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

نسرین آزاد طلاتپه[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد[۲]* ، سینا بشارت[۳]، جواد بهمنش[۲]، سید علی‌اشرف صدرالدینی[۳]

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 وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۲۰

چکیده

این تحقیق با هدف تحلیل عملکرد سیستم آبیاری موجی و بهینه‌کردن پارامترهای مدیریتی و طراحی انجام پذیرفت. بدین‌منظور، 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 چرخهٔ ۴۰ و ۵۰ دقیقه، پارامترهای آب و خاک برداشت و مدل آبیاری سطحی SIRMOD واسنجی و ارزیابی شد. سپس، منحنی‌های هم‌بازده سیستم آبیاری به‌منظور 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 ۱۰۰درصد، با انتخاب دبی ۱/۲ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۱۷۰ دقیقه، یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد به‌ترتیب ۸۴ و ۶۰ درصد خواهد بود. طبق نتایج به‌دست‌آمده، در دبی‌های مختلف با درنظرگرفتن 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.

* نویسنده مسئول Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

مقدمه

یکی از مشکلات اصلی آبیاری سطحی، نفوذ زیاد آب در خاک و یکنواخت‌نبودن نیمرخ رطوبتی خاک است که موجب کاهش بازده آبیاری می‌شود. آبیاری جویچه‌ای یکی از روش‌های آبیاری سطحی است. از جمله تلفات عمدهٔ 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 فاصلهٔ زمان‌های متغیر یا ثابت قطع و وصل ایجاد می‌شود (۱۸). تا قبل از سال ۱۹۸۲، تحقیقات در زمینهٔ آبیاری موجی در ایالت‌های یوتا، کلرادو، آیداهو و واشنگتن آمریکا انجام پذیرفت و به نتایج مشابهی به‌دست آمد (۸). در سال ۱۹۷۸ نخستین آزمایش‌های آبیاری موجی در دانشگاه ایالتی یوتا به‌منظور کاهش جریان ورودی بعد از تکمیل مرحلهٔ پیشروی انجام پذیرفت (۲۹). نتایج آزمایش‌ها از سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۲ در دانشگاه ایالتی یوتا نشان داد که آبیاری موجی حجم آب مورد نیاز مرحلهٔ پیشروی را کاهش و یکنواختی پخش آب در طول جویچه را بهبود می‌بخشد (۱۹). مطالعات دیگری در مقایسهٔ مسافت‌های پیشروی حاصل از جریان پیوسته و منقطع نشان داد که با حجم یکسان آب انتقال‌یافته 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 به‌دلیل تشکیل لایهٔ متراکمی از ذرات ریزدانهٔ خاک است که بر اثر حرکت آب به‌وجود می‌آید. فشار منفی حاصل از مرحلهٔ زهکشی نیز موجب تراکم این لایهٔ 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، به‌دلیل کوتاه‌تر شدن زمان کاربرد آب، بین ۱۹ تا ۷۰ درصد نسبت به آبیاری پیوسته کاهش یافت. همچنین، با انتخاب دبی و نسبت چرخهٔ مناسب، نفوذ عمقی کاهش و راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع افزایش یافت (۲۱).

نتایج مطالعهٔ دیگری در مقایسهٔ آبیاری موجی با جریان پیوسته نشان داد که سرعت نفوذ نهایی در جریان موجی بسیار کمتر از جریان پیوسته و سرعت پیشروی جبههٔ رطوبتی، به‌علت 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 شبکهٔ آبیاری سطحی، تشخیص یا برآورد مقادیر اولیه (مشخصات نفوذ، ضریب زبری، شیب جریان، فاصلهٔ 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.

مسئلهٔ بهینه سازی پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای در تحقیقات زیادی مورد توجه محققیان قرارگرفته است. در مطالعه‌ای دربارهٔ بهینه‌سازی آبیاری جویچه‌ای تحت شرایط اجراشده در کشت و صنعت سلمان فارسی با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR، ده مقدار مختلف دبی ورودی و چهار مقدار مختلف شیب جویچه در نظر گرفته‌شد. بهینه‌ترین

دبی ورودی و شیب جویچه برای به‌دست آوردن بالاترین راندمان در شرایط آبیاری جویچه‌های اجراشده در کشت و صنعت به‌دست آمد (۱۳).

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

در تحقیقی، به‌منظور بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای، از مدل هیدرودینامیکی کامل استفاده شد که به‌روش ضمنی پریزمن 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 مطالعهٔ 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 محدودهٔ 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 دربارهٔ 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 به‌دست آوردن بیشترین راندمان کاربرد باید با افزایش طول جویچه دبی ورودی را افزایش داد (۲۰).

مطالعه‌ای در زمینهٔ بهینه‌سازی راندمان آبیاری جویچه‌ای نشان داد که بیشترین راندمان کاربرد با افزایش دبی جریان در شروع آزمایش به‌دست 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 درنظرگرفتن دبی‌های مختلف برای جویچه، دبی بهینه با هدف حداکثر بودن کارایی مصرف آب و بهبود کارایی سیستم آبیاری جویچه‌ای به‌دست 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 حداکثرکردن بازده کاربرد و یکنواختی توزیع و حداقل‌کردن رواناب خروجی و نفوذ عمقی، به‌منظور بهینه‌سازی دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان استفاده شد (۷). همچنین، در مطالعه‌ای مشابه، عملکرد آبیاری جویچه‌ای در شرایط تحکیم بستر کشت چغندرقند با مدل WinSRFR بهینه‌سازی شد. براین اساس با مدیریت زمان آبیاری و دبی ورودی به جویچه به‌همراه 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

راندمان و یکنواختی را به‌دست می‌دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، حداکثر یکنواختی در نسبت‌های سیکل ۲:۳ و ۳:۴ و دبی ۲ لیتر در ثانیه و حداکثر راندمان در دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه و نسبت سیکل ۳:۴ رخ داد (۲).

نتایج تحقیق مشابهی نشان داد که در خاک‌های با بافت‌های سنگین و نسبتاً سنگین حداکثر راندمان در نسبت سیکل ۱:۴ و دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه و در خاک‌های سبک و نسبتاً سبک حداکثر راندمان به‌ترتیب در نسبت‌های سیکل ۱:۳ و ۲:۳ و در دبی‌های ۰/۹۶ 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 به‌دست‌آمده، دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه در نسبت دورهٔ ۱:۴ بهترین عملکرد را داشته است (۱۵).

در مطالعهٔ دیگری، با استفاده از مفهوم شبیه‌سازی بهینه‌یابی، روش جدیدی برای تعیین طول و دبی بهینهٔ جویچه تحت سه روش جریان پیوسته، کاهشی و موجی ارائه شد. در مطالعهٔ مذکور، تابع هدف حداکثرکردن راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب است و برای شبیه‌سازی شاخص‌های تابع هدف مدل بهینه‌یابی از مدل SURFACE استفاده شد (۱۶).

در تحقیق دیگری نیز با به‌کارگیری روش بهینه‌سازی جستجوی ممنوع در آبیاری موجی، مدلی برای بهینه‌سازی پارامترهای آبیاری تهیه شد (۹). با توجه به اهمیت بهینه‌کردن پارامترهای طراحی و مدیریتی سیستم‌های آبیاری در جهت دستیابی به راندمان بالا، مرور مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داد که علی‌رغم توجه برخی محققان به بهینه‌سازی پارامترهای دبی ورودی و زمان قطع جریان در جریان پیوسته، تاکنون از این تکنیک در بهینه‌سازی پارامترهای طراحی و مدیریتی سیستم آبیاری موجی استفاده نشده است. در تحقیقات صورت گرفته در زمینهٔ بهینه‌سازی سیستم آبیاری موجی، با اجرای آبیاری موجی در مزرعه یا مدل شبیه‌سازی، 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 بهینه‌سازی پارامترهای دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان بر اساس شاخص‌های ارزیابی سیستم آبیاری موجی و استخراج منحنی‌های هم‌بازده، همچنین انتخاب بهترین طول جویچه در جهت افزایش راندمان آبیاری موجی انجام گرفت. در این تحقیق منحنی‌های هم‌بازده سیستم آبیاری ابزار مدیریتی جدید و کارایی در جهت ارتقای سیستم آبیاری موجی به‌کار گرفته شد. در روش ارائه‌شده در این تحقیق امکان بررسی طیف وسیع و پیوسته‌ای از شرایط دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و بهینه‌سازی آن با تحلیل هم‌زمان راندمان کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری وجود دارد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها

به‌منظور جمع‌آوری داده‌های صحرایی، آزمایش‌های میدانی در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشگاه تبریز در عرض جغرافیایی ′۱ و °۳۸ و طول جغرافیایی ′۲ و °۴۶ و ارتفاع ۱۵۶۷ تراز سطح دریا انجام گرفت. بعد از عملیات تهیهٔ زمین، جویچه‌هایی به طول ۸۰ متر ایجاد و شیب طولی یکنواخت ۱/۱درصد با دوربین نقشه‌برداری تنظیم شد. نتایج تجزیهٔ فیزیکی خاک مزرعهٔ آزمایشی نشان داد که بافت سطحی خاک لوم شنی و مقادیر شن و سیلت و رس آن به‌ترتیب برابر ۶۳/۶، ۲۴/۲ و ۱۲/۲ درصد است. در این تحقیق، با اجرای آبیاری موجی و با کاربرد دو دبی ۰/۶ و ۰/۸ لیتر بر ثانیه (دبی‌های غیرفرسایشی)، دو زمان چرخهٔ

۴۰ و ۵۰ دقیقه با نسبت چرخهٔ ثابت ۰/۵ تحت عنوان تیمارهای S_1 (دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه و زمان چرخهٔ ۵۰ دقیقه)، S_2 (دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه و زمان چرخهٔ ۴۰ دقیقه)، S_3 (دبی ۰/۶ لیتر بر ثانیه و زمان چرخهٔ ۵۰ دقیقه) و S_4 (دبی ۰/۶ لیتر بر ثانیه و زمان چرخهٔ 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 رابطهٔ پیشنهادی SCS، حد آستانهٔ دبی 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 مقطع‌سنج 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 هندسهٔ جویچه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ضرایب و پارامترهای اندازه‌گیری‌شدهٔ تیمارهای مختلف

متغیر آبیاری		علامت	واحد	تیمار			
				S_1	S_2	S_3	S_4
زمان چرخه		t	min	۵۰	۴۰	۵۰	۴۰
تعداد موج		-	-	۴	۶	۵	۶
دبی ورودی		Q	(lit/s)	۰/۸		۰/۶	
پارامترهای هندسی		σ_1	-	۰/۱۷		۰/۲۶	
		σ_2	-	۱/۴۷		۱/۵۵	
		γ_1	-	۶/۲۷		۵/۴۸	
		γ_2	-	۰/۷۶		۰/۷۱	
پارامترهای معادلهٔ نفوذ	جویچهٔ خشک	f_0	$(m^3m^{-1}min^{-1})$	۰/۰۰۰۳۸		۰/۰۰۰۲۶	
		k	$(m^3m^{-1}min^{-a})$	۰/۰۰۲۴		۰/۰۰۲۵	
		a	-	۰/۵۵۳		۰/۵۵۴	
	جویچهٔ خیس	f_0	$(m^3m^{-1}min^{-1})$	۰/۰۰۰۱۹		۰/۰۰۰۰۸	
		k	$(m^3m^{-1}min^{-a})$	۰/۰۰۰۶۶		۰/۰۰۰۸۹	
		a	-	۰/۸۴۱		۰/۷۳۰	

برای محاسبهٔ مقادیر آب نفوذیافته در جویچه از معادلهٔ کاستیاکوف- لوئیس اصلاح‌شده استفاده شد. این معادله یکی از پرکاربردترین معادلات تخمین میزان نفوذ در آبیاری سطحی است که برای گسترهٔ وسیعی از خاک‌ها مناسب است (۴).

$$Z = kt\hat{}a + f_0\ t \qquad (1)$$

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

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

مدل SIRMOD، واسنجی و ارزیابی عملکرد آن

یکی از ابزارهای مورد استفاده در شبیه‌سازی آبیاری سطحی مدل SIRMOD 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 SIRMOD باید به مدل معرفی شود عبارت است از دبی ورودی، طول و شیب زمین، ضرایب تابع نفوذ، زبری جویچه، مشخصات سطح مقطع جریان و مشخصات موج در آبیاری موجی. از میان پارامترهای مذکور، ضرایب تابع نفوذ و ضریب زبری جویچه باید با توجه به خصوصیات خاک و جریان حاکم بر شرایط واسنجی شود.

در این مطالعه، برای واسنجی پارامترهای مذکور در مدل SIRMOD از روش بهینه‌سازی چندسطحی (۲۷) استفاده شد. با مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ در سیستم‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای (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 معادلهٔ نفوذ کوستیاکوف- لوئیس برای آبیاری جویچه‌ای پیشنهاد شده است.

گام نخست در این روش، تخمین اولیهٔ پارامترهای مجهول (a، k، f_0 و n) است. در این تحقیق، به‌منظور تخمین اولیهٔ پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ به‌ترتیب از مقادیر جدول ۱ و مقادیر توصیه‌شدهٔ 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 شبیه‌سازی‌شده 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 SIRMOD در پیش‌بینی زمان پیشروی و پسروی، از روابط همبستگی و خطا بین مقادیر

مشاهده و برآورد شده توسط مدل در چهار تیمار استفاده شد. بدین‌منظور، از ریشهٔ 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 رابطهٔ (۴)، برای بیان میزان دقت مدلسازی و همبستگی بین مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_0 - X_p)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$RE = \sum \frac{\left|\frac{X_0 - X_p}{X_0}\right|}{n} \times 100 \quad (۳)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum(X_0 - \overline{X_0})(X_p - \overline{X_p})}{\sqrt{\sum(X_0 - \overline{X_0})^2 \sum(X_p - \overline{X_p})^2}}\right)^2 \quad (۴)$$

در این روابط، X_o مقدار مشاهده‌ای، X_p مقدار پیش‌بینی‌شده، $\overline{X_0}$ و $\overline{X_p}$ به‌ترتیب 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 طرحی 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 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 منطقهٔ توسعهٔ 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 اندازهٔ مورد نیاز یا بیشتر آبیاری می‌شود (۱۱))، نفوذ عمقی (DP: درصدی از آب واردشده به مزرعه که از منطقهٔ توسعهٔ ریشه‌ها به‌صورت نفوذ عمقی خارج می‌شود) و رواناب (RO: درصدی از آب واردشده به مزرعه که از منطقهٔ توسعهٔ ریشه‌ها به‌صورت رواناب از انتهای جویچه خارج می‌شود).

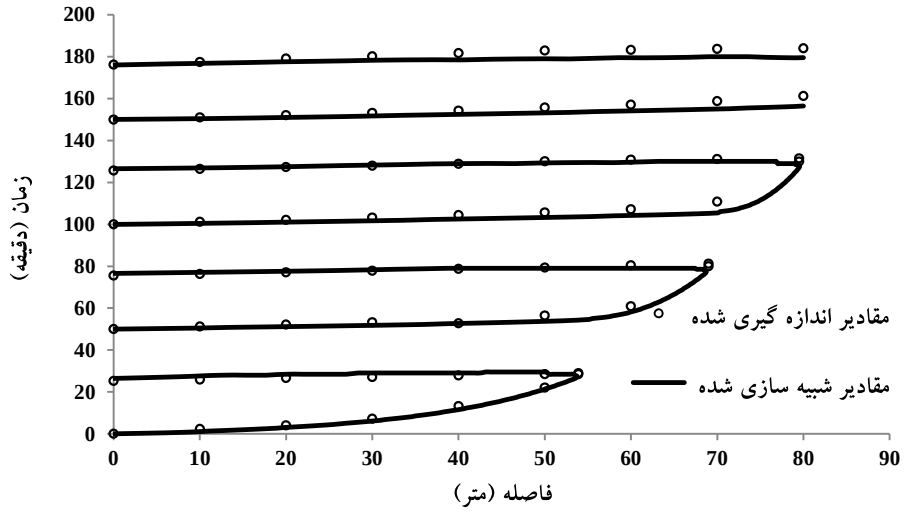
در این فرایند، به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری، شش میزان دبی بر اساس حداقل و حداکثر دبی مجاز جریان ورودی (۱۰) و راندمان مطلوب آبیاری در محدودهٔ دبی‌های ۰/۷ تا ۱/۲ لیتر بر ثانیه و یازده زمان قطع جریان در محدودهٔ ۸۰ تا ۴۸۰ دقیقه (بر اساس ملاحظات مربوط به رسیدن آب به انتهای جویچه و حد مطلوب راندمان آبیاری) با تعداد چهار موج و نسبت چرخهٔ 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 درنظرگرفتن طول‌های مختلف برای جویچه (۴۰ تا ۱۰۰ متر) در محدودهٔ دبی‌های مورد مطالعه، امکان

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

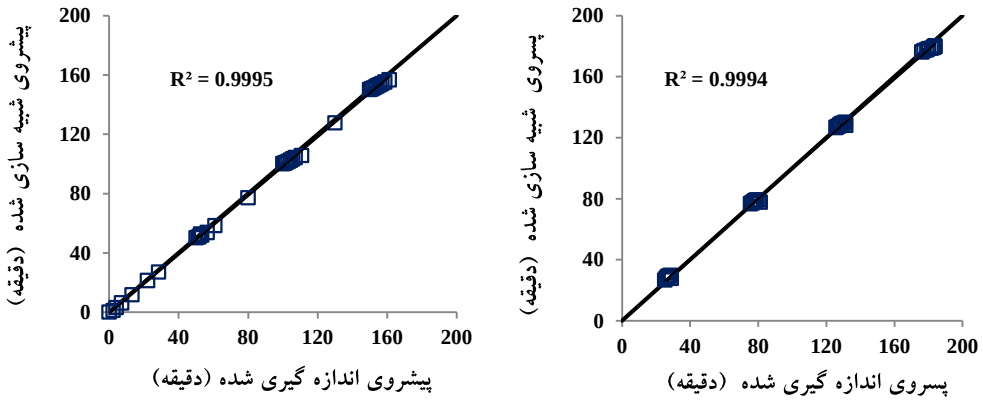
نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد مدل SIRMOD در شبیه‌سازی منحنی پیشروی و پسروی

منحنی‌های پیشروی و پسروی تیمارهای مختلف با مدل شبیه‌سازی‌شده و خطای مدل محاسبه شد. شکل ۱ و ۲ به‌ترتیب منحنی‌های پیشروی و پسروی و همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده 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 اندازه‌گیری‌شده و برآوردشدهٔ منحنی‌های پیشروی و پسروی همبستگی بالایی وجود دارد (شکل ۲).



شکل ۱. منحنی‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در تیمار S_1



شکل ۲. همبستگی مقادیر پیشروی و پسروی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در چهار موج تیمار S_1

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

تیمار	پیشروی		پسروی	
	RMSE (min)	RE (%)	RMSE (min)	RE (%)
S_1	۲/۱٦	٥/۲۱	۲/۰۰	۲/۰۸
S_2	۲/۷۳	۳/۹۲	۱/۸٦	۱/۹۳
S_3	۲/٥۹	٤/۸۲	۱/۹۷	۱/۳۹
S_4	۳/٥٤	٤/٤۲	۲/۰۷	۱/٤۰

مشابه این نتایج در مطالعه‌ای، قابلیت بالای نرم‌افزار NRSC-SURFACE (SIRMOD extension) در شبیه‌سازی زمان پیشروی جریان موجی نشان داده شده است (۱۲). جدول ۲ نشان می‌دهد که خطای برآورد منحنی‌های پیشروی و پسروی در مدل SIRMOD بسیار پایین است و مدل 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 به‌همراه خط Dreq=Dmin (Dreq عمق مورد نیاز آبیاری: ۳۰ میلی‌متر و Dmin کمترین عمق آب نفوذیافته در انتهای جویچه) برای تیمار S_1 ارائه شده است.

همان‌گونه که انتظار می‌رود، راندمان کاربرد در گوشهٔ 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 نشان‌دهندهٔ 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 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. ستارهٔ موجود در سمت چپ خط‌چین نشان‌دهندهٔ شرایط موجود (وضعیت فعلی) است. در شرایط موجود، بازده کاربرد ۷۲/٥۹ درصد است که در آن Dmin<Dreq و کفایت آبیاری ۹۶/۷۸ درصد است.

در تأمین عمق مورد نیاز آبیاری در همهٔ 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 درنظرگرفتن 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

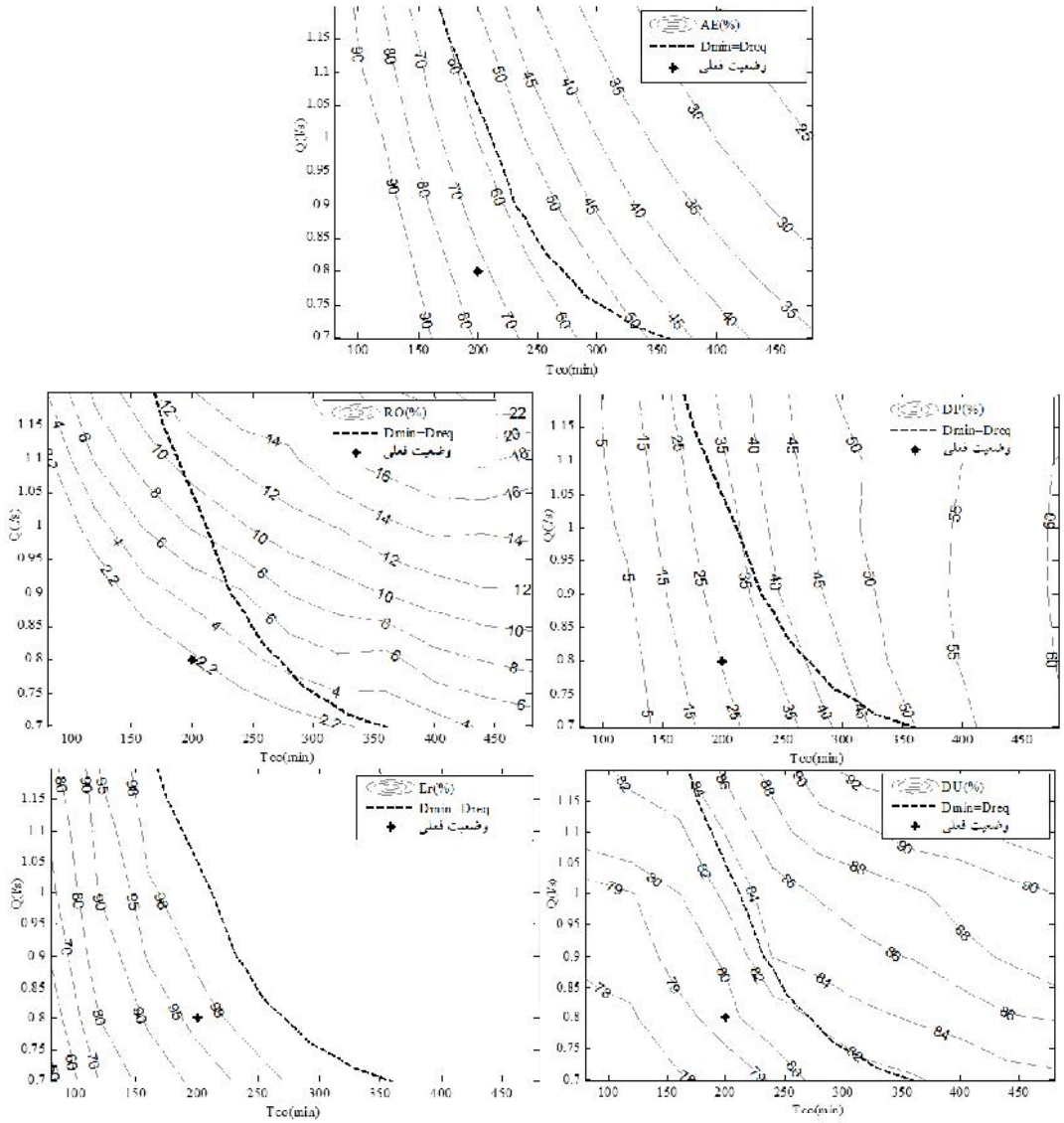
منحنی‌های هم‌رواناب خروجی دارای خطوط افقی است. این بدان معناست که در زمان قطع جریان مشخصی، تغییر و افزایش دبی تأثیر چندانی بر مقدار نفوذ عمقی نخواهد داشت، ولی رواناب انتهایی افزایش خواهد یافت. برعکس، در دبی مشخصی، با افزایش زمان قطع جریان، نفوذ عمقی به‌شدت افزایش پیدا خواهد کرد، ولی رواناب انتهایی تغییر 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 Q و T_{co} شده است. ولی در کل، علت کاهش راندمان کاربرد، به‌خصوص در زمان‌های قطع طولانی، به‌طور عمده در این بافت خاک سبک مربوط به نفوذ عمقی است و رواناب نقش کمی در کاهش راندمان کاربرد دارد.

ولی نتایج مطالعه‌ای در سیستم آبیاری جویچه‌ای 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). منحنی‌های هم‌بازده یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در شکل ۳ نشان می‌دهد که ترکیباتی از Q و T_{co} موجب کاهش شدید یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در دبی‌ها و زمان‌های قطع جریان کوتاه خواهد شد. در شرایط کنونی، کفایت آبیاری و یکنواختی توزیع به‌ترتیب در حدود ۹۷ و ۷۸ درصد و بیانگر شرایط مناسب آبیاری در وضعیت کنونی است و با انتخاب جفت مقادیر Q و T_{co} می‌توان کفایت آبیاری و توزیع یکنواختی را بیش از این نیز افزایش داد.

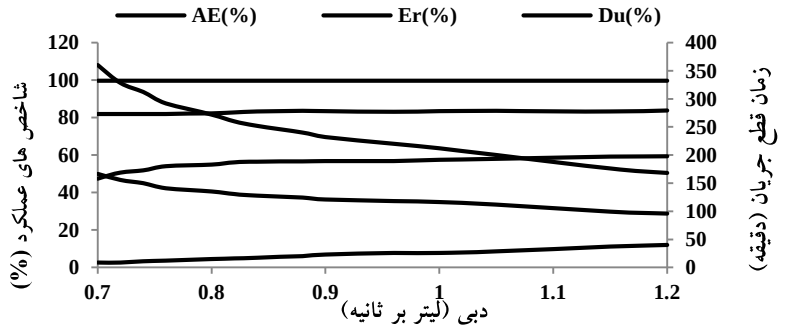
در حالت کلی، ترکیب مطلوب Q-T_{co} ترکیبی است که بازده کاربرد و یکنواختی توزیع را به حداکثر برساند؛ یعنی، روی خط Dreq=Dmin، شرایط حداکثر شدن مجموع بازده کاربرد و یکنواختی توزیع طرح بهینه در نظر گرفته می‌شود. در این صورت، کفایت آبیاری نیز ۱۰۰ درصد خواهد بود. با حرکت روی خط Dreq=Dmin و با هدف تأمین عمق مورد نیاز آبیاری، با انتخاب دبی ۱/۲ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۱۷۰ دقیقه، راندمان کاربرد در این تیمار ۶۰ درصد خواهد بود که در این شرایط یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری نیز بیشترین مقدار خود، یعنی به ترتیب ۸۴ و ۱۰۰ درصد، را خواهد داشت. نتایج مطالعه نشان داد که با مدیریت زمان قطع جریان و دبی ورودی، بازده کاربرد را می‌توان در سیستم آبیاری یک در میان ثابت از ۵۴/۵ درصد به ۷۴ 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 ۵۷ درصد به ۷۰ درصد و راندمان نیاز آبیاری از ۸۱ درصد به ۹۵ درصد افزایش یافت (۳). همچنین، در مطالعهٔ بهینه‌سازی آبیاری چویچه‌ای در شرایط اجراشده در کشت و صنعت سلمان فارسی، دبی بهینهٔ ورودی جویچه‌ها برای به‌دست آوردن بالاترین راندمان برابر ۱/۵ لیتر بر ثانیه به‌دست آمد (۱۳).

برای نشان دادن تغییرات شاخص‌های عملکرد در اثر تغییر دبی در شرایط Dreq=Dmin، می‌توان به شکل ۴ مراجعه کرد. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، با افزایش دبی در تأمین Dreq=Dmin، زمان قطع جریان کاهش می‌یابد. در این شرایط، رواناب انتهایی با شیب ثابت کمی افزایش می‌یابد، ولی نفوذ عمقی با افزایش دبی کاهش می‌یابد و این کاهش تا دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه دارای شیب بیشتری است. پس از آن با شیب کمتری کاهش می‌یابد. راندمان کاربرد نیز با افزایش دبی، تا دبی ۰/۸ 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 ۲ درصد است. همانگونه که انتظار می‌رود، کفایت آبیاری در همهٔ شرایط ۱۰۰ درصد است.



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



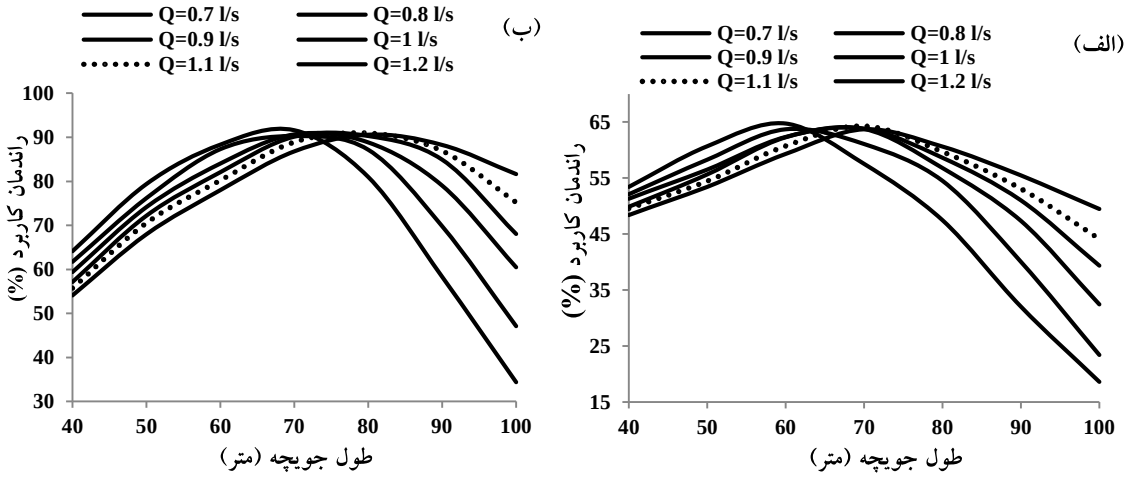
شکل ۴. تغییرات شاخص‌های عملکرد در اثر تغییر دبی در شرایط Dreq=Dmin در تیمار S_1

تأثیر طول جویچه در جهت افزایش راندمان آبیاری

همان‌گونه 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 هندسهٔ مقطع این امکان را فراهم نمی‌کند. بنابراین، در این قسمت از مطالعه سعی شد با درنظرگرفتن طول‌های مختلف برای جویچه، امکان افزایش راندمان کاربرد با تغییر طول جویچه راهکاری مدیریتی بررسی شود. شکل ۵الف نتایج بررسی راندمان کاربرد در طول‌ها و دبی‌های مختلف جویچه را نشان می‌دهد. این نتایج با تأمین عمق مورد نیاز آبیاری در تمام قسمت‌های جویچه و کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمده است. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، هر دبی در طول مشخصی حداکثر راندمان را خواهد داشت. برای مثال، در دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه، با طول جویچهٔ ۶۰ متر، راندمان کاربرد حدود ۶۴ درصد خواهد بود که نسبت به طول اجراشده در این تحقیق، ۴ درصد افزایش نشان می‌دهد. بنابراین، در هر دبی مشخص می‌توان طولی از جویچه را برای طراحی انتخاب کرد که در آن راندمان کاربرد بیشینه باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، برای به‌دست‌آوردن بیشترین راندمان کاربرد باید با افزایش طول جویچه، دبی ورودی را افزایش داد. نتایج مشابهی نیز در طراحی سیستم آبیاری جویچه‌ای در خاک‌های رسی مناطق خشک به‌دست آمد (۲۰). نتایج تحقیق دیگری در بهینه‌سازی طول جویچه برای رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری در شیب‌های مختلف جویچه و دبی‌های متفاوت جریان در آبیاری جویچه‌ای نشان داد که در شیب‌های بالاتر از ۳ درصد، افزایش دبی جریان بیش از ۰/۷ لیتر بر ثانیه، طول بهینهٔ جویچه در رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری را کاهش می‌دهد (۲۲).

در دبی‌های مختلف، با درنظرگرفتن بهترین طول جویچه، راندمان کاربرد حداکثر تا ۶۵ درصد افزایش می‌یابد و امکان افزایش راندمان کاربرد به بیش از این مقدار وجود ندارد. ولی می‌توان به‌عنوان راهکار مدیریتی، به‌خصوص در شرایط کم‌آبی، با درنظرگرفتن 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. در شکل ۵ب، با درنظرگرفتن کفایت آبیاری ۹۰ درصد، راندمان کاربرد در دبی‌ها و طول‌های مختلف جویچه بررسی شد. با توجه به این شکل، در دبی‌های 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 جویچهٔ 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 جویچهٔ ۷۰ متری، راندمان کاربرد ۹۱/۶۱ درصد است.

لازم به توضیح است که نتایج این تحقیق در شرایط بافت خاک و شیب اجراشده در مطالعه کاربرد دارد و همان‌گونه که مطالعات قبلی نشان داده است (۲۲ و ۳۰) بهینه‌سازی پارامترهای طراحی و مدیریتی در آبیاری جویچه‌ای 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 پیشنهادشده 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.



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 بهینهٔ 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 منعکس‌کنندهٔ 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 واسنجی 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 درنظرگرفتن 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

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

نتایج این تحقیق نشان داد که امکان افزایش راندمان کاربرد، به‌شرط تأمین عمق مورد نیاز آبیاری، به بیش از ۶۰ درصد وجود ندارد، زیرا شرایط فیزیکی جویچه از قبیل شیب، طول و هندسهٔ مقطع این امکان را فراهم نمی‌کند. بنابراین، در ادامهٔ این مطالعه سعی شد با درنظرگرفتن 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 درنظرگرفتن کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد، در دبی‌های مختلف، با درنظرگرفتن 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 درنظرگرفتن 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 درنظرگرفتن 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 گسترهٔ وسیع و پیوسته‌ای از متغیرهای دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و انعطاف‌پذیری این روش در لحاظ‌کردن شرایط مختلف کفایت آبیاری در رسیدن به حداکثر راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب در مزرعه، استفاده از این روش و تحلیل منحنی‌های هم‌بازده بازده کاربرد، یکنواختی توزیع و کفایت آبیاری در طراحی و مدیریت بهینهٔ سیستم آبیاری موجی پیشنهاد می‌شود.

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 شهابی‌فر م. (۱۳۸۴) بررسی اثر تغییر پارامترهای موج بر روی یکنواختی و راندمان آبیاری موجی. علوم خاک و آب. ۱۹(۲): ۲۷۱-۲۷۹.

۳. بیک‌زاده ا.، نقی‌ضیایی ع.، داوری ک. و انصاری ح. (۱۳۹۳) بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل هیدرودینامیک کامل. نشریهٔ آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۸): ۳۷۷-۳۸۵.

۴. جنوبی ر.، رضاوردی‌نژاد و. و عباسی ف. (۱۳۹۵) ارائهٔ 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 نورجو ا. (۱۳۹۲) بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل WinSRFR در شرایط تحکیم بستر کاشت چغندرقند. نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۶): ۱۲۸۱-۱۲۹۳.

۶. رضاوردی‌نژاد و.، احمدی ح.، همتی م. و ابراهیمیان ح. (۱۳۹۵) ارزیابی و مقایسهٔ روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ در سیستم‌های مختلف آبیاری

جویچه‌ای و رژیم‌های مختلف جریان ورودی. نشریهٔ علوم آب و خاک (علـوم و فنـون کشـاورزی و منـابع طبیعی). ۲۰ (۷۶): ۱۶۱-۱۷۶.

۷. تقـی‌زاده ز.، رضـاوردی‌نـژاد و.، ابراهیمیـان ح. و خان‌محمدی م. (۱۳۹۱) ارزیـابی مزرعـه‌ای و تحلیـل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعهٔ مـوردی آبیاری جویچه‌ای). نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۶): ۱۴۵۰-۱۴۵۹.

۸. سـهرابی ت.، حیـدری ن.، تـوکلی ع. و نیریـزی س. (۱۳۷۵) آبیاری موجی. انتشارات کمیتهٔ ملی آبیـاری و زهکشی ایران. ۱۵۶ صفحه.

۹. صدرالدینی ا.، منعم م. و ناظمی ا. (۱۳۸۵) بهینه‌سـازی آبیـاری مـوجی بـا روش جسـتجوی ممنـوع. علـوم کشاورزی ایران. ۳۷(۱): ۱۱۱۷-۱۲۹.

۱۰. عباسی ف. (۱۳۹۱) اصـول جریـان در آبیـاری سـطحی. انتشارات کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۱۱ صفحه.

۱۱. علیزاده ا. (۱۳۸۵) طراحی سیستم‌هـای آبیـاری (جلـد اول: طراحی سیستم‌های آبیـاری سـطحی). انتشـارات آستان قدس رضوی. ۴۵۰ صفحه.

۱۲. مجدزاده ب.، قبادی‌نیـا م.، سـهرابی ت. و عباسـی ف. (۱۳۸۷) ارزیابی دو مدل ریاضی SIRMOD و SRFR برای بررسی عملکرد آبیاری پیوسته و موجی. دومـین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیـاری سطحی، کرج، ایران: ۳۳۵-۳۴۳.

۱۳. مریـدنژاد ع.، کـاوئی دیلمـی ر. و سـعدی ع. (۱۳۸۹) بهینه‌سازی آبیاری شیاری تحـت شـرایط اجراشـده در کشت و صنعت سلمان فارسی با استفاده از نـرم‌افـزار WinSRFR3.1. سـومین همـایش ملـی مـدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشـگاه شـهید چمـران اهواز: ۱-۸.

۱۴. مصطفی‌زاده ب. (۱۳۶۹) مقایسهٔ پیشروی آب در آبیـاری شیاری با جریان‌های پیوسته و سـرج در سـه مزرعـه در اصفهان. علوم کشاورزی ایران. ۲۱(۱و۲): ۹-۱۵.

۱۵. میرزایـی ع.، صـدرالدینی ع. و نـاظمی ا. (۱۳۹۰) شـبیه‌سـازی آبیـاری مـوجی و مقایسـهٔ آن بـا جریـان پیوسته. مهندسی منابع آب. ۴: ۷۵-۸۵.

۱۶. نوابیان م. و مسلمی کوچصفهانی م. (۱۳۹۱) بهینه‌یـابی طول جویچـه و دبـی جریـان در آبیـاری جویچـه‌ای. 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., Koksal 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.

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.