

بهینه کردن پارامترهای طراحی و مدیریت آبیاری نواری: مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر

نادر حیدری* و فریبرز عباسی**

* نگارنده مسئول: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. تلفن: ۰۲۶)۳۲۷۰۵۳۲۰، پیام‌نگار: nrheydari@yahoo.com

** به ترتیب: دانشیار؛ و استاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۱۱

چکیده

در بسیاری از کشورهای جهان، آبیاری سطحی یکی از مهم‌ترین روش‌های آبیاری اراضی فاریاب است و بیش از ۹۰ درصد اراضی فاریاب هنوز با روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند. تعیین ابعاد بهینه قطعات آبیاری و سایر عوامل طراحی و مدیریت آبیاری، شامل شیب، دبی ورودی و مدت زمان آبیاری نقش زیادی در افزایش راندمان کاربرد آبیاری و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و تولید دارد. این پژوهش با هدف تعیین ابعاد و پارامترهای طراحی و مدیریت بهینه قطعات آبیاری نواری (با انتهای بسته) و برای نیل به راندمان آبیاری بالا و ضریب یکنواختی توزیع آب مناسب در اراضی پروژه شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر، که از واحدهای مطالعاتی و اجرایی طرح ۵۵۰ هزار هکتاری احیای دشت‌های خوزستان و ایلام (در استان خوزستان) به‌شمار می‌آید، اجرا شد. با استفاده از اندازه‌گیری‌های پیش‌روی - پسروی آب در طول نوار و کاربرد مدل جامع آبیاری سطحی WinsRFR3.1 پارامترهای معادله نفوذ آب در خاک تعیین و مدل مذکور واسنجی شد. با استفاده از بخش بهینه‌سازی مدل، ترکیب‌های مختلفی از ابعاد قطعات آبیاری و سایر پارامترهای طراحی و مدیریت آبیاری نواری (برای رژیم جریان انتها بسته) ارائه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، گزینه عرض نوار ۷ متر و طول نوار ۲۰۰ متر با شیب ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ برای همه دبی‌های ورودی (۲۰-۱۰ لیتر در ثانیه) و عمق‌های خالص آبیاری (۹۰-۵۰ میلی‌متر) از نظر راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب گزینه مناسب و ایده‌آلی است. گزینه طراحی طول نوار ۱۰۰ متر و شیب طولی نوار برابر ۰/۰۰۰۵ برای تمامی ترکیب‌های عرض‌های نوار (۱۲-۴ متر)، عمق‌های خالص آبیاری (۹۰-۵۰ میلی‌متر) و دبی‌های آبیاری (۲۰-۱۰ لیتر در ثانیه) راندمان آبیاری بالایی را نسبت به سایر گزینه‌ها فراهم می‌کند. طول نوار ۳۰۰ متر و بالاتر در حالت کاربرد دبی‌های کم تا متوسط (تا ۲۰ لیتر در ثانیه) برای تمامی مقادیر گزینه‌های شیب نوار، عرض نوار، و عمق خالص آبیاری به دلیل راندمان بسیار کم یا تکمیل نشدن فاز پیشروی جریان، توصیه نمی‌شود. در مجموع، در شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر اگر ابعاد قطعات به همراه سایر پارامترهای طراحی و مدیریت آبیاری شامل دبی و مدت زمان آبیاری به طور مناسب انتخاب شود، با روش آبیاری سطحی نواری حصول به راندمان‌های مناسب کاربرد آب در مزرعه حتی بالاتر از ۷۰ درصد برای بسیاری از گزینه‌های طراحی ارائه شده در این پژوهش به راحتی امکان‌پذیر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی

راندمان کاربرد، زمان آبیاری، شبکه آبیاری رامشیر، طول بهینه، قطعه آبیاری، نوار آبیاری

مقدمه

آبیاری سطحی یکی از مهم‌ترین روش‌های آبیاری اراضی فاریاب است. در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر، بیش از ۹۰ درصد اراضی فاریاب با روش‌های سطحی آبیاری

با پیشرفت علم و فناوری، شیوه‌هایی نوین در آبیاری ابداع شده‌اند اما هنوز در بسیاری از کشورهای جهان،

خرد و پراکنده بهره‌برداران، که از الزامات فعالیت‌های عمده برنامه گفته شده هستند، اجرا شده است.

راندمان کاربرد آب از شاخص‌های مهم در تعیین استفاده از آب و صرفه‌جویی در آب و سرانجام افزایش تولید و بهبود بهره‌وری آب مزرعه است. گسترش استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار در اراضی فاریاب کشور یکی از برنامه‌های اصلی دولت در صرفه‌جویی در منابع آب کشاورزی بوده است، اما هنوز نزدیک به هشتاد درصد اراضی فاریاب کشور به روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند که باید برنامه‌های بهبود آبیاری سطحی در آنها پیاده شود (Abbasi, 2012). یکی از مشکلات اصلی در پایین بودن شاخص راندمان کاربرد آب و شاخص کارایی مصرف آب آبیاری در کشور، اجرا نشدن روش‌های آبیاری سطحی با طراحی علمی و استفاده نکردن از روش‌های نوین آبیاری سطحی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های نوین در آبیاری سطحی می‌توان به راحتی راندمان کاربرد آب در روش‌های آبیاری سطحی را حتی به بیش از ۷۰ درصد افزایش داد (Abbasi, 2012).

مریدنژاد و همکاران (Moridnezhad *et al.*, 2010) پژوهشی را با هدف رفع مسائل موجود و افزایش راندمان آبیاری در مزارع نیشکر کشت و صنعت توسعه نیشکر واحد سلمان فارسی با استفاده از مدل WinSRFR انجام دادند. در پژوهش آنها ۱۰ مقدار برای دبی ورودی به جویچه و ۴ مقدار مختلف برای شیب جویچه در نظر گرفته شد که مقادیر آنها نزدیک به دبی و شیب‌های اجرا شده در کشت و صنعت بود. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط آبیاری جویچه‌های اجرا شده در کشت و صنعت سلمان فارسی، دبی بهینه ورودی برای حصول بالاترین راندمان آبیاری ۱/۵ لیتر در ثانیه و شیب بهینه برابر ۰/۰۰۰۲۵ متر بر متر (۰/۲۵ متر در هزار) است. نورآبادی و همکاران (Noorabadi *et al.*, 2013) در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR 4.1 برای شبیه‌سازی فرایند آبیاری

می‌شوند. کشور ایران با حدود ۸/۳ میلیون هکتار اراضی فاریاب، ششمین کشور جهان از این جنبه است (Abbasi, 2012).

استان خوزستان با توجه به برخورداری از منابع آب‌های سطحی رودخانه‌های متعدد و همچنین خاک و آب و هوای مستعد برای کشت و تولید محصولات کشاورزی حتی بیش از یک فصل در سال، دارای ظرفیت زیادی در این زمینه است. به‌رغم احداث سدهای ذخیره‌ای مختلف و کانال‌های اصلی آبیاری در استان خوزستان، روند ساخت شبکه‌های فرعی آبیاری (کانال‌های درجه ۳ و ۴) در این استان، مانند سایر نقاط کشور، بسیار کند و ناچیز بوده است؛ این کانال‌ها در رساندن آب به مزرعه و کاستن از تلفات آبیاری و به تبعیت از آن بالابردن راندمان آبیاری و افزایش تولید نقش اساسی دارند. به همین منوال، با توجه به مشکل زهدار بودن و شوری خاک‌های منطقه، روند زهکشی مصنوعی اراضی برای خروج آب‌های مازاد و اصلاح خاک نیز ناچیز بوده است. بر اساس گزارش‌های مختلف موسسه جهاد نصر، عقب افتادگی احداث شبکه‌های فرعی نسبت به شبکه‌های اصلی در این استان حدود ۵۱ درصد بوده است. از این‌رو طرح ۵۵۰ هزار هکتاری احیای دشت‌های خوزستان و ایلام، موسوم به طرح احیای اراضی، تصویب و از سال ۱۳۹۰ در قالب ۳۰ طرح (از جمله پروژه آبیاری و زهکشی رامشیر) به مرحله اجرا گذاشته شده است. این طرح بر مطالعه و احداث شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی، به طور عمده در قالب ساخت و کارگذاری کانالت تمرکز داشته و هدف از آن احداث کانال‌های آبرسان درجه ۳ و ۴، احداث شبکه‌های فرعی (لاترال) و جمع‌کننده‌های زهکشی (بالول) پلاستیکی و فیلتر مصنوعی) بوده است. سایر فعالیت‌های بهبود مدیریت آب و تولید بیشتر در شرایط مزرعه نیز از جمله تسطیح اراضی، احداث جاده‌های سرویس و دسترسی مزارع، و از همه مهم‌تر یکپارچه‌سازی اراضی

نیاز از ۵۴/۵ درصد در شرایط جاری به ۷۴ درصد افزایش داد. عباسی و شینی-دشتگل (Abbasi & Sheini, 2015) در پژوهشی با هدف ارزیابی وضعیت موجود مدیریت آبیاری جویچه‌ای و شناخت نقاط ضعف و روش‌های بهبود مصرف آب در اراضی چهار کشت و صنعت نیشکر دهخدا، امیرکبیر، حکیم فارابی، و کارون راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آبیاری را اندازه‌گیری کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که دور آبیاری در مزارع کوتاه، مدت زمان آبیاری طولانی و مقدار آب آبیاری کاربردی بیش از حد نیاز بوده است. راندمان کاربرد آب بین ۷ تا ۱۰۰ درصد و متوسط آن ۴۲/۵ درصد است. یکنواختی توزیع کاربرد آب در مزارع زیاد و حدود ۹۲ درصد است. تلفات آب به‌طور عمده ناشی از نفوذ عمقی و علت آن تسطیح نامناسب زمین و نامناسب بودن شیب طولی و عرضی مزارع، انتخاب نامناسب دبی ورودی، انتخاب نامناسب دور و مدت زمان آبیاری، و ناکافی بودن نظارت بر کار کارگران آبیاری بوده است.

آبیاری سطحی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری در جهان بوده و به‌رغم پیشرفت‌های فناوری و ابداع روش‌های جدید آبیاری، طرفداران زیادی دارد زیرا هزینه اولیه آن کمتر است، به دانش فنی جدید نیاز ندارد و اجرای آن ساده است. به همین دلیل متخصصان امور آب تلاش می‌کنند تا با ارائه روش‌های جدید آبیاری سطحی و اجرای آبیاری سطحی طراحی شده و پیدا کردن مجهولات (پارامترهای بهینه طراحی)، راندمان آبیاری سطحی را افزایش دهند. ابعاد قطعات زراعی شامل طول و عرض نوار یا جویچه در افزایش راندمان آبیاری سطحی در تلفیق و ارتباط با پارامترهای دیگر طراحی نظیر دبی ورودی آب، شیب زمین، ضریب زبری، نفوذپذیری خاک، مدت زمان پیشروی آب و غیره نقش مهمی دارند. با شناخت و آزمون تأثیر این عوامل و شبیه‌سازی جریان می‌توان ابعاد مناسب و بهینه قطعات زراعی را تعیین و حالت‌های مختلف تغییر

جویچه‌ای نشان دادند که مدل در پیش‌بینی پارامترهای فوق در جویچه‌های با طول کوتاه توانایی خوبی دارد به‌طوری‌که ضریب تبیین (R^2) برای مرحله پیشروی برابر ۰/۹۶۳ و برای هیدروگراف جریان خروجی برابر ۰/۷۱۷ و خطای نسبی برآورد حجم آب نفوذیافته نیز پایین است. مکاری‌قهرودی و همکاران (Makari-Ghahroodi et al., 2013) از مدل WinSRFR3.1 برای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای استفاده کردند و نتیجه گرفتند که مدل با دقت خوبی زمان‌های پیشروی و پسروی، فرصت و عمق نفوذ و بیلان حجمی آب را در جویچه‌های کوتاه تا نسبتاً طولانی شبیه‌سازی می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش این محققان، بیشترین میانگین خطای مدل (۶/۲ درصد) مربوط به برآورد حجم رواناب سطحی و کمترین آن (۳/۳۲ درصد) مربوط به برآورد حجم آب ورودی است. تقی‌زاده و همکاران (Taghizadeh et al., 2012) مدل WinSRFR را با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای و بر اساس دو روش حل اینرسی- صفر و موج کینماتیک واسنجی و ارزیابی کردند. تحلیل حساسیت نشان داد که مدل بیشترین حساسیت را به‌ترتیب به دبی ورودی، زمان قطع جریان و پارامترهای معادله نفوذ دارد. اختلاف دو روش حل اینرسی- صفر و موج کینماتیک در تخمین مدت زمان پیشروی، رواناب و مقدار نفوذ به‌دلیل بالا بودن شیب مزرعه (روش آبیاری جویچه‌ای) ناچیز بود. این محققان همچنین با استفاده از تحلیل عملیاتی مدل، منحنی‌های هم‌عملکرد (Performance) سیستم آبیاری جویچه‌ای را به منظور بهینه‌سازی دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و با توابع حداکثر کردن راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع و حداقل کردن رواناب خروجی و نفوذ عمقی، استخراج کردند. منحنی‌های هم‌عملکرد سیستم آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت تحت تابع هدف بازده کاربرد نشان داد که با مدیریت زمان قطع جریان و دبی ورودی، بازده کاربرد را می‌توان به شرط تأمین عمق آبیاری مورد

پارامترها را بر راندمان آبیاری، یکنواختی توزیع آب، مصرف مؤثر و تلفات آب بررسی کرد.

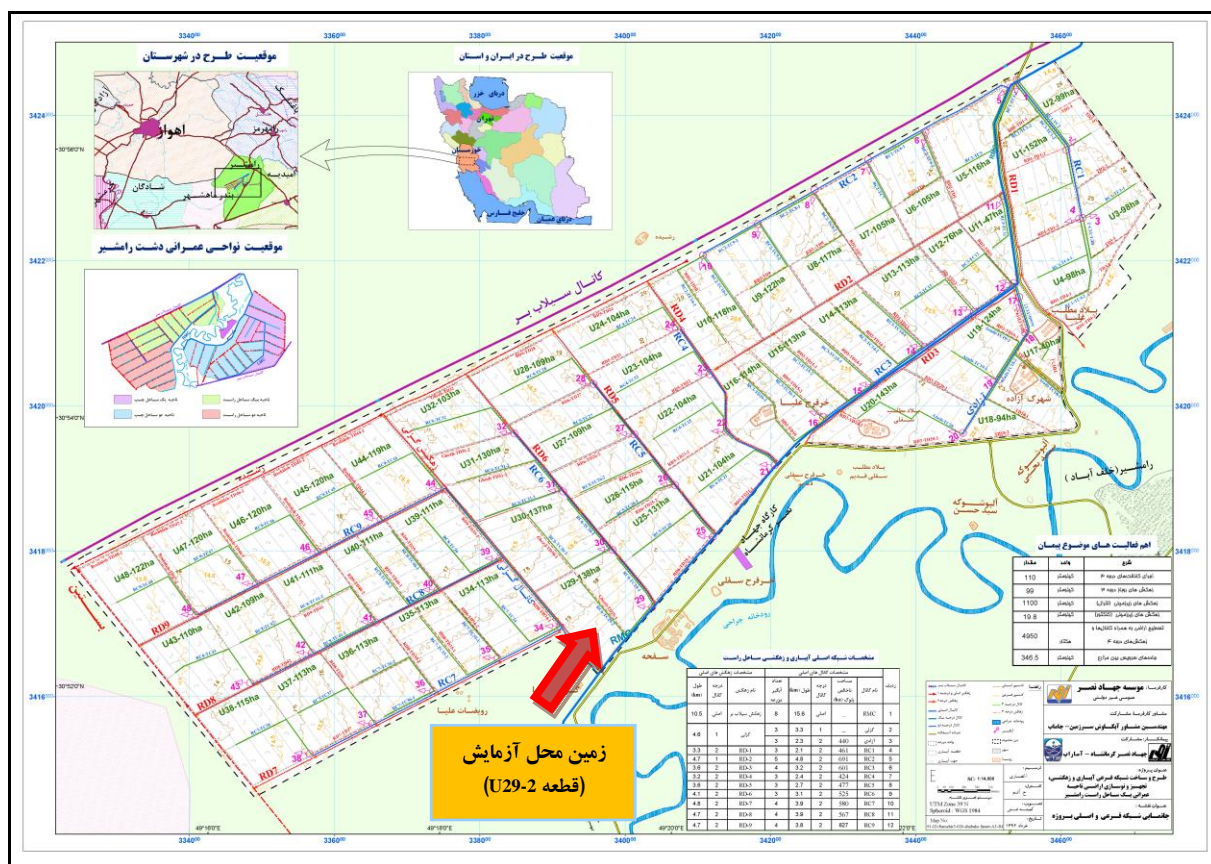
با توجه به طراحی اولیه ابعاد قطعات آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی دشت رامشیر توسط مشاوران فنی طرح و با استفاده از نتایج پژوهش‌های گذشته، تعیین ابعاد بهینه قطعات و سایر عوامل (شیب، دبی ورودی، و مدت زمان آبیاری) که نقش زیادی در افزایش راندمان آبیاری و همچنین کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و تولید پروژه خواهد داشت، ضرورت و اهمیت دارد. از این‌رو، این پژوهش با هدف تعیین بهینه متغیرهای طراحی آبیاری نواری شامل طول، عرض، دبی ورودی، مدت زمان آبیاری، و شیب مناسب نوارهای آبیاری برای رسیدن به حداکثر راندمان کاربرد آب در مزرعه طی سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ در اراضی پروژه شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر در استان خوزستان به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

پروژه آبیاری و زهکشی رامشیر ۵۳۰۵ هکتار مساحت دارد. این منطقه به صورت طولی به موازات رودخانه جراحی در نزدیکی روستای ابوطویج، از نقاط به مختصات (UTM) ۳۴۷۰۰۰ شرقی و ۳۴۲۲۵۰۰ شمالی و همچنین ۳۴۶۵۰۰ شرقی و ۳۴۲۴۰۰۰ شمالی شروع می‌شود. این طرح در عرض خود از یک طرف به جاده غرب جراحی و از طرف دیگر به زهکش سیلاب‌بر می‌رسد و سرانجام به زهکش بستین در نقطه‌ای به مختصات ۳۳۴۷۲۸ شرقی و ۳۴۱۴۹۹۹ شمالی و دیگری در نقطه‌ای به مختصات ۳۳۲۵۰۰ شرقی و ۳۴۱۷۵۰۰ شمالی ختم می‌شود. در شکل ۱ موقعیت مکانی پروژه آبیاری و زهکشی رامشیر و قطعات زراعی آن نمایش داده شده است. اقلیم منطقه گرم و خشک است. بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه

کلیماتولوژی رامهرمز، نزدیک‌ترین ایستگاه به محل اجرای پژوهش (شبکه رامشیر)، در سال ۱۳۹۲ حداکثر مطلق دما (۵۱/۶ درجه سلسیوس) در تیرماه، حداقل مطلق دما (۲/۰ درجه سلسیوس) در آذرماه، میزان تبخیر ۲۹۲۸ میلی‌متر و بارش در همین دوره برابر ۲۵۲ میلی‌متر بوده است. بافت خاک محل آزمایش نسبتاً سنگین است. بافت خاک لایه‌های ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ و ۵۰-۱۰۰ و ۱۰۰-۷۵ سانتی‌متر به ترتیب لوم‌رسی سیلتی (SiCL)، لوم‌رسی سیلتی تا لوم‌رسی (SiCL-CL)، لوم‌سیلتی تا لوم (SiL-L) و لوم‌سیلتی تا لوم (SiL-L) و جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک لایه‌های مختلف به ترتیب برابر ۱/۷ و ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. شوری اولیه خاک لایه‌های مختلف از سطح تا عمق یک متری بین ۱۶ تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. با توجه به کیفیت نسبتاً مناسب آب آبیاری و وجود زهکش‌های زیرزمینی در اراضی، شوری اولیه خاک با هر آبیاری به تدریج کاهش می‌یابد و به حد مطلوب (تا حدود ۴ دسی‌زیمنس بر متر) می‌رسد. شرایط سدیمی خاک نیز تقریباً همین روند کاهش را دارد. کیفیت آب آبیاری (هدایت الکتریکی EC) برابر ۲/۵۹ دسی‌زیمنس بر متر و نسبت جذب سدیم (SAR) آن برابر ۴/۱۰ است و بدین ترتیب در مجموع آب آبیاری منطقه بر اساس دیاگرام ویلکاکس در کلاس C2S1 قرار می‌گیرد. بر این اساس کلاس شوری آب آبیاری در حد متوسط و از لحاظ سدیمی بودن در حد کم است. بر اساس جدول کیفیت آب فائو، شوری آب دارای محدودیت کم تا متوسط و از لحاظ سدیمی دارای محدودیت ناچیز است.

نصب زهکش‌های زیرزمینی در اراضی به تازگی خاتمه یافته است و از این‌رو اراضی هنوز شور و زهدار بودند؛ آب تحت‌الارضی نیز در عمق حدود ۳ متری قرار دارد.



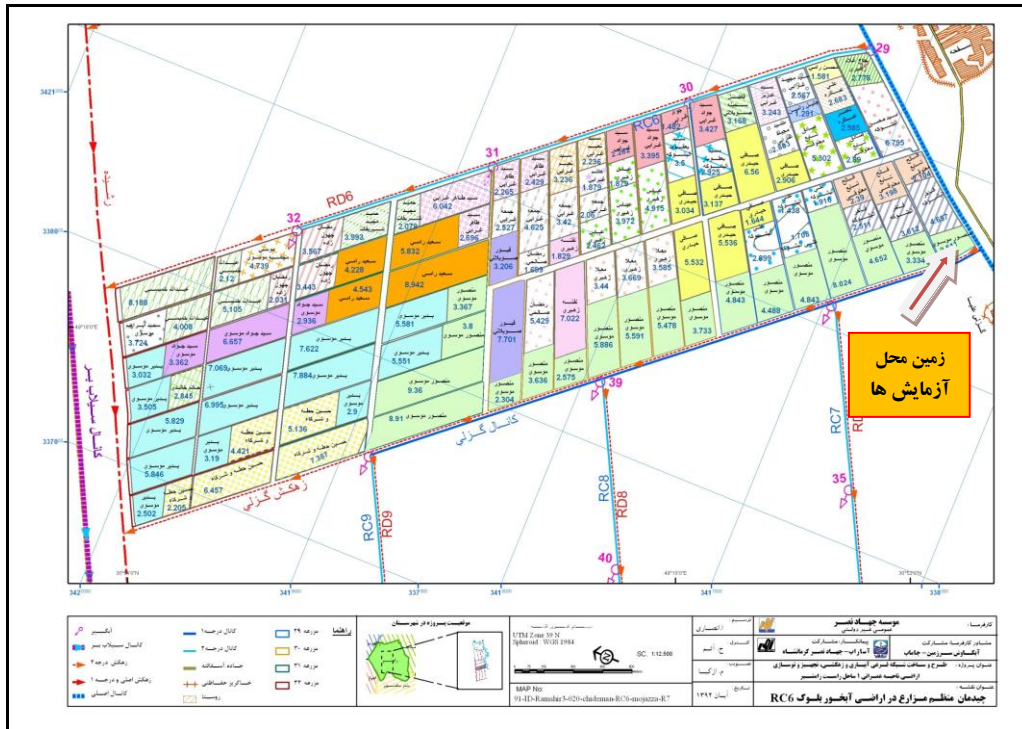
شکل ۱- محدوده مطالعاتی در شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر و موقعیت قطعه آبیاری محل اجرای آزمایشها (قطعه U29-2)

اجرا یا در شرف تکمیل شدن هستند. این قطعه از کانال درجه یک سمت راست آبیاری می‌کند که سازمان آب و برق خوزستان در سال ۱۳۸۵ آن را احداث کرده است (شکل ۲).

با توجه به همه جوانب از جمله امکان انتقال آب آبیاری به مزرعه برای آزمایش، هماهنگی‌های فنی و اجتماعی لازم با کارشناسان فنی محل پروژه و مذاکره با کشاورزان به منظور انتخاب کشاورزی که تمایل داشته باشد زمین خود برای شروع آزمایشها را در اختیار قرار دهد، قطعه زراعی با نام U29-2 برای اجرای آزمایشهای اصلی پروژه انتخاب شد (شکل ۲). این قطعه در نزدیکی روستای سفحه و در مجاور کانال اصلی و کانال درجه یک و زهکش درجه دو به نام گزلی قرار گرفته است. در شکل ۲ وضعیت مزارع مختلف کشاورزان پس از عملیات تسطیح و یکپارچه‌سازی اراضی (قطعات با رنگ‌های یکسان)

پروژه در دو قسمت ساحل راست و چپ رودخانه جراحی در حال اجرا است. ساحل راست پروژه رامشیر نیز خود به دو ناحیه عمرانی ۱ و ۲ تقسیم شده است (شکل ۱). از لحاظ فازبندی عملیات، ساخت شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر در ابتدا از ساحل راست و در ناحیه ۱ شروع شده و در واقع اولین جانمایی پروژه در آن محل بوده است، کارفرما (موسسه جهاد نصر) نیز محدوده مزارع آزمایشی را در بلوک زراعی RC6 و قطعه U29 قرار داده است. از این‌رو این پژوهش در ساحل راست رودخانه جراحی و در قطعه U29 اجرا شد. در شکل ۲ موقعیت قطعه U29-2 و زمین محل اجرای آزمایشها نمایش داده شده است. در این قطعه احداث زهکش‌های زیرزمینی، نصب کانال‌های درجه ۳ و ۴ به شکل اجرای کانال‌ها، و یکپارچه‌سازی و تسطیح اراضی به همراه ایجاد جاده‌های سرویس بین مزارع و احداث سازه‌های آبیاری در حال

مشاهده می‌شود. کشت اصلی گندم است و کشاورزان منطقه به‌طور عمده رقم چمران را به صورت پاییزه کشت می‌کنند، روش آبیاری نیز نواری با رژیم انتهایی بسته است.



شکل ۲- موقعیت قطعه زراعی انتخابی و محل اجرای آزمایش‌ها (قطعه ۲-U29)

برای اجرای آزمایش‌های پیشروی و پسروی آب در نوار و اندازه‌گیری دبی‌های ورودی و خروجی، پس از شروع آبیاری و برقراری جریان در نهر مزرعه و ورود آب به نوار از محل کارگذاری فلوم در دیواره بالایی نوار، زمان شروع آبیاری و نیز در فواصل زمانی مختلف، ارتفاع آب در روی اشل نصب شده روی بدنه فلوم یادداشت شد. با استفاده از رابطه دبی-اشل برای نوع فلوم (فلوم نوع WSC تیپ ۴)، دبی جریان به لیتر در ثانیه محاسبه شد. برای اندازه‌گیری زمان پیشروی جبهه آب به نقاط معین و زمان محو شدن آب در نقاط معین (پسروی جریان) از میخ‌های چوبی استفاده شد. این میخ‌ها در نوارهای با طول‌های ۱۲۰ و ۱۵۰ متری به فواصل ۱۵ متر و در نوار ۱۸۰ متری به فواصل ۲۵ متر کوبیده شدند. هنگام آبیاری، زمان رسیدن جبهه آب به هر نقطه در جدول یادداشت می‌شد تا منحنی

پژوهش به‌طور کلی در دو بخش اصلی یکی آزمایش‌های مزرعه‌ای و دیگری مدل‌سازی اجرا شد. مراحل اجرا نیز عبارت بودند از تهیه لوازم و مقدمات آزمایش (شامل آماده‌سازی زمین و تهیه وسایل و تجهیزات مورد نیاز)، آزمایش‌های مزرعه‌ای و اندازه‌گیری‌های لازم، ورود داده‌های مزرعه‌ای به مدل WinSRFR و مدل‌سازی (شامل واسنجی مدل با داده‌های پیشروی و پسروی برداشت شده در مزرعه، شبیه‌سازی جریان و ارائه گزینه‌های مختلف برای طراحی قطعات آبیاری). در مجموع ۴ نوبت آزمایش پیشروی-پسروی آب در نوار برای سه نوار آبیاری با طول‌های ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ متر طی چهار نوبت آبیاری محصول گندم (تاریخ‌های ۲۸ آذر، ۲۶ بهمن، ۸ اسفند سال ۹۲ و ۶ فروردین ۹۳) در فصل رشد (جمعا ۱۲ آزمایش) اجرا شد.

پیشروی مشاهده شده از روی آن رسم شود. پس از خاتمه آبیاری و قطع جریان با ناپدید شدن عمق آب در ابتدای نوار، اندازه‌گیری و ثبت زمان پسروری آغاز و در ستون دیگری از همان جدول ثبت می‌شود، این کار تا انتهای نوار ادامه داشت و بدین ترتیب منحنی پسروری آب در نوار رسم گردید.

مدل مورد استفاده در این پژوهش WinSRFR تحت ویندوز است که مرکز تحقیقات کشاورزی اراضی خشک آمریکا (ALARC)^۱ وابسته به سرویس تحقیقات کشاورزی وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA-ARS)^۲ تهیه کرده است. این مدل یک بعدی برای شبیه‌سازی، ارزیابی و طراحی روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری سطحی شامل آبیاری‌های نواری، کرتی، و جویچه‌ای است. در این پژوهش از نسخه 3.1 تحت ویندوز مدل استفاده شد که در سال ۲۰۰۹ تهیه و به بازار ارائه شده است (Anon, 2009).

برای واسنجی مدل، اطلاعات پردازش شده حاصل از آزمایش‌های پیشروی و پسروری آب به تفکیک چهار نوبت آبیاری و سه طول نوار انتخابی، وارد مدل گردید. در مدل برای معادله نفوذ، گزینه معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس اصلاح شده (رابطه ۱) انتخاب شد.

به منظور تعیین گزینه‌های مختلف طراحی و انتخاب گزینه مناسب طراحی قطعه آبیاری که راندمان کاربرد و در نتیجه یکنواختی توزیع مناسبی داشته باشد، فرایند شبیه‌سازی فوق برای حالت‌های مختلف طراحی یعنی شیب‌های مختلف، دبی‌های ورودی مختلف، طول‌ها و عرض‌های مختلف نوار آبیاری و عمق‌های خالص انتخابی مختلف اجرا شد و نتایج (شامل مدت زمان آبیاری، راندمان کاربرد، راندمان کاربرد پتانسیل حداقل، یکنواختی توزیع ربع پایین، یکنواختی توزیع حداقل، و مدت زمان پسروری آب) در جدول‌هایی به نام "جداول طراحی ابعاد و مشخصه‌های هیدرولیکی نوارهای آبیاری" ثبت و بررسی شد.

مدل مورد استفاده در این پژوهش WinSRFR تحت ویندوز است که مرکز تحقیقات کشاورزی اراضی خشک آمریکا (ALARC)^۱ وابسته به سرویس تحقیقات کشاورزی وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA-ARS)^۲ تهیه کرده است. این مدل یک بعدی برای شبیه‌سازی، ارزیابی و طراحی روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری سطحی شامل آبیاری‌های نواری، کرتی، و جویچه‌ای است. در این پژوهش از نسخه 3.1 تحت ویندوز مدل استفاده شد که در سال ۲۰۰۹ تهیه و به بازار ارائه شده است (Anon, 2009).

برای واسنجی مدل، اطلاعات پردازش شده حاصل از آزمایش‌های پیشروی و پسروری آب به تفکیک چهار نوبت آبیاری و سه طول نوار انتخابی، وارد مدل گردید. در مدل برای معادله نفوذ، گزینه معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس اصلاح شده (رابطه ۱) انتخاب شد.

با انتخاب مقادیر مختلف ضرایب a و b معادله نفوذ و مشاهده انطباق مناسب منحنی‌های پیشروی و پسروری مشاهده شده و محاسبه شده در قسمت نتایج حاصل از مدل، بهترین برازش به صورت تکرار و حالت آزمون و خطا تعیین شد و پس از آن ضریب k معادله نفوذ حاصل از بهترین حالت برازش به عنوان k معادله نفوذ خاک محل آزمایش انتخاب شد. یادآوری می‌شود که بر اساس منابع (Walker & Skogerboe, 1987; Anon, 1989; Abbasi,

$$Z = k \times t^a + b \times t + c \quad (1)$$

Walker & Skogerboe, 1987; Anon, 1989; Abbasi,

فرض انتخاب مقدار حداقل پایه برای راندمان طراحی مورد نظر، می‌تواند انتخاب شود و طراح شبکه از آن استفاده کند. در این جدول‌ها تمامی گزینه‌های طراحی دارای راندمان کاربرد قابل قبول (بالتر از ۷۰ درصد) با رنگ تیره مشخص شده‌اند. همچنین، نشانه n.c.^۱ در جدول گزینه‌های طراحی بدان معناست که مدل در شبیه‌سازی گزینه مذکور نتوانسته است به همگرایی لازم برسد و با توجه به مقادیر طراحی ارائه شده برای آن گزینه، جواب معقول و ممکن برای شبیه‌سازی عملاً به دست نیامده است ضمن اینکه منحنی پیشروی آب شبیه‌سازی شده دچار اعوجاج (کژی) شده و الگوی متعارف را نداشته است. در جدول، نشانه n.f.a.^۲ نیز بدان معناست که با توجه به پارامترهای طراحی، آب آبیاری نتوانسته است تا انتهای نوار پیش‌رود و فاز پیشروی حتی با کاربرد مدت زمان‌های آبیاری طولانی‌تر کامل نشده است و از این‌رو این گزینه‌ها از لحاظ شبیه‌سازی جریان عملی نیستند.

در این پژوهش، به‌منظور ارائه کامل گزینه‌های طراحی که طیف وسیع و قابل قبولی از مقادیر عرض نوار آبیاری و همچنین عمق خالص آبیاری را برای آبیاری محصول معین در نظر گرفته باشد، جدول‌های طراحی ابعاد نوارها و سایر پارامترهای آبیاری برای ترکیب‌های مختلف عرض نوار و عمق خالص آبیاری مشابه جدول‌های ۱ تا ۳ و با استفاده از شبیه‌سازی مدل تهیه شدند. این جدول‌ها در واقع دستورالعمل‌هایی هستند برای طراحی نوارهای آبیاری (طول، عرض، شیب) و برای بهره‌برداری و مدیریت آبیاری (دبی، زمان آبیاری و عمق خالص آبیاری). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بافت خاک منطقه که بافتی نسبتاً سنگین و با نفوذپذیری پایین است، برخلاف خاک‌های با بافت سبک، هرچه جبهه پیشروی آب (به‌خصوص در شیب‌های طولی زیاد کندتر جلو رود عمق آب نفوذ یافته در طول نوار یکنواخت‌تر است و به‌همین دلیل تجمع آب و آب‌گرفتگی انتهایی در نوار با انتهای

مدل در مجموع ۱۱۲۵ بار (بدون در نظر گرفتن تکرارها و سعی و خطاهای مختلف برای رسیدن به جواب بهینه برای هر گزینه) اجرا شد، بدین معنا که برای ترکیبات ۵ طول نوار (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، و ۳۰۰ متر)، ۳ عرض نوار (۴، ۷، و ۱۲ متر)، ۵ شیب طولی نوار (۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱۰، ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۲۰، و ۰/۰۰۲۵ متر بر متر)، ۳ دبی ورودی (۱۰، ۱۵، و ۲۰ لیتر در ثانیه)، و ۵ عمق خالص آبیاری (۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، و ۹۰ میلی‌متر) (جمعاً ۱۱۲۵ = ۵ × ۳ × ۵ × ۳ × ۵) اجرا و نتایج آن در جدول‌های مختلف گزینه‌های طراحی به‌همراه سایر نتایج و نمودارها ارائه شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از واسنجی مدل، ضرائب پارامترهای معادله نفوذ حاصل از واسنجی تعیین و معادله نفوذ آب در خاک به‌صورت رابطه ۲ زیر حاصل شد:

$$Z = 3.661 \times t^{0.584} + 18 \times t + 7 \quad (2)$$

که در آن: Z = عمق نفوذ یافته آب (میلی‌متر)؛ و t = زمان از شروع آبیاری (ساعت) است.

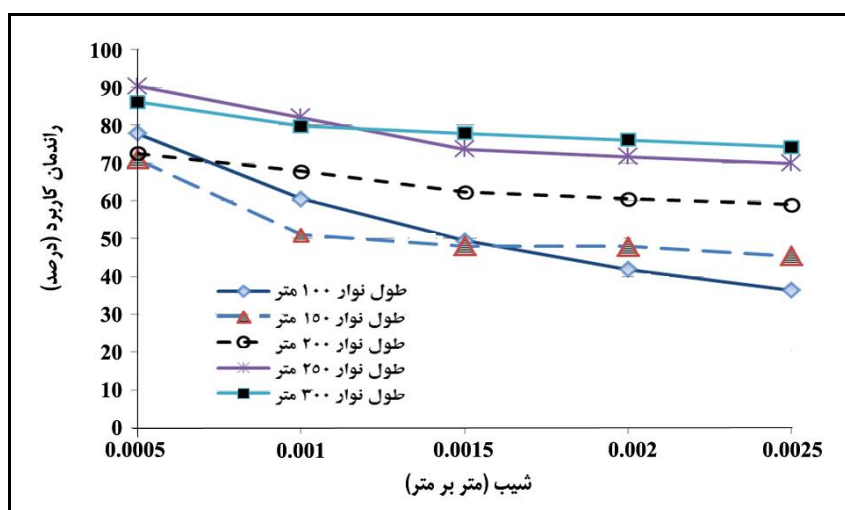
با استفاده از معادله نفوذ واسنجی شده (رابطه ۲) $(R^2 = 0.73)$ برای طول‌های انتخابی مختلف نوار و همچنین شیب و دبی‌های مختلف طراحی، بهینه‌سازی توسط مدل انجام گرفت.

در جدول‌های ۱ تا ۳، نتایج حاصل از بهینه‌سازی مدل برای عرض‌های نوار ۴ و ۷ و ۱۲ متر و عمق خالص آبیاری برابر ۷۰ میلی‌متر ارائه شده است. در این جدول‌ها مشاهده می‌شود که برای ترکیب‌های مختلف پارامترهای طراحی (طول نوار، شیب نوار، و دبی ورودی) مقادیر مختلفی برای مدت زمان آبیاری، یکنواختی توزیع آب و راندمان کاربرد آب از نتایج مدل حاصل شده است. گزینه‌های بسیاری، با

باشد، در صورت انتخاب قطعات با طول‌های زیاد، عرض‌های کمتر به همراه شیب طولی کم (کمتر از ۰/۰۰۲ متر در متر) نیز می‌تواند راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع مناسب را در مزرعه ایجاد کند. به عبارت دیگر، اگر طول نوار کوتاه انتخاب شده باشد، در صورت رعایت سایر شرایط طراحی، عرض نوار می‌تواند بیشتر انتخاب شود و بالعکس. ابعاد قطعات (طول و عرض) و سایر پارامترهای مدیریتی طراحی (دبی ورودی، مدت زمان آبیاری و شیب طولی) تأثیر زیادی بر راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع در آبیاری نواری دارند. بر اساس نتایج بررسی‌ها مشاهده می‌شود که با توجه به بسته بودن انتهای نوار، راندمان آبیاری حساسیت زیادی به شیب، دبی ورودی، و طول نوار دارد. بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی، تأثیرات متقابل شیب طولی نوار و راندمان کاربرد آب بررسی شد. برای این منظور نتایج راندمان کاربرد حاصل از شیب‌های مختلف و طول‌های مختلف نوار (برای عرض نوار ۷ متر) و برای دبی‌های مختلف ورودی به نوار (۱۰، ۱۵، و ۲۰ لیتر در ثانیه) رسم شد که نمونه آن برای دبی ورودی ۱۵ لیتر در ثانیه در شکل ۳ نمایش داده شده است.

بسته کمتر خواهد شد و خطر سرریز آب از پشته (به خصوص در انتهای نوار) نیز کمتر است. رعایت این شرایط در مجموع به افزایش راندمان کاربرد آب کمک می‌کند و راندمان‌های آبیاری بالاتری حاصل خواهد شد. از این رو در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر، در مجموع کاربرد دبی‌های کم (۱۵-۱۰ لیتر در ثانیه) با طول نوار نسبتاً زیاد تا ۲۵۰ متر و شیب کم (با رعایت مدت زمان آبیاری متناسب) از لحاظ میزان افزایش راندمان آبیاری جواب بهتری می‌دهد.

بر اساس نتایج بررسی‌ها و به‌عنوان یک قاعده کلی و در شرایط یکسان، در نوارهایی با عرض‌های کوتاه‌تر، نسبت به نوارهایی با عرض‌های طولانی‌تر، راندمان آبیاری پایین‌تر است. با توجه به شیب زیاد قطعات اجرا شده در پروژه شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر، و با توجه به موضوع اشاره شده فوق، به‌منظور نیل به راندمان‌های کاربرد مناسب، عرض‌های نوار آبیاری از ۷ تا ۱۲ متر مناسب‌اند و بهتر است این عرض‌ها (بسته به طول قطعات و سایر عوامل نظیر شیب طولی) در این گستره انتخاب شوند. به هر حال، با توجه به نتایج این پژوهش، اگر دبی آبیاری کم



شکل ۳- نمودار تغییرات راندمان کاربرد آب با شیب نوار (دبی ورودی ۱۵ لیتر در ثانیه و عرض نوار ۷ متر)

جدول ۱- طراحی ابعاد و مشخصه‌های هیدرولیکی نوارهای آبیاری (برای عرض نوار ۴ متر و عمق خالص آبیاری ۷۰ میلی‌متر)

دبی جریان ورودی (لیتر در ثانیه)									شیب طولی نوار (متر بر متر)	عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)	ارتفاع پشته نوار (میلی‌متر)	عرض نوار (متر)	طول نوار (متر)
۲۰			۱۵			۱۰							
راندمان	یکنواختی	مدت زمان	راندمان	یکنواختی	مدت زمان	راندمان	یکنواختی	مدت زمان					
کابرد	توزیع ربع	آبیاری	کابرد	توزیع ربع	آبیاری	کابرد	توزیع ربع	آبیاری					
(درصد)	پائین	(دقیقه)	(درصد)	پائین	(دقیقه)	(درصد)	پائین	(دقیقه)					
۷۵/۳	۰/۸۳	۳۱	۷۷/۸	۰/۸۳	۴۰	۷۷/۸	۰/۸۴	۶۰	۰/۰۰۰۵				
۵۸/۳	۰/۷۱	۴۰	۵۹/۸	۰/۷۱	۵۲	۵۹/۸	۰/۷۱	۷۸	۰/۰۰۱۰				
۴۸/۶	۰/۶۳	۴۸	۴۷/۹	۰/۶۳	۶۵	۴۹/۱	۰/۶۳	۹۵	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۴	۱۰۰
۴۱/۷	۰/۵۷	۵۶	۴۱/۵	۰/۵۷	۷۵	۴۲/۴	۰/۵۶	۱۱۰	۰/۰۰۲۰				
۳۶/۵	۰/۵۲	۶۴	۳۶/۶	۰/۵۲	۸۵	۳۷/۳	۰/۵۱	۱۲۵	۰/۰۰۲۵				
۶۷/۳	۰/۷۷	۵۲	۶۸/۶	۰/۷۷	۶۸	۷۰	۰/۷۹	۱۰۰	۰/۰۰۰۵				
۵۰/۰	۰/۶۳	۷۰	۵۰/۷	۰/۶۳	۹۲	۵۱/۸	۰/۶۳	۱۳۵	۰/۰۰۱۰				
۳۸/۹	۰/۵۵	۹۰	۳۸/۹	۰/۵۶	۱۲۰	۴۱/۲	۰/۵۴	۱۷۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۴	۱۵۰
۳۳/۳	۰/۴۸	۱۰۵	۳۳/۳	۰/۴۸	۱۴۰	۳۶/۸	۰/۴۶	۱۹۰	۰/۰۰۲۰				
۲۸/۰	۰/۴۵	۱۲۵	۲۸/۳	۰/۴۵	۱۶۵	۳۶/۸	۰/۴۰	۱۹۰	۰/۰۰۲۵				
۶۲/۲	۰/۷۲	۷۵	۶۲/۲	۰/۷۳	۱۰۰	۶۴/۴	۰/۷۵	۱۴۵	۰/۰۰۰۵				
۴۳/۲	۰/۵۷	۱۰۸	۴۲/۹	۰/۵۸	۱۴۵	۵۶/۵	۰/۵۷	۱۶۵	۰/۰۰۱۰				
۳۳/۳	۰/۴۹	۱۴۰	۳۷/۶	۰/۴۵	۱۶۵	۵۱/۹	۰/۵۵	۱۸۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۴	۲۰۰
۲۸/۲	۰/۴۱	۱۶۵	۳۵/۶	۰/۳۸	۱۷۵	۵۰/۵	۰/۵۴	۱۸۵	۰/۰۰۲۰				
۲۶/۷	۰/۳۴	۱۷۵	۳۳/۶	۰/۳۶	۱۸۵	۴۹/۱	۰/۵۳	۱۹۰	۰/۰۰۲۵				
۵۵/۶	۰/۶۹	۱۰۵	۵۷/۶	۰/۶۹	۱۳۵	۷۵/۳	۰/۷۹	۱۵۵	۰/۰۰۰۵				
۳۷/۶	۰/۵۳	۱۵۵	۴۸/۶	۰/۵۰	۱۶۰	۶۶/۷	۰/۷۱	۱۷۵	۰/۰۰۱۰				
۳۳/۳	۰/۴۰	۱۷۵	۴۳/۲	۰/۴۶	۱۸۰	۶۳/۱	۰/۶۸	۱۸۵	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۴	۲۵۰
۳۱/۵	۰/۳۵	۱۸۵	۴۲/۰	۰/۴۵	۱۸۵	۶۱/۴	۰/۶۶	۱۹۰	۰/۰۰۲۰				
۳۰/۷	۰/۳۴	۱۹۰	۴۰/۹	۰/۴۵	۱۹۰	۵۹/۸	۰/۶۵	۱۹۵	۰/۰۰۲۵				
۵۱/۹	۰/۶۶	۱۳۵	۶۲/۲	۰/۶۷	۱۵۰	۸۷/۵	۰/۸۹	۱۶۰	۰/۰۰۰۵				
۴۳/۷	۰/۴۶	۱۶۰	۵۴/۹	۰/۵۸	۱۷۰	۷۷/۸	۰/۸۱	۱۸۰	۰/۰۰۱۰				
۴۱/۲	۰/۴۳	۱۷۰	۵۱/۹	۰/۵۶	۱۸۰	۷۱/۸	۰/۷۸	۱۹۵	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۴	۳۰۰
۳۸/۹	۰/۴۱	۱۸۰	۵۰/۵	۰/۵۵	۱۸۵	۷۰/۰	۰/۷۶	۲۰۰	۰/۰۰۲۰				
۳۷/۸	۰/۴۱	۱۸۵	۵۰/۵	۰/۵۴	۱۸۵	۶۸/۳	۰/۷۵	۲۰۵	۰/۰۰۲۵				

جدول ۲- طراحی ابعاد و مشخصه‌های هیدرولیکی نوارهای آبیاری (برای عرض نوار ۷ متر و عمق خالص آبیاری ۷۰ میلی‌متر)

دبی جریان ورودی (لیتر در ثانیه)									شیب طول نوار (متر بر متر)	عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)	ارتفاع پشته نوار (میلی‌متر)	عرض نوار (متر)	طول نوار (متر)
۲۰			۱۵			۱۰							
راندمان کابرد (درصد)	یکتواختی توزیع ربع پائین	مدت زمان آبیاری (دقیقه)	راندمان کابرد (درصد)	یکتواختی توزیع ربع پائین	مدت زمان آبیاری (دقیقه)	راندمان کابرد (درصد)	یکتواختی توزیع ربع پائین	مدت زمان آبیاری (دقیقه)					
۸۱/۴	۰/۸۳	۵۰	۷۷/۸	۰/۸۴	۷۰	۸۱/۶	۰/۸۵	۱۰۰	۰/۰۰۰۵				
۵۸/۳	۰/۷۲	۷۰	۶۰/۵	۰/۷۱	۹۰	۶۲/۸	۰/۷۱	۱۳۰	۰/۰۰۱۰				
۴۹/۸	۰/۶۲	۸۲	۴۹/۵	۰/۶۳	۱۱۰	۵۱/۰	۰/۶۳	۱۶۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۷	۱۰۰
۴۰/۸	۰/۵۸	۱۰۰	۴۱/۹	۰/۵۷	۱۳۰	۴۶/۶	۰/۵۴	۱۷۵	۰/۰۰۲۰				
۳۷/۱	۰/۵۲	۱۱۰	۳۶/۳	۰/۵۳	۱۵۰	۴۵/۴	۰/۴۸	۱۸۰	۰/۰۰۲۵				
۶۸/۱	۰/۷۹	۹۰	۷۱/۰	۰/۷۹	۱۱۵	۷۹/۰	۰/۸۱	۱۵۵	۰/۰۰۰۵				
۵۱/۰	۰/۶۳	۱۲۰	۵۱/۰	۰/۶۴	۱۶۰	۷۳/۹	۰/۷۳	۱۶۵	۰/۰۰۱۰				
۳۹/۵	۰/۵۵	۱۵۵	۴۸/۰	۰/۵۱	۱۷۰	۷۰/۰	۰/۷۰	۱۷۵	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۷	۱۵۰
۳۸/۰	۰/۴۳	۱۶۰	۴۷/۹	۰/۴۷	۱۷۰	۶۹/۷	۰/۶۹	۱۷۵	۰/۰۰۲۰				
۳۵/۰	۰/۳۸	۱۷۵	۴۵/۴	۰/۴۶	۱۸۰	۶۶/۲	۰/۶۸	۱۸۵	۰/۰۰۲۵				
۶۲/۸	۰/۷۴	۱۳۰	۷۲/۵	۰/۷۵	۱۵۰	۹۸/۷	۰/۹۳	۱۶۰	۰/۰۰۰۵				
۵۰/۹	۰/۵۴	۱۶۰	۶۷/۷	۰/۶۷	۱۶۰	۹۳/۶	۰/۸۸	۱۷۰	۰/۰۰۱۰				
۴۵/۴	۰/۴۸	۱۸۰	۶۲/۲	۰/۶۴	۱۷۵	۸۱/۷	۰/۸۵	۲۰۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۷	۲۰۰
۴۴/۱	۰/۴۷	۱۸۵	۶۰/۵	۰/۶۳	۱۸۰	۷۹/۷	۰/۸۴	۲۰۵	۰/۰۰۲۰				
۴۳/۰	۰/۴۶	۱۹۰	۵۸/۹	۰/۶۱	۱۸۵	۷۷/۸	۰/۸۳	۲۱۰	۰/۰۰۲۵				
۶۸/۰	۰/۷۱	۱۵۰	۹۰/۲	۰/۸۹	۱۵۰	۷۰/۴	۰/۸۰	۲۹۰	۰/۰۰۰۵				
۶۳/۷	۰/۶۴	۱۶۰	۸۲/۰	۰/۸۱	۱۶۵	۷۵/۶	۰/۸۴	۲۷۰	۰/۰۰۱۰				
۵۶/۷	۰/۶۰	۱۸۰	۷۳/۶	۰/۷۷	۱۸۵	۷۵/۶	۰/۸۶	۲۷۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۷	۲۵۰
۵۵/۲	۰/۵۹	۱۸۵	۷۱/۶	۰/۷۵	۱۹۰	۷۷/۰	۰/۸۵	۲۶۵	۰/۰۰۲۰				
۵۵/۲	۰/۵۸	۱۸۵	۶۹/۸	۰/۷۳	۱۹۵	n.c.	n.c.	۲۶۵	۰/۰۰۲۵				
۸۱/۷	۰/۸۴	۱۵۰	۸۶/۰	۰/۹۱	۱۹۰	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۰۵				
۷۲/۱	۰/۷۵	۱۷۰	۷۹/۷	۰/۸۷	۲۰۵	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۰				
۶۸/۱	۰/۷۱	۱۸۰	۷۷/۸	۰/۸۴	۲۱۰	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۷	۳۰۰
۶۴/۵	۰/۶۹	۱۹۰	۷۶/۰	۰/۸۳	۲۱۵	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۰				
۶۲/۸	۰/۶۷	۱۹۵	۷۴/۲	۰/۸۱	۲۲۰	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۵				

۲۰

* n.c: مدل در شبیه‌سازی گزینه مذکور نتوانسته است به همگرایی لازم برسد و منحنی پیشروی آب شبیه‌سازی شده دچار اعوجاج (کژی) است و الگوی متعارف را ندارد.

** n.f.a: با توجه به پارامترهای طراحی، آب آبیاری نتوانسته است تا انتهای نوار پیش رود و فاز پیشروی حتی با کاربرد مدت زمان‌های آبیاری طولانی کامل نشده است و از این‌رو این گزینه‌ها از لحاظ شبیه‌سازی جریان عملی نیستند.

جدول ۳- طراحی ابعاد و مشخصه‌های هیدرولیکی نوارهای آبیاری (برای عرض نوار ۱۲ متر و عمق خالص آبیاری ۷۰ میلی‌متر)

دبی جریان ورودی (لیتر در ثانیه)									شیب طولی نوار (متر بر متر)	عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)	ارتفاع پشته نوار (میلی‌متر)	عرض نوار (متر)	طول نوار (متر)	
۲۰			۱۵			۱۰								
راندمان	یکنواختی	مدت زمان	راندمان	یکنواختی	مدت زمان	راندمان	یکنواختی	مدت زمان	راندمان	یکنواختی	مدت زمان	راندمان	یکنواختی	مدت زمان
کاربرد	توزیع ربع	آبیاری	کاربرد	توزیع ربع	آبیاری	کاربرد	توزیع ربع	آبیاری	کاربرد	توزیع ربع	آبیاری	کاربرد	توزیع ربع	آبیاری
(درصد)	پائین	(دقیقه)	(درصد)	پائین	(دقیقه)	(درصد)	پائین	(دقیقه)	(درصد)	پائین	(دقیقه)	(درصد)	پائین	(دقیقه)
۷۷/۸	۰/۸۵	۹۰	۸۱/۲	۰/۸۶	۱۱۵	۸۴/۹	۰/۸۹	۱۶۵	۰/۰۰۰۵					
۶۰/۹	۰/۷۲	۱۱۵	۶۲/۲	۰/۷۲	۱۵۰	۸۰/۰	۰/۸۱	۱۷۵	۰/۰۰۱۰					
۵۰/۰	۰/۶۳	۱۴۰	۵۳/۳	۰/۶۲	۱۷۵	۷۷/۷	۰/۷۸	۱۸۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۱۲	۱۰۰	
۴۲/۲	۰/۵۷	۱۶۵	۵۰/۵	۰/۵۵	۱۸۵	۷۵/۷	۰/۷۷	۱۸۵	۰/۰۰۲۰					
۳۸/۹	۰/۵۰	۱۸۰	۴۹/۱	۰/۵۵	۱۹۰	۷۳/۷	۰/۷۶	۱۹۰	۰/۰۰۲۵					
۷۲/۴	۰/۸۱	۱۴۵	۸۴/۹	۰/۸۸	۱۶۵	۶۴/۶	۰/۸۲	۳۲۵	۰/۰۰۰۵					
۶۱/۸	۰/۶۴	۱۷۰	۸۰/۰	۰/۸۱	۱۷۵	۷۰/۰	۰/۸۳	۳۰۰	۰/۰۰۱۰					
۶۰/۰	۰/۶۱	۱۷۵	۷۷/۷	۰/۷۸	۱۸۰	۷۵/۰	۰/۸۳	۲۸۰	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۱۲	۱۵۰	
۵۸/۳	۰/۶۰	۱۸۰	۷۳/۷	۰/۷۷	۱۹۰	۷۶/۴	۰/۸۴	۲۷۵	۰/۰۰۲۰					
۵۶/۸	۰/۵۹	۱۸۵	۷۱/۸	۰/۷۵	۱۹۵	n.c.	n.c.	۲۵۰	۰/۰۰۲۵					
۸۷/۵	۰/۸۹	۱۶۰	۸۶/۸	۰/۹۰	۲۱۵	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۰۵					
۸۰/۰	۰/۸۱	۱۷۵	۸۴/۸	۰/۹۰	۲۲۰	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۰					
۷۵/۷	۰/۷۸	۱۸۵	۸۳/۰	۰/۸۹	۲۲۵	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۱۲	۲۰۰	
۷۱/۸	۰/۷۶	۱۹۵	۸۱/۲	۰/۸۸	۲۳۰	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۰					
۷۰/۰	۰/۷۵	۲۰۰	۷۹/۴	۰/۸۸	۲۳۵	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۵					
۸۷/۵	۰/۹۲	۲۰۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۰۵					
۸۳/۳	۰/۸۹	۲۱۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۰					
۷۹/۶	۰/۸۷	۲۲۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۱۲	۲۵۰	
۷۷/۸	۰/۸۵	۲۲۵	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۰					
۷۶/۱	۰/۸۵	۲۳۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۵					
۶۱/۸	۰/۷۷	۳۴۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۰۵					
۷۰/۰	۰/۷۹	۳۰۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۰					
۷۱/۲	۰/۸۱	۲۹۵	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۱۵	۷۰	۲۱۰	۱۲	۳۰۰	
n.c.	n.c.	۲۹۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۰					
n.c.	n.c.	۲۹۰	-	-	n.f.a.	-	-	n.f.a.	۰/۰۰۲۵					

* n.c. مدل در شبیه‌سازی گزینه مذکور نتوانسته است به همگرایی لازم برسد و منحنی پیشروی آب شبیه‌سازی شده دچار اعوجاج (کژی) است و الگوی متعارف را ندارد.

** n.f.a. با توجه به پارامترهای طراحی، آب آبیاری نتوانسته است تا انتهای نوار پیش رود و فاز پیشروی حتی با کاربرد مدت زمان‌های آبیاری طولانی کامل نشده است و از این رو این گزینه‌ها از لحاظ شبیه‌سازی جریان عملی نیستند.

خاک، تغییرات دبی در افزایش راندمان و تغییر مدت زمان آبیاری بسیار مؤثر است.

نتیجه‌گیری

برای ابعاد و مشخصه‌های هیدرولیکی نوار آبیاری و با راندمان‌های کاربرد در دامنه‌های خوب و معقول، گزینه‌هایی گوناگون می‌توان داشت. ولی با توجه به روش آبیاری منطقه (نوار با انتهای بسته)، بافت سنگین خاک، نفوذپذیری کم اراضی، شوری خاک، شیب اراضی، و مباحث اقتصادی، توصیه می‌شود که قطعات با طول نسبتاً زیاد (مساوی یا کمتر از ۳۰۰ متر)، با دبی مناسب غیر فرساینده خاک و با حداقل شیب ممکن طراحی و اجرا شوند، تا از آب‌گرفتگی و ماندابی شدن سطحی مزرعه در انتهای نوار جلوگیری شود. افزایش طول نوار و کاهش شیب طولی، ضمن کاربرد دبی متناسب و غیرفرساینده، راندمان کاربرد آب را افزایش می‌دهد و یکنواختی توزیع را خیلی بهبود می‌بخشد.

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، ترکیب‌ها و گزینه‌های مختلفی را می‌توان انتخاب کرد که طی آنها راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب بالا را در آبیاری نواری محصول گندم در منطقه رامشیر تأمین کند. به‌طور کلی طول و عرض‌های انتخابی می‌تواند به‌ترتیب در دامنه مقادیر ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر و ۴ تا ۱۲ متر قرار گیرد. ولی بر اساس نتایج شبیه‌سازی، طول و عرض انتخابی باید متناسب با شیب طولی و دبی‌های آبیاری باشد تا مدت زمان آبیاری معقولی ارائه کند و یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد آب را در حد مناسب به‌دست دهد.

با توجه به همه جوانب، در شرایط طراحی با نوار انتها بسته (روش معمول آبیاری نواری گندم در منطقه)، گزینه عرض نوار ۷ متر و طول نوار ۲۰۰ متر با شیب ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ برای همه دبی‌های ورودی و عمق‌های خالص

بر اساس نتایج به‌دست آمده از رسم نمودارها و به‌عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت که با افزایش شیب نوار از حداقل ۰/۰۰۵ متر بر متر تا ۰/۰۲۵ متر بر متر، راندمان کاربرد آب در مزرعه کاهش می‌یابد. این کاهش برای تمامی طول‌های نوار در دبی‌های ۱۵ تا ۲۰ لیتر در ثانیه منظم است اما برای دبی‌های ورودی کمتر (۱۰ لیتر در ثانیه)، بی‌نظمی‌هایی مشاهده می‌شود که ناشی از پایین بودن میزان دبی ورودی برای طول‌های زیاد است تا آنجا که برای طول نوار ۳۰۰ متر، آب نتوانسته است تا انتهای نوار پیش رود و راندمان کاربرد در این شرایط عملاً قابل تعریف نیست. همچنین، برای طول ۲۵۰ متر و دبی ۱۰ لیتر در ثانیه این مشکل باز هم تا حدی وجود دارد و از شیب ۰/۰۱۵ متر بر متر بالاتر، جوابی توسط مدل برای راندمان کاربرد ارائه نشده است. برای تمامی طول‌های نوار و تمامی دبی‌های ورودی، شیب کاهش راندمان کاربرد تا نقطه شیب ۰/۰۱۵ متر بر متر زیاد است و بعد از آن با شیب کمتر و ملایمی راندمان کاربرد کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند ناشی از تأثیر کمتر افزایش میزان آب‌گرفتگی انتهای نوار از شیب بالاتر از شیب مذکور باشد. برای دبی ۱۰ لیتر در ثانیه، طول‌های نوار ۲۰۰ و ۱۵۰ متر در تمامی شیب‌ها بالاترین راندمان کاربرد را داشته‌اند. همین‌طور برای دبی‌های ۱۵ و ۲۰ لیتر در ثانیه، به‌ترتیب طول‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ متر و ۲۵۰ و ۳۰۰ متر. دامنه راندمان‌های کاربرد به‌دست آمده از حداکثر ۹۰ - ۷۰ درصد در شیب ۰/۰۰۵ متر بر متر تا حداقل ۷۰ - ۳۵ درصد در شیب‌های بیشتر (۰/۰۲۵ متر بر متر) تغییر می‌کند. از این‌رو شیب‌های کمتر از ۰/۰۲۵ متر بر متر یعنی شیب‌های ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ متر بر متر ارجح هستند. برای طول‌های کوتاه نوار آبیاری و دبی‌های کم، تغییرات شیب در بازه شیب‌های انتخابی در این پژوهش، چندان قابل توجه نبوده است. ولی به‌دلیل نفوذپذیری کم

طولانی‌تری انتخاب شود تا از رواناب انتهایی اضافی جلوگیری شود و در صورت ایجاد رواناب اضافی، رواناب‌ها وارد زهکش‌های سطحی روباز انتهایی مزرعه شوند و از آب این زهکش‌های سطحی در تلفیق با آب کانال آبیاری مزرعه برای آبیاری اراضی پایین‌دست استفاده شود. در خصوص اجرای نوار آبیاری با انتهایی باز و بسته، به‌خصوص برای موضوع تلفات ناخواسته آب به‌صورت نفوذ عمقی یا رواناب سطحی، باید بررسی بیشتری بشود.

پیشنهاد می‌شود پس از اجرای کامل شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر و بهره‌برداری از قطعات آبیاری و توزیع دبی‌های مختلف آبیاری، که از گزینه‌های طراحی حاصل از نتایج این پژوهش انتخاب شده‌اند، با مطالعه و داده‌برداری‌های میدانی هنگام آبیاری مزارع در قطعات، یک بار دیگر مدل با همین طول و عرض و شیب طولی قطعات و با دبی‌های واقعی توصیه شده از نتایج مدل به همراه سایر پارامترهای آبیاری (مدت زمان آبیاری، عمق خالص آبیاری) توصیه شده به کشاورزان اجرا و راندمان آبیاری حاصل از نتایج میدانی با راندمان آبیاری حاصل از شبیه‌سازی مدل مقایسه شود و تأثیر استفاده از نتایج مدل در بهبود راندمان کاربرد آب در عمل دیده شود.

پیشنهاد می‌شود اراضی با دقت بیشتری تسطیح شوند و شیب صفحات تسطیح کوچک‌تری (کمتر از ۰/۰۰۲ متر بر متر) در عمل اجرا شود.

در مجموع، بر اساس جدول‌های گزینه‌های طراحی حاصل از اجرای مدل، در صورت رعایت ابعاد قطعات توصیه شده به همراه سایر پارامترهای مدیریتی آبیاری شامل دبی و مدت زمان آبیاری، راندمان‌های آبیاری حتی بالاتر از ۷۰ درصد، فراوانی زیادی خواهد داشت و از این‌رو با روش آبیاری سطحی نواری دستیابی به راندمان آبیاری مناسب و بالا و به‌طور کلی با هزینه‌های کمتر، در مقایسه با روش‌های آبیاری تحت فشار، در این شبکه آبیاری و زهکشی، امکان‌پذیر هست.

آبیاری (۹۰-۵۰ میلی‌متر) از لحاظ راندمان کاربرد گزینه مناسبی است. همچنین، طول نوار ۱۰۰ متر و شیب طولی نوار برابر ۰/۰۰۵ متر بر متر (عملاً به‌صورت یک کرت مسطح) برای تمامی ترکیب‌های عرض‌های نوار (۱۲-۴ متر)، عمق‌های خالص آبیاری (۹۰-۵۰ میلی‌متر) و دبی‌های آبیاری (۲۰-۱۰ لیتر در ثانیه) راندمان آبیاری بالایی حاصل کرده است. البته اجرای این گزینه در قطعات بزرگ، از لحاظ مکانیزاسیون کشاورزی و اقتصاد تولید، بهینه نیست. از لحاظ صرفاً معیار شیب مزرعه، شیب طولی نوار برابر ۰/۰۰۵ برای همه حالات و ترکیب‌های ارائه شده در گزینه‌های طراحی با راندمان کاربرد معقول، شیب مناسب و در واقع ایده‌آلی است.

شیب طولی نوارهای آبیاری ایجاد شده در قطعه انتخابی برای آزمایش‌ها (قطعه U29-2) به‌طور متوسط برابر ۰/۲ درصد (۲ در هزار) است که این شیب با توجه به بافت خاک و نوع روش آبیاری (روش انتها بسته) بالاست و به‌خصوص برای طول‌های نوار بلند و دبی‌های بالا سبب تجمع زیاد آب در انتهایی نوار می‌گردد. به هر حال، با توجه به مشاهدات صحرائی حین اجرای آزمایش‌ها، به نظر می‌آید به دلیل نفوذپذیری کم خاک و کوبیدگی و تراکم خاک ناشی از رفت و آمد زیاد وسایل و ماشین‌آلات تسطیح زمین، سرعت پیشروی آب نسبتاً زیاد است و در ابتدای زمین آب کافی نفوذ نمی‌کند. همچنین، با توجه به اینکه نوارها با انتهایی بسته هستند، آب زیاد در انتهایی نوار جمع می‌شود. به‌همین دلیل پیشنهاد می‌شود کشاورزان پس از خاتمه عملیات تسطیح و پیش از بهره‌برداری از اراضی، زیرشکنی و شخم عمیق با زیرشکن^۱ و نیز تسطیح جزیی را در برنامه خود بگنجانند.

برای رفع مشکل قطعات آبیاری با شیب نسبتاً زیاد (۰/۰۰۲ متر بر متر)، توصیه می‌شود روش نواری با انتهایی باز در منطقه ترویج شود. یعنی برای جبران اثر منفی شیب زیاد، دبی کاهش یابد و مدت زمان آبیاری

قدردانی

این پژوهش با حمایت اعتبارات پژوهشی موسسه جهاد نصر وزارت جهاد کشاورزی و توسط مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به اجرا درآمده است. بدین وسیله از این موسسه قدردانی می‌شود.

مراجع

- Abbasi, F. 2012. Principles of Flow in Surface Irrigation. IRNCID Pub. No. 152. Field Working Group. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (in Persian)
- Abbasi, F. and Sheini-Dashtgoal, A. 2015. Evaluation managerial options for improving furrow irrigation performance in Dehkhoda sugarcane agro-industry. Research Report No. 41843. Iranian Agricultural Engineering Research Institute (AERI). (in Persian)
- Anon. 1989. Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems. FAO Pub. Chap. 5: Surface Irrigation Design.
- Anon. 2009. WinSRFR 3.1 User Manual. USDA/ARS/Arid-Land Agricultural Research Center. U. S. Department of Agriculture Agricultural Research Service. Arid-Land Agricultural Research Center. 21881 N. Cardon Lane, Maricopa, AZ 85238.
- Hart, W. E., Collins, H. G., Woodward, G. and Humpherys, A. S. 1980. Design and Operation of Gravity or Surface Irrigation Systems. In: Jensen, M. E. (Ed.) Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No. 3. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.
- Makari-Gharoodi, A., Liaghat, A. M. and Nahvinia, M. J. 2013. Use of WinSRFR 3.1 model in simulation of furrow irrigation. Iranian J. Irrig. Drain. 7(1): 59-67. (in Persian)
- Moridnezhad, A. Kavei-Dilami, R. and Saadi, A. 2010. Optimization of furrow irrigation under condition implemented in Salman-e-Farsi agro-industry using WinSRFR 3.1 software. Proceedings of the 3rd National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks. Feb. 29-March 2. Faculty of Water Sciences. Shahid Chamran University. (in Persian)
- Noorabadi, H., Sadroddini, S. A. A., Nazemi, A. H. and Dalir Hassannia, R. 2013. Simulation of furrow irrigation using WinSRFR 3.1 and its evaluation. Proceedings of the 1st Irrigation and Water Productivity. Iranian Association on Irrigation and Drainage. Jan. 30. Ferdousi University of Mashhad. Iran. (in Persian)
- Taghizadeh, Z., Vetdinezhad, V. R., Ebrahimian, H. and Khanmohammadi, N. 2012. Field assessment and evaluation of surface irrigation system using WinSRFR: case study of furrow irrigation. J. Water Soil (Sci. Indust. Agri.). 26(6): 1450-1459.
- Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. The Theory and Practice of surface Irrigation. Chapter 8: Volume Balance Field Design. Logan. Utah.

Optimization of Design and Management Parameters of Border Irrigation: A Case Study of Ramshir Irrigation and Drainage Network

N. Heydari* and F. Abbasi

* Corresponding Author: Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, Iranian Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: nrheydari@yahoo.com
Received: 24 January 2016, Accepted: 31 May 2016

In most of the countries in the world, even in the developed countries, surface irrigation is still one of the important irrigation methods in irrigated agriculture. It is estimated that more than 90 percent of the irrigated lands are irrigated with surface irrigation methods. Since determination of optimum field's dimensions, including slope, inflow rate, and irrigation time, play an important role in enhancement of application efficiency and reduction of projects costs. Therefore, this research was conducted in the Ramshir irrigation and drainage network in the Khuzestan province (namely Velayate plan) with the objectives of determining fields' dimensions, design and management parameters of border irrigation with closed-end regime and for achieving higher application efficiency and distribution uniformity. Using water advance and recession measurements along the border length and use of a comprehensive surface irrigation model, that is to say, WinSRFR-3.1 model, the soil infiltration parameters of the area were determined. Hence, the model was calibrated and the parameters of the best fitted infiltration equation, based on the Kostiaikov-Lewis equation, was determined. Also by using the simulation part of the model, the dimensions and other design and management parameters of border irrigation, with closed-end regime cultivated with wheat crop, was determined. Based on results and with regards to proper application efficiency and distribution uniformity, the border design alternative of 7 m wide, 200 m length, and slopes of 0.005 to 0.001 m/m was a proper alternative for all ranges of selected inflow discharges (10-20 lit/s) and net irrigation depths of 50 to 90 mm. However, based on results, the design alternative of 200 m border length and longitudinal slope of 0.0005 m/m is the best alternative with regards to higher application efficiency. Moreover, the longitudinal slope of 0.0005 m/m is an ideal slope for all combinations of design alternatives with fair application efficiencies. Basically, the border length of 300 m and higher are not a suitable option for all selected slopes and low inflow rates of less than 10 lit/s. Finally, in the Ramshir irrigation and drainage network, if the field's dimensions together with the other design and management parameters is set properly, achieving high application efficiency, even higher than 70 percent, in the border irrigation for many design alternatives is easily possible.

Keywords: Application Efficiency, Border Irrigation, Irrigation Plot, Irrigation Time, Optimum Length, Ramshir Network