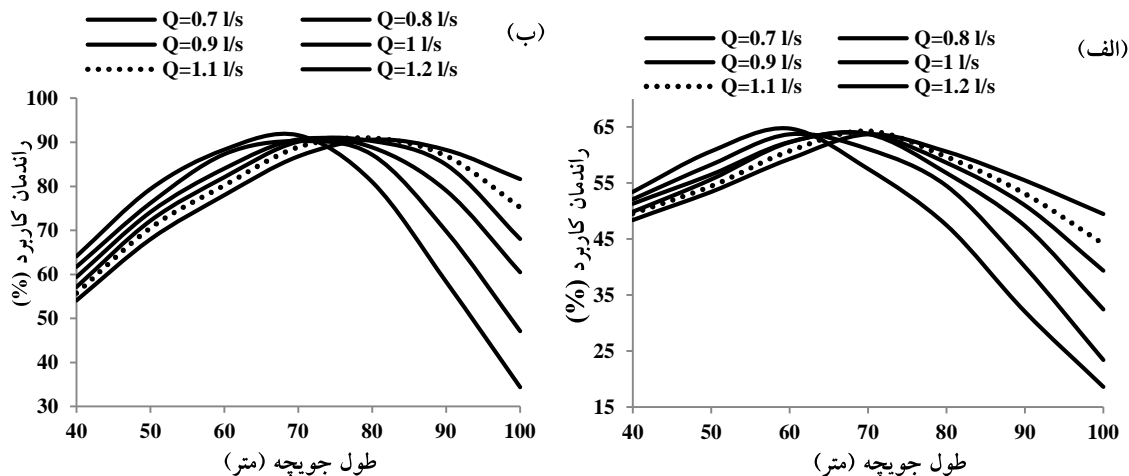
همان گونه که در بخش قبل مشاهده شد (شکل ۳ و ۴)، امکان افزایش راندمان کاربرد، به شرط تأمین عمق مورد نیاز آبیاری به بیش از ۶۰ درصد وجود ندارد، زیرا شرایط فیزیکی جویچه از قبیل شیب، طول و هندسه مقطع این امکان را فراهم نمی کند. بنابراین، در این قسمت از مطالعه سعی شد با در نظر گرفتن طول های مختلف برای جویچه، امکان افزایش راندمان کاربرد با تغییر طول جویچه راهکاری مدیریتی بررسی شود. شکل ۵الف نتایج بررسی راندمان کاربرد در طول ها و دبی های مختلف جویچه را نشان می دهد. این نتایج با تأمین عمق مورد نیاز آبیاری در تمام قسمت های جویچه و کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمده است. همان گونه که این شکل نشان می دهد، هر دبی در طول مشخصی حداکثر راندمان را خواهد داشت. برای مثال، در دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه، با طول جویچه ۶۰ متر، راندمان کاربرد حدود ۶۴ درصد خواهد بود که نسبت به طول اجرا شده در این تحقیق، ۴ درصد افزایش نشان می دهد. بنابراین، در هر دبی مشخص می توان طولی از جویچه را برای طراحی انتخاب کرد که در آن راندمان کاربرد بیشینه باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، برای به دست آوردن بیشترین راندمان کاربرد باید با افزایش طول جویچه، دبی ورودی را افزایش داد. نتایج مشابهی نیز در طراحی سیستم آبیاری جویچه ای در خاک های رسی مناطق خشک به دست آمد (۲۰). نتایج تحقیق دیگری در بهینه سازی طول جویچه برای رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری در شیب های مختلف جویچه و دبی های متفاوت جریان در آبیاری جویچه ای نشان داد که در شیب های بالاتر از ۳ درصد، افزایش دبی جریان بیش از ۰/۷ لیتر بر ثانیه، طول بهینه جویچه در رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری را کاهش می دهد (۲۲).

در دبی های مختلف، با در نظر گرفتن بهترین طول جویچه، راندمان کاربرد حداکثر تا ۶۵ درصد افزایش می یابد و امکان افزایش راندمان کاربرد به بیش از این مقدار وجود ندارد. ولی می توان به عنوان راهکار مدیریتی، به خصوص در شرایط کم آبی، با در نظر گرفتن درصد کمتری از کفایت آبیاری، به راندمان کاربرد بسیار بالایی دست یافت که در این شرایط تلفات نفوذ عمقی و رواناب انتهایی کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. در شکل ۵ب، با در نظر گرفتن کفایت آبیاری ۹۰ درصد، راندمان کاربرد در دبی ها و طول های مختلف جویچه بررسی شد. با توجه به این شکل، در دبی های مختلف، در طول مشخصی از جویچه امکان دسترسی به راندمان کاربرد بیش از ۹۰ درصد وجود دارد و در دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه، با کفایت آبیاری ۹۰ درصد، در طول جویچه ۷۰ متری، راندمان کاربرد ۹۰/۲۷ درصد خواهد بود. بیشترین راندمان کاربرد در شرایط کفایت آبیاری ۹۰ درصد مربوط به دبی ۰/۷ لیتر بر ثانیه است که در طول جویچه ۷۰ متری، راندمان کاربرد ۹۱/۶۱ درصد است.

لازم به توضیح است که نتایج این تحقیق در شرایط بافت خاک و شیب اجرا شده در مطالعه کاربرد دارد و همان گونه که مطالعات قبلی نشان داده است (۲۲ و ۳۰) بهینه سازی پارامترهای طراحی و مدیریتی در آبیاری جویچه ای در جهت افزایش راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب در جویچه، به شرایط هندسی جریان از قبیل شیب وابسته است. لذا، جهت استفاده از تحلیل پیشنهاد شده در این مطالعه لازم است که مدل برای شرایط فیزیکی و هندسی جریان کالیبره شود و پارامترهای طراحی و مدیریتی آبیاری در جهت رسیدن به حداکثر راندمان کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری بهینه گردد.

مدیریت آب و آبیاری

بهینه‌سازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRMOD



شکل ۵. تأثیر طول جویچه بر بازده آبیاری در دبی‌های مختلف آبیاری در کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد (الف) و ۹۰ درصد (ب) در تیمار S_1

نتیجه‌گیری

طراحی آبیاری سطحی با هدف تعیین و مدیریت بهینه متغیرهای سیستم آبیاری از جمله دبی جریان، طول جویچه و زمان قطع جریان با دیدگاه رسیدن به حداکثر بازده انجام می‌گیرد. در این راستا، استفاده از مدلسازی جریان قبل از فرایند آبیاری نقشی اساسی در مدیریت، طراحی و بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی هر چه بهتر آبیاری سطحی دارد. لذا، این تحقیق با هدف بهینه‌سازی پارامترهای دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان، بر اساس شاخص‌های ارزیابی سیستم آبیاری موجی، همچنین انتخاب بهترین طول جویچه در جهت افزایش راندمان آبیاری موجی انجام گرفت. در این راستا، منحنی‌های هم‌بازده سیستم آبیاری موجی و تحلیل آن که منعکس‌کننده بازده آبیاری سیستم در طیف وسیع و پیوسته‌ای از شرایط طراحی و مدیریتی سیستم باشد، ابزار مدیریتی جدید و کارایی به‌کار گرفته شد.

در این تحقیق، مدل آبیاری سطحی SIRMOD که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد و

قادر است آبیاری موجی را نیز شبیه‌سازی کند. با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای، در شرایط مشخصی، خصوصیات خاک و شیب و طول جویچه و اسنچی و ارزیابی شد. سپس، منحنی‌های هم‌بازده سیستم آبیاری (شامل منحنی‌های هم‌بازده راندمان کاربرد، یکنواختی توزیع، کفایت آبیاری، نفوذ عمقی و رواناب) به‌منظور بهینه‌سازی دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و با هدف حداکثرکردن بازده کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری استخراج گردید. تحلیل منحنی‌های هم‌بازده نشان داد که با افزایش زمان قطع جریان، با تأمین عمق آب مورد نیاز، راندمان کاربرد کاهش می‌یابد. همچنین، ترکیباتی از دبی ورودی و زمان قطع جریان موجب کاهش شدید یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در دبی‌ها و زمان‌های قطع جریان کوتاه خواهد شد.

با در نظر گرفتن دبی ۱/۲ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۱۷۰ دقیقه، عمق مورد نیاز آبیاری تأمین شد و با کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد، راندمان کاربرد حدود ۶۰ درصد خواهد بود و یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری نیز بیشترین

مدیریت آب و آبیاری

هم‌بازده بازده کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در طراحی و مدیریت بهینه سیستم آبیاری موجی پیشنهاد می‌شود.

مقدار خود، یعنی به ترتیب ۸۴ و ۱۰۰ درصد، را خواهد داشت.

نتایج این تحقیق نشان داد که امکان افزایش راندمان کاربرد، به شرط تأمین عمق مورد نیاز آبیاری، به بیش از ۶۰ درصد وجود ندارد، زیرا شرایط فیزیکی جویچه از قبیل شیب، طول و هندسه مقطع این امکان را فراهم نمی‌کند. بنابراین، در ادامه این مطالعه سعی شد با در نظر گرفتن طول‌های مختلف برای جویچه، امکان افزایش راندمان کاربرد با تغییر طول جویچه راهکار مدیریتی بررسی شود. نتایج نشان داد که در هر دبی مشخص، می‌توان طولی از جویچه را برای طراحی انتخاب کرد که در آن راندمان کاربرد بیشینه باشد. در صورت در نظر گرفتن کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد، در دبی‌های مختلف، با در نظر گرفتن بهترین طول جویچه، راندمان کاربرد تا حداکثر ۶۵ درصد افزایش می‌یابد و امکان افزایش راندمان کاربرد به بیش از این مقدار وجود ندارد. ولی می‌توان به‌عنوان راهکاری مدیریتی، به‌خصوص در شرایط کم‌آبی، با در نظر گرفتن درصد کمتری از کفایت آبیاری، به راندمان کاربرد بسیار بالایی دست‌یافت که در این شرایط تلفات نفوذ عمقی و رواناب انتهایی کمترین مقدار ممکن را داشته باشد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، با در نظر گرفتن کفایت آبیاری ۹۰ درصد، در دبی‌های مختلف، در طول مشخصی از جویچه امکان دسترسی به راندمان کاربرد بیش از ۹۰ درصد وجود دارد. با توجه با قابلیت روش پیشنهادی در این تحقیق در ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری موجی در گستره وسیع و پیوسته‌ای از متغیرهای دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و انعطاف‌پذیری این روش در لحاظ کردن شرایط مختلف کفایت آبیاری در رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب در مزرعه، استفاده از این روش و تحلیل منحنی‌های

منابع

۱. ایزدی م. و کوچک‌زاده م. (۱۳۸۵) بررسی اثر بافت خاک بر روی یکنواختی و راندمان در آبیاری موجی. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، ۱-۹.
۲. ایزدی م.، کوچک‌زاده م.، سامانی ج. و شهابی فر م. (۱۳۸۴) بررسی اثر تغییر پارامترهای موج بر روی یکنواختی و راندمان آبیاری موجی. علوم خاک و آب. ۱۹(۲): ۲۷۹-۲۷۱.
۳. بیگ‌زاده ا.، نقی‌ضیایی ع.، داوری ک. و انصاری ح. (۱۳۹۳) بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل هیدرودینامیک کامل. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۸): ۳۷۷-۳۸۵.
۴. جنوبی ر.، رضاوردی‌نژاد و. و عباسی ف. (۱۳۹۵) ارائه مدل بهینه‌سازی برای برآورد پارامترهای نفوذ و ضریب زبری آبیاری نواری با استفاده از داده‌های پیش‌روی و رواناب. مدیریت آب و آبیاری. ۶(۱): ۲۹-۴۵.
۵. رضاوردی‌نژاد و. و نوریجو ا. (۱۳۹۲) بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل WinSRFR در شرایط تحکیم بستر کاشت چغندر قند. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۶): ۱۲۸۱-۱۲۹۳.
۶. رضاوردی‌نژاد و.، احمدی ح.، همتی م. و ابراهیمیان ح. (۱۳۹۵) ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ در سیستم‌های مختلف آبیاری

مدیریت آب و آبیاری

- شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز: ۸-۱.
۱۴. مصطفی‌زاده ب. (۱۳۶۹) مقایسه پیشروی آب در آبیاری شیاری با جریان‌های پیوسته و سرج در سه مزرعه در اصفهان. علوم کشاورزی ایران. ۲۱(۱ و ۲): ۹-۱۵.
۱۵. میرزایی ع.، صدرالدینی ع. و ناظمی ا. (۱۳۹۰) شبیه‌سازی آبیاری موجی و مقایسه آن با جریان پیوسته. مهندسی منابع آب. ۴: ۷۵-۸۵.
۱۶. نوایان م. و مسلمی کوچصفهانی م. (۱۳۹۱) بهینه‌یابی طول جویچه و دبی جریان در آبیاری جویچه‌ای. پژوهش آب ایران. ۶ (۱۱): ۲۷-۳۴.
17. Ampas V. and Baltas E. (2009) Optimization of the furrow irrigation efficiency. Global NEST. 11(4): 566-574.
18. Bishop A., Walker W.R., Allen N.L. and Poole G.J. (1981) Furrow advance rates under surge flow systems. Irrigation and Drainage Engineering. 107(3): 257-264.
19. Coolidge P.S., Walker W.R. and Bishop A.A. (1982) Advance and runoff-surge flow furrow irrigation. Irrigation and Drainage Engineering. 108(1): 35-42.
20. Eldeiry A.A., Garcia L.A., El-Zaher A.S.A. and El-Sherbini K. (2005) Furrow irrigation system design for clay soils in arid regions. American Society of Agricultural Engineers. 21(3): 411-420.
21. Kanber R., Koksall H., Onder S., Kapur S. and Sahan S. (2001) Comparison of surge and continuous furrow methods for cotton in the Harran plain. Agricultural Water Management. 47: 119-135.
- جویچه‌ای و رژیم‌های مختلف جریان ورودی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۰ (۷۶): ۱۶۱-۱۷۶.
۷. تقی‌زاده ز.، رضاوردی‌نژاد و.، ابراهیمیان ح. و خان‌محمدی م. (۱۳۹۱) ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶ (۶): ۱۴۵۰-۱۴۵۹.
۸. سهرابی ت.، حیدری ن.، توکلی ع. و نیری س. (۱۳۷۵) آبیاری موجی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵۶ صفحه.
۹. صدرالدینی ا.، منعم م. و ناظمی ا. (۱۳۸۵) بهینه‌سازی آبیاری موجی با روش جستجوی ممنوع. علوم کشاورزی ایران. ۳۷ (۱): ۱۱۱۷-۱۲۹.
۱۰. عباسی ف. (۱۳۹۱) اصول جریان در آبیاری سطحی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۱۱ صفحه.
۱۱. عزیززاده ا. (۱۳۸۵) طراحی سیستم‌های آبیاری (جلد اول: طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی). انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۵۰ صفحه.
۱۲. مجدزاده ب.، قبادی‌نیا م.، سهرابی ت. و عباسی ف. (۱۳۸۷) ارزیابی دو مدل ریاضی SIRMOD و SRFR برای بررسی عملکرد آبیاری پیوسته و موجی. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، کرج، ایران: ۳۳۵-۳۴۳.
۱۳. مریدنژاد ع.، کاوئی دیلمی ر. و سعیدی ع. (۱۳۸۹) بهینه‌سازی آبیاری شیاری تحت شرایط اجراشده در کشت و صنعت سلمان فارسی با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR3.1. سومین همایش ملی مدیریت

22. Kannan N. and Abate B. (2015) Studies on hydraulic performance of furrow irrigation to optimise design parameters suitable to onion field in Hawassa, Ethiopia. *Water Utility Journal*. 11: 17-30.
23. Khatri K.L., Shah S.A., Ali Z.M., Solangi G.S. and Tunio M.M. (2016) Optimization of irrigation for efficient water use in surface irrigation soils. *Journal of Engineering, Science and Technology*. 15(1): 75-81.
24. Lima V.I.A., Pordeus R.V., Azevedo C.A.V., Pereira J.O., Lima V.L.A. and Azevedo M.R.Q.A. (2014) Optimization of furrow irrigation systems with continuous flow using the software applied to surface irrigation simulations- SASI. *African Agricultural Research*. 9(42): 3115-3125.
25. Mostafazadeh B. and Walker W.R. (1987) Furrow geometry under surge and continuous flow. *Iran Agricultural Research*. 6(2): 57-71.
26. Stringham G.E. and Keller J. (1979) Surge flow for automatic irrigation. *ASCE Irrigation and Drainage Specialty Conference*, Albuquerque, New Mexico: 132-142.
27. Walker W.R. (2005) Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*. 131(2): 129-136.
28. Walker W.R. and Humpherye A.S. (1983) Kinematic-wave furrow irrigation model. *Irrigation and Drainage Engineering*. 109(4): 377-392.
29. Walker W.R. and Skogerboe G.V. (1987) *Surface irrigation theory and practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 386 p.
30. Wu D., Xue J, Bo X., Meng W., Wu Y. and Du T. (2017) Simulation of irrigation uniformity and optimization of irrigation technical parameters based on the SIRMOD model under alternative furrow irrigation. *Irrigation and Drainage*. Published online in Wiley Online Library, doi: 10.1002/ird.2118.